زمستان ۱۴۰۳
سال سیزدهم

کهربا

شماره چهل و ششم

فصلنامه تخصصی مهندسی برق و کامپیوتر

Journal of Electrical and Computer Engineering

شماره مجوز وزارت فرهنگ و ارشاداسلامی ۷۷۸۲۱

۱- تاثیر هوشمندسازی در رضایت شغلی کارکنان

۲- مطالعه ای روی سیستمهای برق رسانی مترو

۳- مروری بر کاربردهای هوش مصنوعی در اتاق عمل

۴-تاثیرچشم انداز انرژی خورشیدی در تولید انرژی برق

۵-شبکه هوشمند توزیع برق: فناوریها، مزایا و چالشها

۶-عوامل ایجاد کننده پاشندگی در فیبر نوری و نحوه جبران سازی

۷-اندرو نگ کارآفرین و دانشمند آمریکایی در زمینه علوم کامپیوتری



ISSN :2322-3723

CIVILICA
magiran
ISC

صاحب‌امتیاز

نواندیشان

مدیرمسئول

مهدی عارف خیابانی

سردبیر

امین شیخ نجدی

هیئت تحریریه

دکتر جواد شکرالهی مغانی-دکترای برق قدرت-دانشیار دانشگاه صنعتی امیرکبیر تهران

دکتر امیرحسین رحمانی – دکترای برق قدرت- استاددانشگاه‌های جندی شاپور دزفول و آزاد اسلامی‌واحد درفول

دکتر ملیحه نیک سیرت- دکترای علوم کامپیوتر- استادیار دانشگاه صنعتی بیرجند

دکتر محمد دوستی زاده- دکترای برق قدرت- استاد دانشگاه آزاد اسلامی‌خرم آباد

دکتر موسی مجرد- دکترای کامپیوتر-نرم افزار – هیئت علمی‌دانشگاه فیروزآباد، رئیس دانشگاه آزاد اسلامی‌فراشبند

دکتر حامد سقایی- دکترای برق الکترونیک- دانشیار دانشگاه آزاداسلامی شهرکرد ، استادیار دانشگاه اهواز

دکتر آزاد رحیمی- دکترای برق قدرت- هیئت علمی(مربی) و مدیرگروه دانشگاه فنی و حرفه‌ای سنندج

مهندس امین شیخ نجدی-کارشناس ارشد برق الکترونیک-استادیار مدعو دانشگاه جندی شاپور دزفول و آزاداسلامی واحد دزفول،شهدای اهواز

مهندس محمدحسین دوست محمدی- کارشناسی ارشد برق الکترونیک – هیئت علمی(مربی) دانشگاه صنعتی همدان

دکتر محمود مقدسیان- دکترای برق قدرت- استادیار دانشگاه چمران اهواز

درباره کهربا ۴
یادداشت مدیرمسئول ۴
سخن سردبیر ۵

آشنایی با مشاهیر

مهندس سیاوش الموتی – مهندس برجسته برق ومخترع کد بلوک فضا ۶

مقالات

مطالعه‌ای روی سیستم‌های برق‌رسانی مترو ۸
علیرضا محمودی فرد، کارشناسی ارشد برق قدرت-دانشگاه گیلان ،گیلان،ایران
طاها غفوری،دانشجوی کاردانی الکتروتکنیک دانشگاه ملی مهارت-دانشکده فنی انقلاب اسلامی، تهران، ایران

تاثیرچشم انداز انرژی خورشیدی در تولید انرژی برق ۲۹
علیرضا جوشن،کارشناسی ارشد برق قدرت-دانشگاه گیلان ،گیلان،ایران

عوامل ایجاد کننده پاشندگی در فیبر نوری و نحوه جبران سازی ۵۰
سیده مهسا سرائی، دانشجوی دکترای مهندسی برق مخابرات دانشگاه شهید بهشتی،تهران، ایران

شبکه هوشمند توزیع برق: فناوری‌ها، مزایا و چالش‌ها ۶۰
مهدی عارف خیابانی، فارغ التحصیل برق الکترونیک ،دانشگاه صنعتی امیرکبیر ،تهران، ایران

تاثیر هوشمندسازی در رضایت شغلی کارکنان ۶۹
محمد رستمی، مدرس دانشگاه امام حسین (ع) ،تهران،ایران

مروری بر کاربردهای هوش مصنوعی در اتاق عمل ۹۰
مهران کریمیان ریزی، کارشناسی ارشد مهندسی پزشکی دانشگاه تبریز، ایران
مریم فریور، مربی سازمان آموزش فنی و حرفه ای کشور، شاهین شهر، ایران

ارتباط با کهربا ۹۶
English Abstracts ۹۷

درباره کهربا

مجله الکترونیکی کهربا، با همت و تلاش جمعی از دانشجویان و مهندسین برق، بخصوص اعضای انجمن علمی و پژوهشی نواندیشان، در سال هزار و سیصد و نود شروع به کار کرد. کهربا از سال ۹۱ با کسب شماره بین‌المللی استاندارد مجلات (ISSN:۲۳۲۲-۳۷۲۳) و ثبت در سازمان اسناد و کتابخانه ملی ایران، به‌عنوان فصلنامه‌ای رسمی و تخصصی در حوزه صنعت برق شناخته‌شده است. این نشریه تخصصی در سال ۹۵ موفق به اخذ پروانه انتشار از وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی، با مجوز شماره ۷۷۸۲۱ و ثبت در سامانه جامع رسانه‌های کشور(e-rasaneh) و بانک اطلاعات نشریات کشور(magiran) گردید. در سال ۹۷ طی تفاهم‌نامه‌ای با بانک مقالات کشور (سیویلیکا) مورد حمایت این پایگاه قرارگرفته و مقالات ارائه‌شده به نشریه پس از انتشار در سیویلیکا نمایه شده و در نظام رتبه‌بندی دانشگاه‌ها و پژوهشگاه‌ها مورد تحلیل و بررسی قرار می‌گیرند.در سال ۱۴۰۳ موفق به کسب امتیاز لازم جهت نمایه سازی نشریات موسسه استنادی و پایش علم و فناوری جهان اسلام (ISC) گردید.

یادداشت مدیرمسئول

در سیزدهمین پاییز از فعالیت نشریه کهربا و پس از انتشار چهل و پنج شماره از مجله مفتخریم با انتشار چهل و ششمین شماره از این نشریه در خدمت علاقه‌مندان این مجله تخصصی باشیم. تلاش ما از روز نخست، جمع‌آوری، تهیه و ارائه مطالبی ساده و کاربردی، درعین‌حال تخصصی، به قشر فرهیخته دانش‌پژوه و کسانی که مشتاق به دانستن علوم مهندسی برق و الکترونیک یا کامپیوتر هستند، بوده است. امید است با هدایت و راهنمایی شما هر شماره بهتر و پخته‌تر از شماره پیشین گردد. امید است که باهمت و همیاری دوستان بتوانیم قدمی‌هرچند کوچک، جهت جلب رضایت و بالا بردن سطح دانش شما برداریم؛ و روزبه‌روز شاهد پیشرفت و موفقیت‌های شما عزیزان باشیم.

سخن سردبیر:

در جهانی که به ســـرعت در حال تحول اســـت، هیچ چیز به اندازه تغییرات فناوری و تأثیر آن‌ها بر زندگی روزمره‌مان، توجه ما را جلب نمی‌کند. این شماره از مجله کهربا به بررسی مجموعه‌ای از موضوعات حیاتی پرداخته است که نه تنها به روند پیشرفت‌های صنعتی و تکنولوژیکی مرتبط می‌شود، بلکه تأثیرات آن‌ها بر محیط زیست، اقتصاد و کیفیت زندگی انسان‌ها را نیز مورد تحلیل قرار می‌دهد.

از انرژی‌های تجدیدپذیر تا شبکه‌های هوشمند توزیع برق، ما در این شماره به چالش‌ها و فرصت‌هایی می‌پردازیم که این فناوری‌ها برای آینده انرژی فراهم می‌آورند. سیستم‌های برق‌رسانی مترو که در قلب شهرهای بزرگ عمل می‌کنند، از جمله زیرساخت‌هایی هستند که نیازمند تحول و بهبود مداوم هســـتند. در کنار آن، نگاه به انرژی خورشـــیدی و پتانســـیل آن در تولید برق، یکی از مهم‌ترین موضـــوعات جهانی است که نمی‌توان از آن غافل شد.

همچنین، شبکه‌های هو شمند توزیع برق که با ا ستفاده از فناوری‌های نوین، بهره‌وری را به اوج خود می‌ر سانند و می‌توانند بحران‌های انرژی را در شرایط مختلف مدیریت کنند، به چالشی جدید و هم‌زمان فرصتی بی‌نظیر تبدیل شده‌اند.

در بخش دیگری از این شماره، به مشکلات و چالش‌های پاشندگی در فیبر نوری و راه‌کارهای جبران آن پرداخته‌ایم. این مسئله یکی از معضلات بزرگ در دنیای ارتباطات و انتقال داده‌ها به شمار می‌آید.

اما این فقط پایان قصه نیست؛ در کنار پیشرفت های فنی، تأثیر هوشمندسازی بر رضایت شغلی کارکنان و کاربردهای هوش مصنوعی در اتاق عمل، نشان‌دهنده این ا ست که فناوری دیگر تنها ابزاری برای تسهیل کارهای فنی نیست، بلکه وارد دنیای انسانی و اجتماعی نیز شده و می‌تواند به بهبود کیفیت زندگی و کار افراد کمک کند.

در نهایت، این شماره از مجله کهربا قصد دارد که نه تنها به بررسی چالش‌ها و نوآوری‌ها بپردازد، بلکه به مسئولیت‌های اجتماعی ما در قبال این تحولات نیز توجه کند و راه‌کارهایی برای استفاده بهینه از این فناوری‌ها ارائه دهد.

آشنایی با مهندس سیاوش الموتی

(مهندس برجسته برق ومخترع کد بلوک فضا)



سیاوش الموتی، در سال ۱۳۴۱ شمسی متولد شد. او مهندس ایرانی – آمریکایی است که به خاطر اختراع کد بلوک فضا – زمان مشهور شده است . الموتی در سال ۱۹۸۰، درست پس از انقلاب تحصیل خود را در دانشگاه صنعتی شریف شروع کرد، ولی پس از انقلاب فرهنگی الموتی در سال ۱۹۸۲ ابتدا به اسپانیا و سپس در سال ۱۹۸۴ به کانادا رفت. الموتی در ونکوور به کارهای مختلفی از قبیل دلیوری پیتزا، و گارسونی رستوران پرداخت. سیاوش الموتی کارشناسی و کارشناسی‌ارشد خود را در سال‌های ۱۹۸۹ و ۱۹۹۱ در رشته مهندسی برق از دانشگاه بریتیش کلمبیا (در ونکوور کانادا) گرفته‌است و هنگام تحصیل در مقطع دکترای این دانشگاه مرخصی گرفت تا به شرکت Microtel Pacific Research بپیوندد.

تا پیش از ملحق شدن به اینتل در سال ۲۰۰۴، او در شرکت‌های ویواتو، کادنس دیزاین، سرویس‌های وایرلس AT&T و ام‌پی‌آر تلتک در رده‌های مهندسی متفاوت کار کرده‌است.

اختراع او در سال ۱۹۹۷ م به همراه وحید تارخ ثبت شد. کد الموتی، دو آنتن انتقال بلوک کد ف ضا – زمان ا ست و در ا ستانداردهای مختلفی ساخته شده است.در سال ۲۰۰۲ م انجمن ارتباطات IEEE او را به عنوان نویسندۀ یکی از ۵۷ مقالۀ مهم تمام تراکنش‌هایش در ۵۰ سال گذ شته دانست . تا پیش از ملحق شدن به اینتل در سال ۲۰۰۴ م او در شرکت‌های ویواتو، کادنس دیزاین، سرویس‌های وایرلس AT&T و ام‌پی‌آر تلتک در رده‌های مهند سی متفاوت کار کرده ا ست.او در گروه موبیلیتی و هدایت تکنولوژی اینتل م سئول تمام استانداردهای محصولات دارای نقشۀ راه بوده است.

این شامل فروم وایمکس، IEEE۸۰۲،۱۶، ۳GPP، OMA، WiFiو IEEE ۸۰۲,۱۱ می‌شود.
الموتی، بیش از ۲۰ حق اختراع در زمینه‌های کاربردی ارتباطات بدون‌سیم و طراحی سیستم‌های بدون‌سیم دارد.
او مقاله‌ها و گزارش‌های زیادی در دهۀ گذشته در انجمن IEEE و سازمان‌های دیگر داشته که مخاطبان تخصصی بسیاری در سطح داخل آمریکا و نیز بین‌المللی داشته‌اند. مهندس الموتی، از مارس ۲۰۱۰ م مدیر گروه R&D در اپراتور موبایل وودافون شده است.

سیاوش الموتی مهندس آمریکایی-ایرانی ا ست که به خاطر اختراع کد بلوک ف ضا-زمان م شهور شده‌ا ست (تکنیکی مورد ا ستفاده در ارتباطات بدون سیم). اختراع او در سال ۱۹۹۷ به همراه وحید تارخ ثبت شد. کد الموتی دو آنتن انتقال بلوک کد فضا-زمان ا ست و در استانداردهای مختلفی ساخته شده‌است. او ابتدا در شرکت‌های اینتل در گروه موبایل وایرلس CTO کار می‌کرد و از مارس ۲۰۱۰ مدیر گروه R&D در اپراتور موبایل وودافون شده‌است.

در ۲۰۰۲، انجمن ارتباطات IEEE او را به عنوان نویسنده یکی از ۵۷ مقاله مهم تمام تراکنش‌هایش در ۵۰ سال گذشته دانست.

او در گروه موبیلیتی و هدایت تکنولوژی اینتل مسئول تمام استانداردهای محصولات دارای نقشه راه بوده‌است؛ این شامل فروم وایمکس، IEEE 802.16، GPP, OMA, WiFi۳ و IEEE 802.11 می‌شود.

الموتی بیش از ۲۰ حق اختراع در زمینه‌های کاربردی ارتباطات بدون‌سیم و طراحی سیستم‌های بدون‌سیم دارد. او مقاله‌ها و گزارش‌های زیادی در دهه گذشته در انجمن IEEE و سازمان‌های دیگر داشته که مخاطبان تخصصی بسیاری در سطح داخل آمریکا و نیز بین‌المللی داشته‌اند.الموتی در سال ۲۰۲۲ برنده جایزه مارکونی شد.

KNO-1104-4601

مطالعه‌ای روی سیستم‌های برق‌رسانی مترو

علیرضا محمودی فرد*[۱]، alireza10.m10@gmail.com
طاها غفوری[۲]، Taha.Ghafouri.2005@gmail.com
[۱]مدرس مدعو دانشگاه ملی مهارت-دانشکده فنی انقلاب اسلامی، تهران، ایران
[۲]دانشجوی کاردانی گرایش الکتروتکنیک، دانشگاه ملی مهارت-دانشکده فنی انقلاب اسلامی، تهران، ایران

چکیده:

این مقاله به بررسی سیستم‌های برق‌رسانی مورد استفاده در راه‌آهن مترو پرداخته و بر روش‌های مختلف تأمین انرژی و مکانیسم‌های عملیاتی آن‌ها تأکید دارد. سیستم‌های برق‌رسانی، شامل برق‌رسانی از طریق خطوط بالاسری (OLE)، سیستم ریل سوم و سیستم های ذخیره‌سازی انرژی درون‌برد (OESS) می‌باشد. سیستم OLE که عمدتاً در شبکه‌های ریلی پرسرعت و فواصل طولانی استفاده می‌شود، دارای بازده انرژی بالاتر، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و هزینه‌های نگهداری کمتر است. سیستم ریل سوم که برای خدمات مترو شهری مناسب است، زیرساخت فشرده‌تری دارد، اما با محدودیت‌های ایمنی و ولتاژ روبروست. سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی درون‌برد مانند باتری‌های پیشرفته و ابرخازن‌ها، با امکان بازیابی انرژی ترمز، بهره‌وری انرژی را افزایش داده و حرکت در بخش‌های غیربرقی را ممکن می‌سازند. سیستم‌های برق‌رسانی هیبریدی با ترکیب منابع مختلف انرژی، هزینه‌ها و مصرف انرژی را بهینه می‌کنند. این مقاله، مزایا و محدودیت‌های هر سیستم را بررسی کرده و بر نقش آن‌ها در توسعه حمل‌ونقل پایدار تأکید دارد؛ همچنین، مقایسه‌ای میان سیستم‌های جریان مستقیم (DC) و جریان متناوب (AC) ارائه شده و تکامل فناوری های کشش برقی مورد بحث قرار گرفته است؛ در نهایت، مقاله اهمیت پیشرفت‌های فناورانه را در دست‌یابی به سیستم‌های ریلی کارآمد و سازگار با محیط‌زیست برجسته می‌کند.

کلمات کلیدی:

مترو ،مگلو ، برق رسانی ، سیستم ، تامین انرژی

۱- مقدمه:

سیستم برق‌رسانی راه‌آهن (مترو و قطارشهری) مجموعه‌ای از روش‌ها است که برای تأمین انرژی الکتریکی قطارها (لوکوموتیو برقی یا واحدهای چندگانه برقی) استفاده می‌شود [۱]، تا بتوانند بدون نیاز به یک محرک اولیه داخلی (مانند موتورهای احتراق داخلی یا درون‌سوز) عمل کنند. برق‌رسانی راه‌آهن مزایای متعددی دارد، اما برای نصب آن به سرمایه‌گذاری قابل‌توجهی نیاز است. انواع مختلفی از سیستم‌های برق‌رسانی در سراسر جهان مورد استفاده قرار می‌گیرند [۲]. قطارها با جریان متناوب با ولتاژ متوسط (MV) یا جریان مستقیم با ولتاژ پایین (LV) تغذیه می‌شوند [۱].

۲. متن اصلی

2.1. تعریف برقی‌سازی و برق‌رسانی راه‌آهن‌ها (قطارها)

برقی‌سازی راه‌آهن، به فرآیند تأمین انرژی قطارها از طریق برق ارائه‌شده توسط زیرساخت‌های ویژه اشاره دارد که جایگزین سیستم‌های سنتی مبتنی‌بر سوخت‌های فسیلی مانند لوکوموتیوهای دیزلی یا بخاری می‌شود؛ این فرآیند شامل پیاده‌سازی سیستم‌های الکتریکی است که برق را به سیستم رانش قطار از طریق خطوط هوایی، ریل سوم یا راه‌حل‌های ذخیره انرژی درون‌برد منتقل می‌کنند. برقی‌سازی، بهره‌وری عملیاتی را افزایش می‌دهد، تأثیرات زیست‌محیطی را کاهش می‌دهد و از توسعه پایدار در حمل و نقل پشتیبانی می‌کند [3].

۲,۲. روش‌های برق‌رسانی راه‌آهن (از نظر ساختار)

2.2.1. Overhead Line Electrification (OLE)

- **تاریخچه**

سیستم تجهیزات خط بالاسری (OLE) که برای برقی‌سازی راه‌آهن‌ها استفاده می‌شود، از زمان آغازش در اواخر قرن نوزدهم تغییرات زیادی داشته است. آزمایش‌های اولیه برقی‌سازی، مانند تراموای برلین در سال ۱۸۷۹، سیستم کاتنری را معرفی کرد که به‌عنوان جایگزینی عملی برای سیستم سومین ریل تبدیل شد. در اوایل قرن بیستم، کشورهایی مانند سوئیس و آلمان از سیستم OLE برای خطوط اصلی راه‌آهن استفاده کردند و ولتاژهای DC و AC به‌کار گرفته شد. این سیستم پس از جنگ جهانی دوم گسترش یافت، به‌ویژه در اروپا و آمریکای شمالی، با استانداردسازی ولتاژها و طراحی‌های پانتوگراف برای سفر های طولانی‌تر و کارآمدتر [8-3]. در نیمه دوم قرن بیستم، ظهور راه‌آهن‌های سریع‌السیر در کشورهایی مانند ژاپن، فرانسه و آلمان منجر به استفاده گسترده از سیستم ۲۵ کیلوولت AC شد که به‌دلیل توانایی خود در انتقال مقادیر زیادی برق در فواصل طولانی ترجیح داده شد. نوآوری‌ها در طراحی پانتوگراف‌ها و فناوری‌های دیجیتال برای نظارت و نگهداری همچنان به بهبود کارایی و قابلیت اعتماد سیستم کمک کرده‌اند. امروزه، سیستم‌های OLE جزو بخش‌های اساسی حمل‌ونقل پایدار ریلی هستند و پیشرفت‌های مداومی برای بهبود عملکرد، کاهش تأثیرات زیست‌محیطی و ادغام منابع انرژی جدید مانند انرژی‌های تجدیدپذیر در حال انجام است [9].

- **معرفی**

برق‌رسانی از طریق خطوط هوایی (OLE) سیستمی حیاتی در زیرساخت های ریلی است که برق را از طریق شبکه‌ای از سیم‌های بالاسری (هوایی) به قطارها ارائه می‌دهد. این روش امکان استفاده از سیستم‌های الکتریکی جهت کشش قطارها را فراهم می‌کند که در مقایسه با قطار های دیزلی، کارآمدتر، سازگارتر با محیط‌زیست، و از نظر هزینه مؤثرتر هستند. سیستم‌های OLE مفهوم و ساختار بنیادین شبکه‌های ریلی پرسرعت و شهری در سراسر جهان هستند [10].

2.2.1.1. مزایا و فواید اجرای سیستم برق‌رسانی با خطوط هوایی(OLE)

- **بهبود بهره‌وری انرژی و مزایای زیست‌محیطی**

سیستم‌های برقی‌سازی با خطوط بالاسری (OLE) بهره‌وری انرژی را به‌طور قابل توجهی در مقایسه با گزینه‌های مبتنی‌بر دیزل افزایش می‌دهند. قطار های برقی انرژی الکتریکی را مستقیماً به انرژی مکانیکی با بازده بالا تبدیل می‌کنند و تلفات انرژی را به حداقل می‌رسانند. این امر مصرف سوخت و انتشار گاز های گلخانه‌ای را کاهش می‌دهد و سیستم‌های OLE را به یک رکن اصلی حمل‌ونقل پایدار ریلی تبدیل می‌کند. بر اساس تحقیقات، سیستم‌های ریلی برقی می‌توانند تا ۳۰ درصد صرفه‌جویی انرژی نسبت به همتایان دیزلی خود داشته باشند و به‌طور همزمان از یکپارچه‌سازی انرژی‌های تجدیدپذیر در شبکه‌های حمل‌ونقل پشتیبانی کنند [11].

- **عملکرد و ظرفیت برتر**

سیستم‌های OLE امکان شتاب‌گیری و کاهش سرعت سریع‌تر قطارها را نسبت به لوکوموتیوهای دیزلی فراهم می‌کنند، که این امر ظرفیت کلی شبکه را افزایش داده و زمان سفر را کاهش می‌دهد. این موضوع ناشی از تأمین مداوم و پایدار برق از طریق خطوط بالاسری است که محدودیت‌های قدرت موتورهای دیزلی را از بین می‌برد. تأکید می‌کنند که دسترسی بیشتر به توان از سیستم‌های OLE امکان جابه‌جایی قطارهای سنگین‌تر و سریع‌تر را فراهم می‌کند که این امر برای خدمات باربری و مسافربری با سرعت بالا ضروری است [12].

- **کاهش هزینه‌های نگهداری**

لوکوموتیوهای دیزلی به‌دلیل قطعات متحرک و سیستم‌های احتراق به تعمیر و نگهداری مکرر و پیچیده نیاز دارند؛ در مقابل، قطارهای برقی که با سیستم‌های OLE کار می‌کنند دارای قطعات مکانیکی کمتری هستند که منجر به کاهش هزینه‌های نگهداری و افزایش قابلیت اطمینان می‌شود. تحقیقات نشان می‌دهد که هزینه‌های نگهداری وسایل نقلیه ریلی برقی معمولاً ۲۰ تا ۲۵ درصد کمتر از معادل‌های دیزلی است، که به صرفه‌جویی عملیاتی بلندمدت کمک می‌کند [13].

- **بهبود راحتی و تجربه مسافران**

قطارهای برقی آرام‌تر بوده و ارتعاش کمتری نسبت به قطارهای دیزلی تولید می‌کنند که این امر راحتی مسافران را افزایش می‌دهد. این مزیت مخصوصا برای خدمات ریلی شهری و حومه‌ای مفید است، جایی که کاهش آلودگی صوتی کیفیت زندگی ساکنان نزدیک خطوط ریلی را بهبود می‌بخشد. تأکید می‌کنند که کاهش سطح صدا در سیستم‌های ریلی برقی نقش مهمی در پذیرش عمومی و ترویج استفاده بیشتر از حمل‌ونقل عمومی دارد [14].

مزایای اقتصادی و اجتماعی

برقی‌سازی خطوط ریلی از رشد اقتصادی با امکان حمل‌ونقل کارآمد و پرظرفیت کالاها و مسافران حمایت می‌کند. شبکه‌های برقی‌شده می‌توانند وابستگی به سوخت‌های فسیلی وارداتی را کاهش داده و امنیت انرژی را بهبود بخشند؛ علاوه‌بر این، پروژه‌های OLE فرصت‌های شغلی قابل توجهی در مراحل ساخت و بهره‌برداری ایجاد می‌کنند و اقتصادهای محلی را تقویت می‌کنند. استدلال می‌کنند که مزایای اقتصادی بلندمدت سیستم‌های OLEهزینه‌های اولیه سرمایه‌گذاری آن‌ها را با توسعه منطقه‌ای و بهبود کارایی زنجیره تأمین جبران می‌کند [15].

2.2.1.2. اجزای سیستم برق‌رسانی (OLE)

2.2.1.2.1. سیم تماس (Contact Wire)

سیم تماس، اصلی‌ترین مجرای انتقال انرژی الکتریکی به پانتوگراف (Pantograph) قطار است. این سیم معمولا از مس یا آلیاژهای آن ساخته می‌شود تا بین هدایت الکتریکی و دوام مکانیکی تعادل برقرار کند [16].

2.2.1.2.2. پانتوگراف (Pantograph)

پانتوگراف یک جزء حیاتی در سیستم های برق‌رسانی خطوط هوایی (OLE) است که به‌عنوان رابط بین قطار و منبع تغذیه برق بالاسری عمل می‌کند. عملکرد اصلی پانتوگراف، جمع‌آوری انرژی الکتریکی از تماس با سیم هوایی و انتقال آن به سیستم‌های الکتریکی قطار است. پانتوگراف‌ها

طوری طراحی شده‌اند که در سرعت‌های مختلف و شرایط عملیاتی پایدار، تماس مداوم با سیم تماس را حفظ کنند و انتقال انرژی را با حداقل فرسایش تضمین نمایند [17].

عملکرد پانتوگراف‌ها در **سه بخش** اصلی خلاصه می‌شوند:

بخش اول که مربوط به جمع‌آوری جریان است، که پانتوگراف با فشار دادن نوار تماس خود به سیم تماس شبکه هوایی، انتقال پایدار و قابل‌اعتماد انرژی الکتریکی را تضمین می‌کند. این تماس باید پایدار باقی بماند تا از قطع جریان برق و قوس الکتریکی (آرک الکتریکی) جلوگیری شود [18].

بخش دوم که مربوط به انطباق‌پذیری با تغییرات است، سیم تماس بالاسری به‌دلیل عوامل محیطی یا محدودیت‌های طراحی کاملاً خطی نیست. پانتوگراف با استفاده از مکانیزم بارگذاری شده با فنر یا پنوماتیک، این تغییرات را جبران کرده و فشار ثابت رو به بالا را اعمال می‌کند [19].

بخش سوم که مربوط به انتقال انرژی است، انرژی الکتریکی جمع‌آوری شده را به تجهیزات الکتریکی قطار، از جمله ترانسفورماتورها و مبدل‌ها هدایت می‌کند تا سیستم پیشران و خدمات جانبی تغذیه شود [20].

2.2.1.2.3. سیم حامل (Catenary/Messenger Wire)

این سیم با استحکام بالا، سیم تماس را پشتیبانی کرده و حفظ ارتفاع و تنش صحیح آن را تضمین می‌کند. طراحی سیم حامل، افتادگی را کاهش داده و ارتباط مداوم با پانتوگراف را تضمین می‌کند [21].

2.2.1.2.4. آویزها (Droppers)

اتصالات عمودی هستند که تراز سیم تماس را حفظ می‌کنند. آنها ارتفاع ثابت سیم را در طول مسیر تضمین می‌کنند [22].

2.2.1.2.5. کلیدها و مقره‌های جداساز (Switches and Section Insulators)

سیستم OLE به‌منظور انعطاف‌پذیری در عملیات‌های مختلف روی سیستم و تعمیر و نگهداری، می‌بایست بخش‌بندی شود که این کار توسط دو بخش زیر انجام می‌شود:

- ***مقره‌های جداساز***، بخش‌های مختلف سیم هوایی را از لحاظ الکتریکی جدا می‌کنند، بدون اینکه پیوستگی مکانیکی سیم تماس قطع شود. این امر اجازه می‌دهد تا بخش‌های مختلف به‌صورت مستقل نگهداری یا بهره‌برداری شوند.
- ***کلیدها یا هم‌پوشانی قسمت‌های مختلف (Overlap Sections)***، امکان انتقال روان برق بین بخش‌ها را فراهم می‌کنند. مناطق همپوشانی (Overlap Zones) که توسط این بخش فراهم می‌شود، هنگام انتقال قطار از یک بخش به بخش دیگر، پیوستگی برق‌رسانی را تضمین می‌نمایند.

طراحی مناسب این اجزا، عملکرد روان قطارها را تضمین کرده و خطر جرقه‌زنی (Arc) یا وقفه های برق‌رسانی را کاهش می‌دهد [23].

2.2.1.2.6. پست‌های برق و ایستگاه‌های تغذیه (Substations and Feeder Stations)

پست‌های برق، ولتاژ بالای برق شبکه را به ولتاژ مناسب برای سیستم OLE، معمولاً ۲۵ کیلوولت AC یا ۱،۵/۳ کیلوولتDC، تبدیل می‌کنند. اجزای اصلی این بخش شامل موارد زیر است:

- ***ترانسفورماتورها*** :ولتاژ برق شبکه را به سطح مورد نیاز برای سیستم کاهش می‌دهند.
- ***کلیدهای قطع‌کننده و تابلوهای برق (Switchgear)*** : از سیستم OLE در برابر شرایط جریان بیش از حد مجاز محافظت کرده و امکان ایزوله کردن خطاها (Trips) را فراهم می‌کنند.

- ***ایستگاه‌های تغذیه (Feeder Stations)*** : برق را از طریق کابل‌های تغذیه به سیستم Catenary (سیم کاتنری و سیم تماس)، تأمین می‌کنند و اغلب به‌صورت افزونه‌ای (Redundant) تنظیم و چینش می‌شوند تا قابلیت اطمینان را افزایش دهند.

پست‌های برق نقش اصلی و حیاتی در حفظ تأمین پایدار و قابل‌اعتماد برق برای سیستم OLE ایفا می‌کنند [24].

2.2.1.2.7. سیستم‌های پایش: ساییدگی، ناهم‌راستایی یا جرقه‌زنی بین سیم تماس و پانتوگراف را شناسایی می‌کنند. داده‌های آنی این سیستم‌ها به حفظ استاندارد های بالای عملیاتی و کاهش زمان خرابی کمک می‌کنند. بهینه‌سازی تعامل پانتوگراف و کاتنری، تلفات انرژی و سایش را به حداقل می‌رساند و طول عمر اجزا را افزایش می‌دهد [25].

2.2.1.2.8. دستگاه‌های کششی (Tensioning Devices)

برای حفظ کشش ثابت در سیستم کاتنری، به‌ویژه در مناطقی که تغییرات دما وجود دارد، از دستگاه‌های کششی مانند وزنه‌ها و قرقره‌ها استفاده می‌شود. سیستم‌های کشش خودکار (Auto-Tensioning Systems) از وزنه‌ها یا دستگاه‌های هیدرولیکی برای تنظیم خودکار کشش سیم‌ها استفاده می‌کنند و انقباض یا انبساط ناشی از تغییرات دما را جبران می‌نمایند. این کار باعث می‌شود که تعامل بهینه با پانتوگراف حفظ شود. این سیستم‌ها در مناطقی که تغییرات اقلیمی قابل‌توجه است، بسیار مهم هستند. در صورت عدم کشش صحیح، سیم تماس، ممکن است افتادگی پیدا کند یا بیش از حد کشیده شود که منجر به خرابی عملکرد خواهد شد [26].

2.2.1.2.9. سیستم‌های ارت و همبندی

ایمنی در سیستم های OLE از طریق سیستم‌های ارت و همبندی برای مدیریت جریان‌های خطا و محافظت از پرسنل و زیرساخت تقویت می‌شود که شامل بخش‌هایی است:

- ***رساناهای ارت (Earthing Conductors)*** : جریان‌های خطا و نشتی را با ایمنی به زمین هدایت می‌کنند.
- ***همبندی (Bonding)*** : اجزای فلزی مختلف راه‌آهن را از لحاظ الکتریکی به هم متصل می‌کند تا پتانسیل یکسانی ایجاد شود و خطر شوک الکتریکی و برق‌گرفتگی کاهش یابد.

این سیستم‌ها برای رعایت استانداردها و مقررات ایمنی حیاتی هستند [27].

2.2.1.2.10. سازه‌های پشتیبانی و مقره‌ها (Support Structures and Insulators)

سازه‌های پشتیبانی، مانند دکل‌ها و پایه‌ها (تیرها)، سیم‌های کاتنری را در ارتفاع و هم‌راستایی مناسب نگه می‌دارند. این سازه‌ها با فاصله‌های استراتژیک قرار می‌گیرند تا یکپارچگی هندسی سیستم OLE حفظ شود. برخی از این اجزا عبارتند از:

- ***دکل‌ها (Masts)*** : ستون‌های عمودی نصب‌شده در طول خط آهن، معمولاً از جنس فولاد یا بتن، که تکیه‌گاه پایه‌ها هستند.
- ***پایه‌ها (Cantilevers)*** : بازوهای افقی یا مایل که از دکل بیرون زده و سیم‌های کاتنری را در جای خود نگه می‌دارند.
- ***مقره‌ها (Insulators)*** : قطعاتی ساخته‌شده از موادی مانند پرسلان یا پلیمرهای ترکیبی که اجزای برق‌دار را از سازه‌های زمین‌شده عایق کرده و ایمنی را تضمین می‌کنند [28].

2.2.1.3. کاربرد سیستم OLE

سیستم OLE پرکاربردترین روش است که در شبکه‌های ریلی سریع‌السیر در سراسر جهان استفاده می‌شود؛ به‌عنوان مثال، شبکه ریلی سریع‌السیر اروپا، از جمله شبکه ریلی TGV فرانسه یا AVE اسپانیا عمدتا از سیستم‌های OLE استفاده می‌کنند [29].

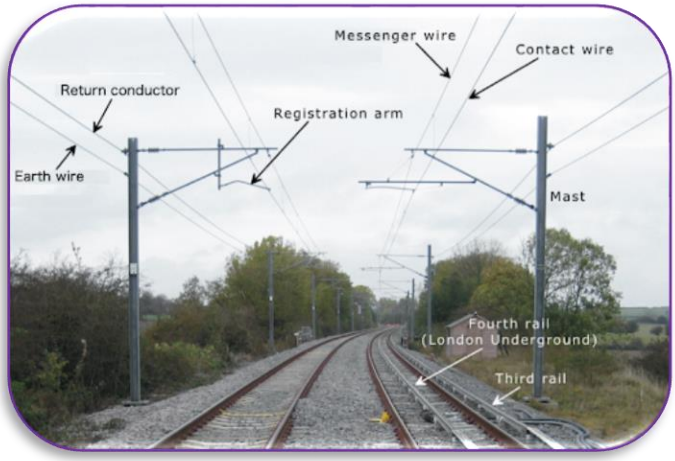




Figure 1. The Main OLE Components

شکل ۱: استفاده از سیستم‌های OLE

2.2.2. Third Rail Electrification

- **تاریخچه:**

این سیستم در اواخر قرن نوزدهم معرفی شد و نخستین بار به‌طور موفقیت‌آمیز در خط راه‌آهن شهر و جنوب لندن (که اکنون بخشی از متروی لندن است) در سال ۱۸۹۰ به‌کار گرفته شد. استفاده اولیه از سیستم ریل سوم به‌دلیل نیاز به حذف لوکوموتیوهای احتراقی در محیط‌های شهری بود، جایی که دود و آلودگی مشکلات قابل توجهی ایجاد می‌کرد. پیشرفت‌های قابل توجه در این فناوری به کمک مهندسانی همچون فرانک اسپرگ به‌دست آمد، که نقش کلیدی در توسعه سیستم‌های کشش برقی داشت [30].

- **معرفی**

سیستم برق‌رسانی ریل سوم، یکی از رایج‌ترین روش‌ها برای تأمین انرژی برق قطارها است، به‌ویژه در شبکه‌های ریلی شهری و حومه‌ای. برخلاف سیستم‌های برق‌رسانی سیم هوایی که از سیم‌های بالای قطار استفاده می‌کنند، سیستم ریل سوم از ریل اضافی در کنار ریل اصلی برای تأمین برق استفاده می‌کند. این ریل معمولاً در سطح زمین و کنار یا بین ریل‌های اصلی نصب می‌شود و برق لازم برای حرکت قطار را تأمین می‌کند. این سیستم بیشتر برای خطوط ریلی سنگین مانند متروها و برخی خطوط قطار حومه‌ای استفاده می‌شود [31].

2.2.2.1. مزایا و منافع پیاده‌سازی سیستم الکتریکی ریل سوم

- **زیرساخت فشرده و کاهش تاثیرات بصری**

سیستم‌های ریل سوم از یک ریل رسانا در سطح زمین در کنار مسیر استفاده می‌کنند، که نیاز به سازه‌های بالاسری خطوط کاتنری را حذف می‌کند. این طراحی فشرده به کاهش ازدحام بصری کمک می‌کند و به‌ویژه برای مناطق شهری و حومه‌ای با محدودیت‌های شدید زیبایی‌شناسی یا

فضایی مناسب است؛ علاوه‌بر این، این طراحی کم‌ارتفاع چالش‌های مهندسی سازه مرتبط با پل‌ها، تونل‌ها و دیگر زیرساخت‌های عمرانی را کاهش می‌دهد [32].

- **نصب و نگهداری مقرون‌به‌صرفه**

در مقایسه با سیستم‌های بالاسری، الکتریکی‌سازی ریل سوم به‌طور کلی هزینه‌های نصب کمتری دارد، به‌ویژه در محیط‌های ساخته‌شده‌ای که استفاده از تجهیزات خطوط بالاسری ممکن است پیچیده یا غیرممکن باشد. الزامات نگهداری نیز ساده‌تر هستند، زیرا قطعات متحرک کمتری وجود دارد و سیم‌های معلق برای مدیریت لازم نیست، که باعث کاهش هزینه‌های عملیاتی در طولانی‌مدت می‌شود [33].

- **ایمنی بهبود یافته در محیط‌های کنترل‌شده**

اگرچه ایمنی اغلب به‌عنوان نگرانی در سیستم‌های سوم ریل به‌دلیل وجود ریل‌های برقدار بدون پوشش مطرح می‌شود، این سیستم‌ها برای محیط‌هایی با دسترسی کنترل‌شده مانند متروها یا شبکه‌های راه‌آهن شهری با مسیرهای اختصاصی مناسب هستند. پوشش‌های حفاظتی و پروتکل‌های ایمنی سختگیرانه، شامل پوشش‌های محافظ بر روی ریل برقدار، خطرات را کاهش داده و قابلیت اطمینان و ایمنی عمومی را تضمین می‌کنند [34].

- **بهره‌وری انرژی و انتقال نیروی قابل اطمینان**

سیستم‌های ریل سوم در بهره‌وری انرژی برای راه‌آهن‌های کوتاه تا متوسط با توقف‌های مکرر، مانند متروهای شهری یا شبکه‌های راه‌آهن سبک، برتری دارند. نزدیکی منبع انرژی به قطارها باعث کاهش تلفات الکتریکی می‌شود و انتقال نیروی قابل اطمینانی را ارائه می‌دهد. این منبع انرژی پایدار، عملکرد دقیق شتاب‌گیری و ترمزگیری را که برای الگوهای خدمات با فرکانس بالا حیاتی است، ممکن می‌سازد [35].

- **اختلالات حداقلی در خدمات حین پیاده‌سازی**

تجهیز مجدد یا به‌روزرسانی سیستم‌های راه‌آهن برای ادغام الکتریکی‌سازی ریل سوم اغلب می‌تواند با حداقل اختلال در خدمات جاری انجام شود، به‌ویژه در مقایسه با انتقال به سیستم‌های بالاسری که ممکن است نیاز به تعطیلی گسترده خطوط یا تغییر مسیرها داشته باشد. این انعطاف‌پذیری از پیاده‌سازی مرحله‌ای در شبکه‌های عملیاتی پشتیبانی می‌کند [36].

- **سازگاری با سیستم‌های حمل‌ونقل شهری**

الکتریکی‌سازی ریل سوم به‌طور یکپارچه با سیستم‌های حمل‌ونقل شهری که در آن قطارها اغلب فضای مشترکی با ترافیک جاده‌ای و عابران پیاده دارند، ادغام می‌شود. نیازهای کم ارتفاع آن، برای وسایل نقلیه ریلی و سکوهای فشرده ایده‌آل است، که از توسعه‌های مبتنی‌بر حمل‌ونقل حمایت کرده و دسترسی را بهبود می‌بخشد [37].

2.2.2.2. تجهیزات سیستم ریل سوم

2.2.2.2.1. ریل سوم (Third Rail)

ریل سوم اصلی‌ترین جزء سیستم برقی‌سازی است که برق را به قطارها تأمین می‌کند. این ریل معمولاً یک ریل فلزی است که معمولاً از فولاد یا آلومینیم ساخته می‌شود و در کنار خط راه‌آهن نصب می‌شود. ریل سوم با ولتاژ مستقیم DC (جریان مستقیم) برق‌دار می‌شود که معمولاً بین ۶۰۰ تا ۷۵۰ ولت است. این ولتاژ نسبت به سیستم‌های برقی با سیم بالاسری (کاتنری) که ولتاژ بالاتری دارند، کمتر است و به همین دلیل سیستم‌های ریل سوم برای محیط‌هایی با ساختارهای کم‌ارتفاع مانند تونل‌ها یا مناطق شهری مناسب‌تر هستند (فری، ۱۹۹۶). خود ریل معمولاً روی ساختارهای عایق نصب می‌شود تا از تماس آن با زمین یا مواد هادی جلوگیری کند و ایمنی مسافران و پرسنل نگهداری را تضمین کند [38].

2.2.2.2.2. جمع‌کننده‌های جریان (کفش‌ها)

جمع‌کننده جریان که به طور معمول به آن "کفش" گفته می‌شود، دستگاهی است که به زیر قطار متصل می‌شود و به‌طور مستقیم با ریل سوم تماس پیدا می‌کند. این کفش، انتقال برق از ریل سوم به سیستم برقی قطار را تضمین می‌کند. معمولاً این کفش شامل یک بازو یا برس فلزی است که روی ریل سوم می‌لغزد و نقطه تماس آن از مواد هادی مانند مس کربن یا فولاد برای کاهش مقاومت الکتریکی تشکیل شده است. کفش باید تماس پیوسته‌ای با ریل سوم در حین حرکت قطار حفظ کند تا تأمین برق ثابت شود. طراحی کفش بسیار مهم است، زیرا باید از سایش زیاد هم بر کفش و هم بر ریل جلوگیری کرده و از هرگونه جرقه یا اختلال در جریان برق جلوگیری کند [39]. جمع‌کننده‌های جریان بر اساس موقعیت ریل سوم و نیاز های عملیاتی در انواع مختلف طراحی می‌شوند:

۱. **کفش‌های تماس از بالا:** این نوع کفش‌ها برق را از سطح بالای ریل سوم جمع‌آوری می‌کنند و معمولاً در محیط‌هایی استفاده می‌شوند که آلودگی یا مشکلات مرتبط با شرایط جوی کمتر باشد.

۲. **کفش‌های تماس از کنار:** این نوع کفش‌ها با سطح کناری ریل تماس برقرار می‌کنند و در مکان‌هایی که تماس از بالا ممکن نیست، استفاده می‌شوند.

۳. **کفش‌های تماس از زیر:** این کفش‌ها با سطح زیرین ریل سوم تماس دارند و در سیستم‌هایی به‌کار می‌روند که خطر تماس تصادفی یا آلودگی زیاد است [40].

نمونه‌ای از فناوری جدید به‌کار رفته در این کفش‌های جمع‌کننده جریان، استفاده از مواد مرکب در ساختار قسمت تماس با ریل است که سایش را کاهش داده و عملکرد آن‌ها را تحت بارهای سنگین بهبود می‌بخشد [41].

2.2.2.2.3. ساختارهای عایق و پشتیبانی

ریل سوم توسط مجموعه‌ای از اجزای عایق و مکانیکی پشتیبانی می‌شود تا از قرار گرفتن صحیح آن و عایق شدن الکتریکی آن از محیط اطراف اطمینان حاصل شود. این اجزا شامل عایق‌ها هستند که مانع از اتصال ریل سوم به زمین یا ایجاد اتصال کوتاه می‌شوند و همچنین پشتیبانی‌های مکانیکی که ریل را در جای خود نگه می‌دارند. مواد عایق معمولاً شامل پلاستیک‌ها یا لاستیک‌های مقاوم به فشار و با خواص الکتریکی بالا هستند. فاصله فیزیکی ریل سوم نیز بسیار مهم است تا از تماس تصادفی با چرخ‌های قطار یا سایر اجزا جلوگیری شود [42].

2.2.2.2.4. تجهیزات منبع تغذیه مجاور

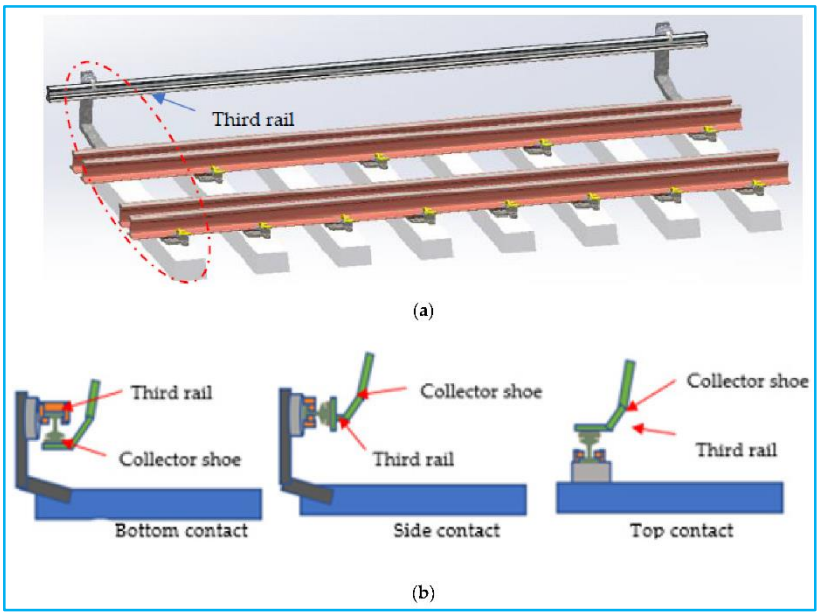
برق‌رسانی به ریل سوم از طریق تجهیزات مختلف در کنار خط، از جمله ایستگاه‌های برق، ترانسفورماتورها و کلیدها انجام می‌شود. ایستگاه‌های برق ولتاژ AC (جریان متناوب) با ولتاژ بالا را از شبکه به DC با ولتاژ پایین‌تر که برای ریل سوم لازم است، تبدیل می‌کنند. ترانسفورماتورها ولتاژ شبکه را به سطح مناسب برای سیستم برقی کاهش می‌دهند، در حالی که قطع‌کننده‌ها (کلیدها) از سیستم در برابر خطاها و بار های اضافی محافظت می‌کنند. این اجزا به‌طور استراتژیک در طول خط راه‌آهن قرار می‌گیرند تا تأمین برق ثابت را تضمین کرده و فاصله‌ای که برق باید طی کند را به حداقل برسانند تا از تلفات جلوگیری شود [43].

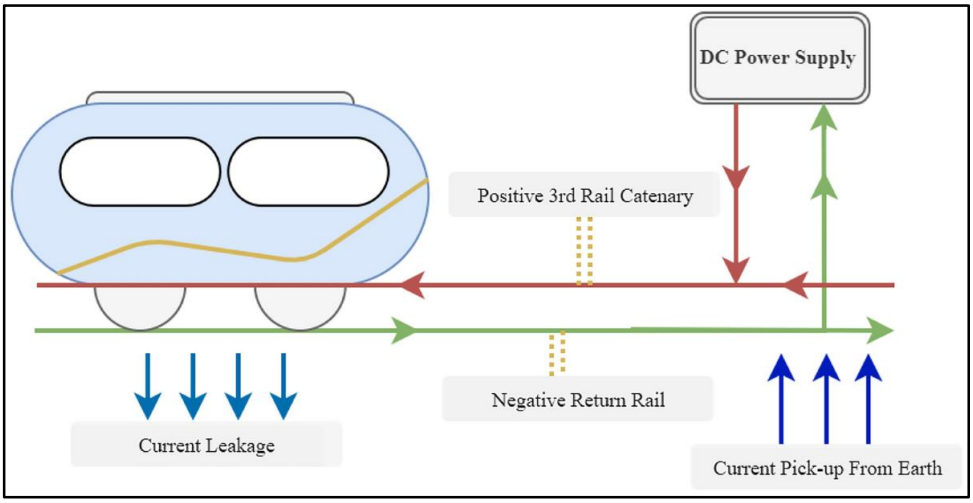
2.2.2.2.5. مسیر بازگشت جریان ریل

مسیر بازگشت جریان در سیستم‌های ریل سوم معمولاً از طریق ریل‌های خط انجام می‌شود. جریان از ریل سوم وارد جمع‌کننده‌های جریان قطار می‌شود، سپس از طریق سیستم‌های الکتریکی قطار عبور کرده و در نهایت از طریق ریل‌های حرکت‌کننده به ریل باز می‌گردد. یکپارچگی مسیر بازگشت ریل برای کارایی و ایمنی سیستم بسیار حیاتی است و هرگونه مشکلی مانند اتصالات ضعیف ریل یا خرابی خط می‌تواند منجر به قطع برق یا سایش اضافی شود [44].

2.2.2.2.6. سیستم‌های سیگنال‌دهی و حفاظت

سیستم‌های برقی ریل سوم به سیستم‌های سیگنال‌دهی و حفاظتی پیشرفته نیاز دارند تا عملیات ایمن و کارآمد را تضمین کنند. این سیستم‌ها شامل سیگنال‌دهی کنار خط هستند که با قطارها برای کنترل سرعت و حرکت ارتباط برقرار می‌کنند. مکانیزم‌های حفاظتی، مانند سیستم‌های تشخیص خطای زمین، برای جلوگیری از موقعیت‌های خطرناک مانند اتصال کوتاه یا خرابی در تأمین برق به‌کار می‌روند. این سیستم‌ها با سیستم‌های ایمنی موجود در قطار یکپارچه شده‌اند تا در صورت بروز مشکلات به‌طور خودکار برق را قطع کنند. تعامل بین سیستم‌های تأمین برق و سیگنال‌دهی بخش حیاتی عملکرد شبکه‌های راه‌آهن مدرن است و این اطمینان را می‌دهد که سیستم هم از نظر کارایی و هم ایمنی عملکرد مناسبی داشته باشد [45].





شکل ۲: سیستم‌های سیگنال‌دهی و حفاظت

2.2.3. Onboard Energy Storage System (OESS)

- **تاریخچه**

سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی درون‌برد (OESS) به‌دلیل نیاز روزافزون به سیستم‌های ریلی کارآمدتر، پایدارتر و انعطاف‌پذیرتر ظهور کردند. این مفهوم به اواخر قرن نوزدهم و اوایل قرن بیستم بازمی‌گردد، زمانی که ذخیره‌سازی انرژی اولیه مانند چرخ‌طیارها به‌صورت محدود استفاده می‌شد.

با این‌حال، پیشرفت در فناوری باتری در اواسط قرن بیستم، به‌ویژه توسعه باتری‌های اسید-سربی و بعدتر باتری‌های لیتیم-یونی، ذخیره‌سازی انرژی درون‌برد را برای وسایل نقلیه ریلی عملی ساخت. معرفی ترمز احیاکننده در دهه‌های ۱۹۷۰ و ۱۹۸۰، ادغام سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی را سرعت بخشید و امکان بازیابی و استفاده مجدد از انرژی ترمز را فراهم کرد. توسعه‌های مدرن مانند ابرخازن‌ها و باتری‌های حالت جامد، پتانسیل OESS را در کاربردهای ریلی مجدداً احیا کردند [46].

روند تکامل این سیستم‌ها را می‌توان به چهار مرحله اصلی تقسیم کرد:

۱-مرحله اولیه: ظهور ایده ذخیره‌سازی انرژی در سیستم‌های حمل‌ونقل (قرن ۱۹)

در اواخر قرن نوزدهم، با ظهور لوکوموتیوهای الکتریکی اولیه و کاربردهای ابتدایی فناوری برق در حمل‌ونقل، ایده ذخیره‌سازی انرژی مطرح شد. استفاده از چرخ‌طیارها به‌عنوان وسیله‌ای برای ذخیره‌سازی انرژی جنبشی اولین گام در این مسیر بود. این فناوری‌ها در آن زمان بسیار محدود بودند و عمدتاً به صنایع خاص یا آزمایش‌های ابتدایی اختصاص داشتند [47].

۲- پیشرفت در باتری‌ها و آغاز استفاده عملیاتی (اوایل قرن ۲۰)

پیشرفت فناوری باتری در اوایل قرن بیستم، به‌ویژه توسعه باتری های اسید-سربی، امکان ذخیره‌سازی انرژی در وسایل نقلیه ریلی را فراهم کرد. این باتری‌ها چگالی انرژی کافی برای تامین نیاز های سیستم‌های ریلی سبک را داشتند و در حمل‌ونقل عمومی کوچک یا واگن‌های سبک به‌کار گرفته شدند. با این‌حال، محدودیت‌های دوام و وزن زیاد این باتری‌ها استفاده گسترده آن‌ها را محدود کرد [48].

۳- معرفی ترمز احیا کننده و تحول در ذخیره‌سازی انرژی (دهه ۱۹۷۰ و ۱۹۸۰)

در دهه‌های ۱۹۷۰ و ۱۹۸۰، با پیشرفت‌های چشم‌گیر در مهندسی الکترونیک قدرت، فناوری ترمز احیاکننده معرفی شد. این فناوری امکان بازیابی انرژی جنبشی در حین ترمزگیری را فراهم می‌کرد و انرژی بازیافتی می‌توانست در سیستم ذخیره‌سازی داخلی یا شبکه بازگردانده شود. این تحول پایه‌گذار استفاده گسترده‌تر از ذخیره‌سازی انرژی درون‌برد بود و منجر به طراحی سیستم‌هایی شد که می‌توانستند انرژی بازیافتی را برای استفاده مجدد ذخیره کنند [49].

۴- دوران مدرن: فناوری پیشرفته باتری و ابرخازن‌ها (دهه ۲۰۰۰ به بعد)

در دو دهه اخیر، ظهور فناوری‌های پیشرفته‌تر مانند باتری‌های لیتیم-یونی و ابرخازن‌ها، امکانات جدیدی را در زمینه ذخیره‌سازی انرژی فراهم کرده است. باتری‌های لیتیم-یونی با چگالی انرژی بالا و وزن کم، به یک گزینه استاندارد تبدیل شده‌اند؛ همچنین، ابرخازن‌ها که توانایی ارائه توان فوری و طول عمر بالا دارند، به‌ویژه در کاربردهای قطارهای سبک شهری مورد توجه قرار گرفته‌اند. ترکیب این دو فناوری در سیستم‌های هیبریدی، مزایای هر دو را ارائه می‌دهد؛ علاوه‌براین، توسعه باتری‌های حالت جامد و تلاش برای کاهش هزینه‌ها و افزایش عمر مفید این فناوری‌ها، آینده روشنی را برای سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی نوید می‌دهد [50].

- **معرفی**

برق‌رسانی ریلی به‌طور سنتی به تأمین پیوسته انرژی از طریق خطوط بالاسری یا سیستم‌های ریل سوم متکی بوده است. با این حال، سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی درون‌برد (Onboard Energy Storage Systems) یا (OESS) به‌عنوان فناوری‌هایی تحول‌آفرین ظهور کرده‌اند که چالش‌های اساسی در شبکه‌های ریلی، علی‌الخصوص در کریدورهای نیمه‌برق‌دار یا غیربرق‌دار، را برطرف می‌کنند. این سیستم‌ها انرژی الکتریکی را درون قطار ذخیره کرده و امکان حرکت مستقل قطار بدون وابستگی به منابع برق خارجی را در بخش‌هایی از مسیر فراهم می‌کنند. این قابلیت به‌ویژه برای پر کردن شکاف‌های زیرساختی در برق‌رسانی، که به برق‌رسانی ناپیوسته معروف است، حیاتی است، زیرا در برخی موارد نصب خطوط بالاسری از نظر اقتصادی، فنی یا زیست‌محیطی مقرون‌به‌صرفه نیست [21].

2.2.3.1. مزایای سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی

ادغام سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی در شبکه‌های ریلی، مزایای متعددی را به همراه دارد. اول، این سیستم‌ها وابستگی به زیرساخت‌های گسترده و پرهزینه برق‌رسانی را کاهش می‌دهند و سرمایه‌گذاری‌های اولیه را به حداقل می‌رسانند، در حالی که پیوستگی عملیات در محیط‌های پیچیده را تضمین می‌کنند. دوم، این فناوری با بازیابی انرژی حاصل از ترمز احیایی، کارایی انرژی را افزایش داده و هزینه‌های عملیاتی و انتشار کربن را به‌طور قابل توجهی کاهش می‌دهد. سوم، سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی با کاهش نیاز به موتورهای دیزلی، انتشار آلودگی صوتی و زیست‌محیطی را کاهش داده و با اهداف جهانی توسعه پایدار همسو می‌شوند [22]؛ علاوه‌بر این، OESS قابلیت اطمینان و مقاومت شبکه ریلی را با تأمین انرژی پشتیبان در زمان قطعی برق یا افت ولتاژ افزایش می‌دهند [51].

2.2.3.2. اجزای سیستم برق‌رسانی OESS

2.2.3.2.1. واحد ذخیره‌سازی انرژی Energy Storage Units (ESUs)

جزء اصلیOESS ، دستگاه ذخیره‌سازی انرژی است که معمولاً شامل باتری (مانند باتری لیتیم-یون یا نیکل-متال هیدرید)، ابرخازن یا ترکیبی از هر دو است. این دستگاه وظیفه ذخیره و تأمین انرژی الکتریکی برای نیروی محرکه و سیستم‌های کمکی قطار را بر عهده دارد. باتری‌های لیتیم-یون به‌دلیل چگالی انرژی بالا ترجیح داده می‌شوند، در حالی که ابرخازن‌ها در تأمین نیروی سریع در هنگام شتاب‌گیری و ترمز احیاگر بسیار مؤثر هستند. سیستم هیبریدی از نقاط قوت هر دو فناوری برای دستیابی به عملکرد بهینه استفاده می‌کند [52]. این واحدهای ذخیره‌سازی به قطار امکان عملکرد در مناطق بدون خطوط برق و کمک به ترمز احیاکننده را می‌دهند.

در بررسی دقیق‌تر، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- **باتری‌های لیتیم-یون** دارای چگالی انرژی بالا بوده و برای عملیات طولانی‌مدت مناسب هستند.
- **ابرخازن‌ها** چرخه‌های شارژ و تخلیه سریع را ارائه می‌دهند که برای بازیابی انرژی در هنگام ترمز مناسب است.
- **چرخ‌های طیار** انرژی جنبشی را ذخیره کرده و برای کاربردهای کوتاه‌مدت با توان بالا مناسب هستند [53].

2.2.3.2.2. سیستم مدیریت انرژی (EMS)

سیستم مدیریت انرژی (EMS) به‌عنوان مغز OESS عمل کرده و جریان‌های انرژی در داخل قطار را پایش و کنترل می‌کند. این سیستم با هماهنگی دستگاه ذخیره‌سازی، مبدل‌های توان و سیستم محرکه، مصرف انرژی را بهینه می‌کند؛ EMS همچنین ایمنی سیستم را با نظارت بر پارامترهایی مانند دما، ولتاژ و جریان تضمین می‌کند و از شارژ یا گرمای بیش از حد جلوگیری می‌کند؛ علاوه‌بر این، این سیستم انرژی بازیافتی در طی ترمز احیاگر را مدیریت کرده و کارایی ذخیره‌سازی را به حداکثر می‌رساند[54].

EMS واحد محاسباتی است که توزیع و استفاده از انرژی را در داخل قطار کنترل می‌کند. این سیستم شارژ و تخلیه بهینه واحدهای ذخیره‌سازی انرژی، تعادل مصرف برق بین سیستم‌های پیش‌ران و جانبی، و ادغام با سیستم‌های ترمز احیاکننده برای به حداکثر رساندن بازیابی انرژی را تضمین می‌کند [55].

2.2.3.2.3. سیستم تبدیل توان/ الکترونیک قدرت

سیستم تبدیل توان، شامل اینورترها و مبدل‌ها، نقش حیاتی در تطبیق انرژی ذخیره‌شده با نیازهای عملیاتی قطار ایفا می‌کند. اینورتر جریان مستقیم (DC) دستگاه ذخیره‌سازی انرژی را به جریان متناوب (AC) برای موتورها تبدیل می‌کند؛ علاوه‌بر این، مبدل‌های DC-DC سطح ولتاژ را تنظیم کرده و تأمین انرژی پایدار و حفاظت از تجهیزات حساس را تضمین می‌کنند. این سیستم‌ها باید جریان انرژی دوطرفه را به‌طور کارآمد مدیریت کنند، هم در مرحله شارژ و هم در مرحله تخلیه [56].

این بخش که به بخش الکترونیک قدرت نیز معروف است، شامل اینورترها، مبدل‌ها و یکسوکننده‌ها نقش اساسی در یکپارچه‌سازی OESS ایفا می‌کند. این دستگاه‌ها انرژی DC از واحدهای ذخیره‌سازی را به AC برای موتورهای کششی تبدیل می‌کنند یا برعکس در هنگام ترمز احیاکننده؛ علاوه‌بر این، ولتاژ و فرکانس را مطابق نیازهای عملیاتی تنظیم می‌کنند [57].

2.2.3.2.4. موتور های محرکه (Traction Motors)

موتور های محرکه اصلی‌ترین مصرف‌کنندگان انرژی ذخیره‌شده در OESS هستند. این موتورها انرژی الکتریکی را به انرژی مکانیکی تبدیل کرده و چرخ‌های قطار را به حرکت درمی‌آورند. موتورهای پیشرفته غیرهمزمان یا همزمان به‌دلیل بهره‌وری بالا، مقاومت و سازگاری با سیستم‌های ترمز احیاگر ترجیح داده می‌شوند. در طی ترمز احیاگر، موتورهای محرکه به‌صورت معکوس عمل کرده، انرژی جنبشی را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کنند و آن را برای ذخیره‌سازی به OESS بازمی‌گردانند [58].

موتورهای کششی اغلب با EMS یکپارچه هستند؛ سیستم‌های مدرن از موتورهای AC به‌دلیل کارایی، استحکام و سازگاری با درایوهای فرکانس متغیر استفاده می‌کنند [59].

2.2.3.2.5. سیستم‌های خنک‌کننده و مدیریت حرارتی

مدیریت حرارتی مؤثر برای قابلیت اطمینان و طول عمر دستگاه ذخیره‌سازی انرژی و تجهیزات الکترونیکی قدرت ضروری است. سیستم‌های خنک‌کننده که از مکانیزم‌های مایع یا هوا استفاده می‌کنند، دماهای عملیاتی بهینه را حفظ کرده و از افت عملکرد یا خطرات حرارتی جلوگیری می‌کنند. این سیستم‌ها برای اتلاف مؤثر گرما طراحی شده‌اند و در عین‌حال مصرف انرژی را به حداقل می‌رسانند [60].

2.2.3.2.6. رابط‌های کنترل و ارتباطات

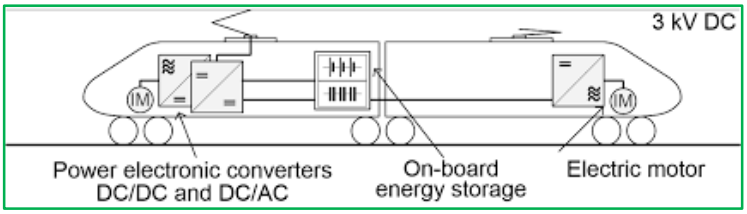
رابط‌های کنترل و ارتباطات یکپارچگی بدون درز OESS با سیستم‌های کلی قطار و زیرساخت راه‌آهن را تضمین می‌کنند. این رابط‌ها تبادل داده در زمان واقعی را امکان‌پذیر کرده و نظارت از راه دور و تشخیص خطا را تسهیل می‌کنند و همچنین از استراتژی‌های نگهداری پیش‌بینی‌کننده پشتیبانی می‌کنند [61].

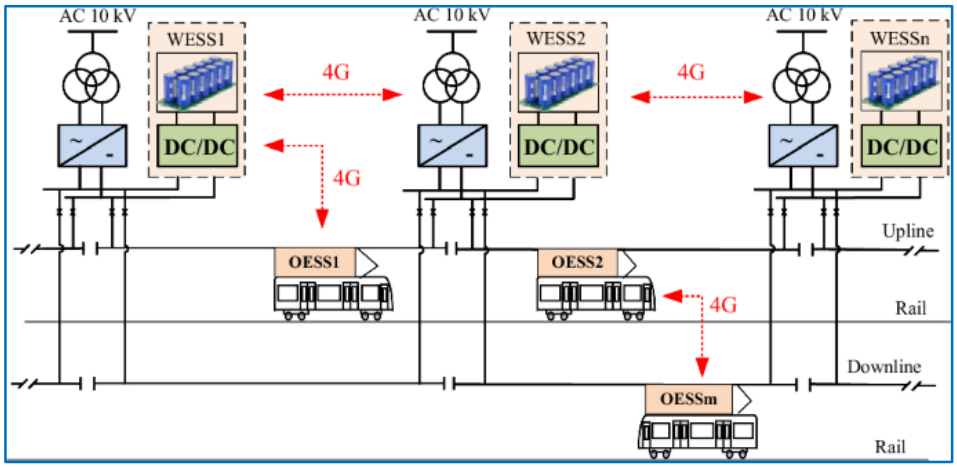
2.2.3.2.7. سیستم‌های توان کمکی

علاوه‌بر نیروی محرکه، OESS انرژی مورد نیاز برای سیستم‌های کمکی مانند روشنایی، HVAC (سیستم‌های گرمایش، تهویه و تهویه مطبوع) و تجهیزات الکترونیکی درون قطار را تأمین می‌کند. این امر نیازمند مبدل‌ها و شبکه‌های توزیع اضافی است که متناسب با نیازهای ولتاژ و توان این زیرسیستم‌ها طراحی شده‌اند [62].

2.2.3.2.8. سیستم‌های شارژ

زیرساخت شارژ بخش مهمی از عملکرد OESS است که امکان تجدید انرژی را در حین حرکت (از طریق ترمز احیاگر یا ایستگاه‌های شارژ) یا در پایانه‌ها فراهم می‌کند. سیستم‌های شارژ پیشرفته، انتقال سریع انرژی را پشتیبانی می‌کنند و در عین‌حال سازگاری با فناوری‌های مختلف ذخیره‌سازی انرژی را تضمین می‌کنند [63].





شکل ۳: سیستم‌های شارژ

2.2.4. Hybrid Railway Electrification Systems

- **تاریخچه**

تاریخچه سیستم‌های هیبریدی راه‌آهن به توسعه لوکوموتیوهای دوگانه‌سوز در میانه قرن بیستم بازمی‌گردد. تلاش‌های اولیه بر ترکیب موتورهای دیزلی با سیستم‌های کشش برقی متمرکز بود تا عملیات در بخش‌های برقی و غیر برقی امکان‌پذیر شود؛ به‌عنوان مثال، در دهه ۱۹۵۰، لوکوموتیوهایی مانند FL9 که توسط بخش Electro-Motive Division ساخته شده بودند، از قدرت دیزل و ریل سوم استفاده می‌کردند که نقطه عطف مهمی در این زمینه بود.

با پیشرفت‌های فناوری، ترکیب باتری‌ها و سلول‌های سوختی به واقعیت در قرن بیست و یکم تبدیل شد. پروژه‌های پیشگامانه‌ای مانند قطار باتری‌دار Bombardier Talent 3 و قطار هیدروژنی Coradia iLint از آلستوم نمونه‌هایی از تغییر به‌سوی راه‌حل‌های سبزتر و کارآمدتر هیبریدی هستند [64].

- **معرفی**

سیستم‌های برقی‌سازی هیبریدی راه‌آهن، یک راه‌حل پیشرفته هستند که شبکه‌های برقی‌سازی سنتی راه‌آهن را با سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی داخلی (OESS) یا واحدهای توان کمکی ترکیب می‌کنند. این سیستم‌ها به‌منظور ارتقاء انعطاف‌پذیری عملیاتی، کاهش انتشار گازهای کربنی و بهبود بهره‌وری انرژی طراحی شده‌اند. سیستم‌های هیبریدی به قطارها این امکان را می‌دهند که به‌طور یکپارچه در مسیرهای برقی و غیر برقی حرکت کنند، بدون نیاز مداوم به سیستم‌های کاتنری هوایی (OLE) یا منابع قدرت ریل سوم.

قطارهای هیبریدی مدرن معمولاً از باتری‌ها، سلول‌های سوختی هیدروژنی یا سایر مکانیزم‌های ذخیره‌سازی انرژی همراه با منابع قدرت سنتی استفاده می‌کنند. این سیستم‌ها به‌عنوان جایگزینی دوستدار محیط‌زیست برای لوکوموتیوهای دیزلی ظهور کرده‌اند و به حل دوگانه چالش‌های برقی‌سازی محدود و فوریت دستیابی به اهداف اقلیمی پرداخته‌اند [65].

2.2.4.1. مزایا و منافع پیاده‌سازی سیستم‌های الکتریکی هیبریدی

- **مقرون به صرفه بودن و بهینه‌سازی زیرساخت‌ها**

سیستم‌های ترکیبی نیاز به برقی‌سازی گسترده هوایی (OLE) را، به‌ویژه در مسیرهای کم‌تردد یا دورافتاده که برقی‌سازی کامل از نظر اقتصادی قابل توجیه نیست، کاهش می‌دهند. با استفاده از ترکیب منابع انرژی، راه‌آهن می‌تواند صرفه‌جویی قابل توجهی در هزینه‌های توسعه زیرساخت و نگهداری سیستم‌های کاتنری پیوسته داشته باشد؛ به‌عنوان مثال، بخش‌هایی از مسیر می‌توانند با انرژی باتری یا هیدروژن عمل کنند [66].

- **پایداری زیست‌محیطی**

جایگزینی قطارهای دیزلی با سیستم‌های هیبریدی به‌طور قابل توجهی به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و بهبود کیفیت هوا کمک می‌کند. فناوری‌های باتری و سلول‌های سوختی هیدروژنی منابع انرژی پاکی ارائه می‌دهند که با اهداف جهانی کاهش کربن همسو هستند. استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر برای شارژ باتری‌ها یا تولید هیدروژن، اعتبار زیست‌محیطی این سیستم را افزایش می‌دهد. کاهش انتشار کربن در سیستم‌های هیبریدی در مقایسه با عملیات دیزلی سنتی به‌خوبی مستند شده است [67].

- **انعطاف‌پذیری عملیاتی**

سیستم‌های ترکیبی امکان عملیات یکپارچه در بخش‌های برقی و غیر برقی شبکه راه‌آهن را فراهم می‌کنند. این انعطاف‌پذیری برای خدمات منطقه‌ای و بین‌شهری که زیرساخت‌های مختلط را طی می‌کنند، بسیار ارزشمند است. قطارهای با نیروی باتری می‌توانند بدون کاهش عملکرد، در بخش‌های بدون کاتنری عمل کنند و سیستم‌های هیدروژنی می‌توانند برد عملیاتی را در جایی که فناوری باتری ممکن است محدود باشد، گسترش دهند. مطالعات موردی در عملیات راه‌آهن این مزیت انعطاف‌پذیری را تأیید کرده‌اند [68].

- **کاهش زمان توقف و افزایش قابلیت اطمینان**

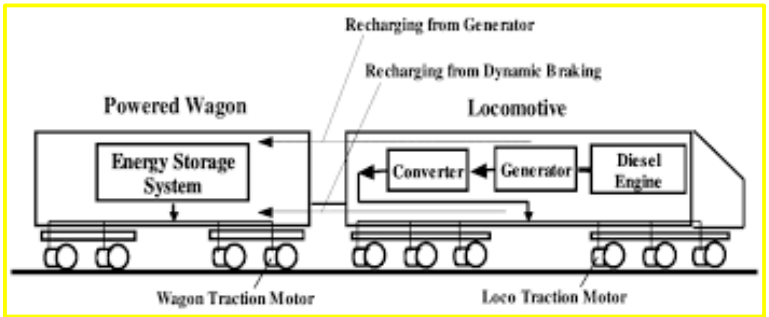
سیستم‌های ترکیبی با ارائه گزینه‌های متعدد انرژی، قابلیت اطمینان عملیاتی را افزایش می‌دهند. در صورت خرابی زیرساخت یا نگهداری در بخش‌های برقی هوایی، قطارها می‌توانند به منابع انرژی جایگزین تغییر حالت دهند و خدمات بدون وقفه را تضمین کنند. این انعطاف‌پذیری زمان توقف را کاهش داده و رضایت مشتری را افزایش می‌دهد. شواهد تجربی از مطالعات عملیات راه‌آهن بر مزایای قابلیت اطمینان سیستم‌های قدرت متنوع تأکید دارند [69].

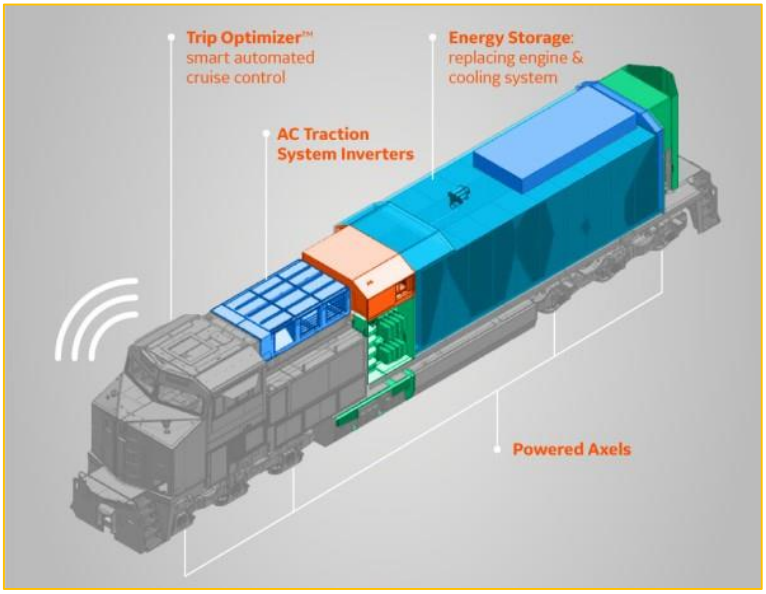
- **تسهیل برقی‌سازی تدریجی شبکه**

برای راه‌آهن‌هایی که از دیزل به‌سمت برقی‌سازی حرکت می‌کنند، سیستم‌های هیبریدی یک مسیر تدریجی ارائه می‌دهند و امکان ارتقاء زیرساخت به‌طور پیوسته را فراهم می‌کنند. ماهیت ماژولار سیستم‌های هیبریدی از استقرار مرحله‌ای فناوری‌های برقی‌سازی بدون نیاز به سرمایه‌گذاری بزرگ و آنی حمایت می‌کند. این رویکرد شتاب‌دهنده پذیرش فناوری‌های پاک‌تر است و در عین‌حال تداوم خدمات را حفظ می‌کند [70].

- **پیشرفت فناوری**

سیستم‌های ترکیبی راه‌آهن به‌عنوان بستری برای ادغام فناوری‌های پیشرفته مانند سیستم‌های بازیابی انرژی و بهینه‌سازی مبتنی‌بر هوش مصنوعی برای مدیریت انرژی عمل می‌کنند. این پیشرفت‌ها بهره‌وری انرژی را افزایش داده و راه را برای راه‌حل‌های مقیاس‌پذیر که با تقاضا های آینده قابل انطباق هستند، هموار می‌سازند [71].





شکل ۴: پیشرفت در فناوری حمل و نقل ریلی

2.3. انواع سیستم از نظر نوع جریان

2.3.1. سیستم‌های برق‌رسانی جریان مستقیم (DC)

سیستم‌های DC در ولتاژهای پایین‌تر، معمولاً ۶۰۰ تا ۳۰۰۰ ولت، عمل می‌کنند. این سیستم‌ها به‌طور گسترده در شبکه‌های حمل‌ونقل شهری، شامل متروها و سیستم‌های قطار سبک استفاده می‌شوند. مزیت اصلی سیستم‌هایDC ، تطابق آن‌ها با توقف‌های مکرر و شروع دوباره است که با الگوی عملیاتی حمل‌ونقل شهری هماهنگ است.

- **DCولتاژ پایین (۷۵۰-۶۰۰ ولت)** :عمدتاً در تراموا‌ها و سیستم‌های ترولی استفاده می‌شود. این محدوده ولتاژ از طریق سیم‌های هوایی (OLE) یا ریل سوم (Third Line) تأمین می‌شود. سادگی زیرساخت و سازگاری با سیستم‌های ترمز احیاکننده آن را برای مناطق شهری و متراکم مقرون‌به‌صرفه می‌کند.
- **DCولتاژ بالا (۳۰۰۰-۱۵۰۰ ولت)** :در مناطقی با شبکه‌های گسترده حومه‌ای و بین‌شهری مانند ژاپن و بخش‌هایی از اروپا (مانند هلند) یافت می‌شود. این ولتاژ از نظر سرعت و مسافت نسبت به سیستم‌های DC ولتاژ پایین، عملکرد بهتری دارد [72].

2.3.2. سیستم‌های برق‌رسانی جریان متناوب(AC)

سیستم‌هایAC ، مخصوصا سیستم‌های تک‌فاز، برای کاربردهای سنگین ریلی ایده‌آل هستند؛ زیرا توانایی انتقال انرژی در مسافت‌های طولانی با حداقل افت را دارند. این سیستم‌ها از ولتاژهای بالاتر (۱۵ کیلوولت تا ۲۵ کیلوولت) و فرکانس‌هایی استفاده می‌کنند که متناسب با نیازهای منطقه‌ای تنظیم شده‌اند.

- **۱۵ کیلوولت، ۱۶,۷ هرتز (پیشتر ۱۶ کیلو ولت ۲/۳ هرتز)**: این سیستم عمدتاً در آلمان، اتریش، سوئیس و کشورهای اسکاندیناوی استفاده می‌شود. فرکانس پایین‌تر آن، راکتانس را در سیم‌های بالاسری (OLE) کاهش می‌دهد و عملکرد بهتری برای موتورها فراهم می‌کند.
- **۲۵ کیلوولت، ۵۰ هرتز**: این سیستم، گسترده‌ترین سیستم مورد استفاده در سراسر جهان است و برای راه‌آهن‌های سریع‌السیر و کریدورهای مدرن باربری ترجیح داده می‌شود. ولتاژ بالا، افت انرژی را به حداقل می‌رساند، در حالی که سازگاری با منبع تغذیه صنعتی

استاندارد در ۵۰ هرتز، زیرساخت را ساده‌تر می‌کند. کشورهایی مانند فرانسه (TGV)، چین و هند از این سیستم به‌طور گسترده استفاده می‌کنند.

- **۲۵ کیلوولت، ۶۰ هرتز** :در آمریکای شمالی و بخش‌هایی از شرق آسیا استفاده می‌شود. این سیستم ۶۰ هرتزی برای مناطقی طراحی شده که فرکانس برق تجاری آن ۶۰ هرتز است و یکپارچگی با شبکه ملی را تضمین می‌کند [73].

2.3.3. سیستم‌های دوگانه و چندگانه

برخی سیستم‌های ریلی برای فعالیت در زیر استانداردهای مختلف برق‌رسانی، به‌دلیل خدمات بین‌مرزی یا سیستم‌های قدیمی، باید چندگانه باشند. لوکوموتیوهای دو ولتاژ یا چند سیستمی می‌توانند بین حالت‌های مختلف برق‌رسانی تغییر کنند و قابلیت همکاری را ممکن می‌سازند.

- برای مثال، یورواستار بین بریتانیا، فرانسه و بلژیک عمل می‌کند و بین ۲۵ کیلوولت AC و ۳ کیلوولت DC جابه‌جا می‌شود. چنین سیستم‌هایی عملیات کارآمد را بدون نیاز به تعویض لوکوموتیو تضمین می‌کند [74].

جدول ۱: بررسی سیستم‌های مختلف در انواع سطح ولتاژها و کاربردهای آن‌ها

Feature	DC Systems	AC Systems
Voltage Levels	600V–3kV	15kV (16.7 Hz), 25kV (50/60 Hz)
Transmission Losses	High over long distances	Low due to high voltage
Infrastructure Costs	Higher (frequent substations)	Lower (fewer substations needed)
Traction Equipment	Simpler	More complex and heavier
Applications	Urban transit, tunnels	High-speed, long-distance, freight

جدول ۲: بررسی ویژگی‌های سیستم‌های AC و DC

System	Current Type	Voltage Levels	Common Applications
Overhead Line Electrification (OLE)	AC (25 kV, 15 kV) / DC (1.5 kV, 3 kV)	25 kV AC, 15 kV AC, 1.5 kV DC, 3 kV DC	High-speed rail, heavy passenger/freight, urban/suburban rail
Third Rail Electrification	DC	600 V DC, 750 V DC	Metro, light rail, urban systems
Hybrid (Diesel-Electric)	AC/DC (combined)	Varies (typically 25 kV AC, 1.5 kV DC)	Mixed route systems (electrified + non-electrified)
Onboard Energy Storage System (OESS)	DC	600 V DC - 1500 V DC	Short non-electrified sections, urban/suburban, battery-powered systems

2.2.4. کاربردهای منطقه‌ای

- **اروپا**: عمدتاً از سیستم‌های ۲۵ کیلوولت AC و ۱۵ کیلوولت AC برای خطوط بین‌شهری و پرسرعت استفاده می‌کند. سیستم‌های قدیمی DC(۳۰۰۰-۱۵۰۰ ولت) در کشورهایی مانند ایتالیا و هلند برای خطوط حومه‌ای همچنان به‌کار می‌روند.
- **آسیا**: عمدتاً ۲۵ کیلوولت AC برای خطوط پرسرعت استفاده می‌شود و سیستم‌های DC در ژاپن برای شبکه‌های شهری رایج است.

- **آمریکای شمالی**: از ۲۵ کیلوولت AC برای ابتکارات جدید پرسرعت (مانند کریدور شمال شرق آمترک) و ۱۱ کیلوولت یا ۱۲ کیلوولت AC برای سیستم‌های قدیمی استفاده می‌شود.
- **استرالیا و آفریقا:** از ۲۵ کیلوولت AC برای باربری و راه‌آهن پرسرعت استفاده می‌کنند، زیرا از نظر بهره‌وری در عملیات طولانی‌مدت موثر است [75].

2.4. انواع موتورهای الکتریکی مورد استفاده در سیستم برق‌رسانی مترو

2.4.1. موتورهای DC در برق‌رسانی راه‌آهن

موتورهای جریان مستقیم (DC) به‌طور تاریخی متداول‌ترین نوع موتور مورد استفاده در برق‌رسانی راه‌آهن بوده‌اند، به‌ویژه در سیستم‌های حمل و نقل جمعی شهری، مانند قطارهای برقی، تراموا‌ها و طراحی‌های قدیمی لوکوموتیوها. کاربرد موتورهای DC در سیستم‌های سرعت پایین تا متوسط معمول است که نیاز به کنترل متغیر سرعت دارند.

2.4.1.1. انواع موتورهای DC

- **موتور DC سری:** این نوع موتور به‌دلیل گشتاور شروع بالای خود برای مقاصد کشش بسیار مناسب است. این موتور برای کاربردهایی که نیاز به سرعت و بار متغیر دارند، مانند قطارهای حومه‌ای یا لوکوموتیوها، مؤثر است.
- **موتور DC شنت:** این موتور ویژگی‌های سرعت ثابت دارد و بیشتر برای عملیات پایدار مناسب است، اغلب در سیستم‌هایی که کنترل سرعت آنچنان نیازمند نیست، استفاده می‌شود.

2.4.1.2. مزایا

- **گشتاور شروع بالا:** موتورهای DC گشتاور شروع عالی دارند که آن‌ها را برای کاربردهایی که نیاز به شتاب سریع از حالت سکون دارند، ایده‌آل می‌کند.
- **کنترل متغیر سرعت:** سرعت موتور DC می‌تواند به‌راحتی با تنظیم ولتاژ اعمال شده به موتور تغییر کند که این امر شتاب‌دهی و کاهش سرعت روان را فراهم می‌آورد.
- **کارایی در سرعت‌های پایین:** موتور های DC در سرعت های پایین کارآمد هستند که برای سیستم‌های حمل و نقل شهری یا عملیات حمل و نقل بار با سرعت کم حیاتی است.

2.4.1.3. معایب

- **نیاز به نگهداری زیاد:** موتورهای DC نسبت به موتورهای AC نیاز به نگهداری بیشتری دارند، عمدتاً به‌دلیل سایش برس‌ها و کموتاتورها. این ویژگی آن‌ها را برای عملیات با سرعت بالا و سرویس مداوم نامناسب می‌کند.
- **کارایی محدود در سرعت‌های بالا**: موتورهای DC در سرعت های بالا کارایی کمتری دارند که کاربرد آن‌ها را در عملیات راه‌آهن‌های پرسرعت محدود می‌کند [76,77].

2.4.2. موتورهای AC در برق‌رسانی راه‌آهن

موتورهای AC به انتخاب ترجیحی در برق‌رسانی راه‌آهن های مدرن تبدیل شده‌اند، مخصوصا در سیستم‌های راه‌آهن با سرعت بالا، حمل و نقل بار طولانی‌مدت، و قطارهای مسافری با عملکرد بالا. دو نوع اصلی موتور AC که در کشش راه‌آهن استفاده می‌شوند، موتورهای القایی آسنکرون (IM) و موتورهای سنکرون (SM) هستند.

2.4.2.1. انواع موتورهای AC

- **موتورهای القایی (موتورهای آسنکرون):** این موتورها رایج‌ترین نوع موتور در برق‌رسانی مدرن راه‌آهن هستند. موتورهای القایی بدون نیاز به کموتاتور کار می‌کنند و نسبت به موتورهای DC ساده‌تر و بادوام‌تر هستند. این موتورها به‌ویژه در قطارهای پرسرعت و لوکوموتیوهای برقی استفاده می‌شوند.
- **موتورهای سنکرون:** این موتورها به‌طور معمول در درایوهای کششی بزرگ استفاده می‌شوند که در آن‌ها نیاز به سرعت ثابت است. این موتورها اغلب با سیستم‌های کنترل پیشرفته ترکیب شده و در کاربردهای تخصصی به‌کار می‌روند.

2.4.2.2. مزایا

- **هزینه‌های نگهداری پایین‌تر:** بر خلاف موتورهای DC، موتورهای AC نیازی به برس یا کموتاتور ندارند که باعث کاهش سایش و پارگی و کاهش هزینه‌های نگهداری می‌شود.
- **کارایی بالا در سرعت‌های بالا:** موتورهای AC در سرعت‌های بالا، کارایی بیشتری دارند که آن‌ها را برای قطارهای پرسرعت مدرن و کاربردهای حمل و نقل بار طولانی‌مدت مناسب می‌سازد.
- **عملکرد بهتر با درایوهای الکترونیکی قدرت:** موتورهای AC، به‌ویژه موتورهای القایی، با درایوهای الکترونیکی مدرن مانند درایوهای تغییر فرکانس (VFD) سازگاری بالایی دارند که به کنترل دقیق سرعت و بازیابی انرژی کمک می‌کند.

2.4.2.3. معایب

- **پیچیدگی سیستم‌های کنترل:** موتورهای AC نیاز به سیستم‌های کنترل پیچیده‌ای برای تنظیم سرعت دارند، به‌ویژه در موتورهای القایی که برای این کار نیاز به درایوهای تغییر فرکانس (VFD) دارند.
- **گشتاور شروع کمتر:** موتورهای القایی معمولاً گشتاور شروع کمتری نسبت به موتورهای DC دارند، اگرچه این موضوع با استفاده از VFDها و تکنیک‌های پیشرفته استارت قابل حل است [78,79].

2.4.3. موتورهای مغناطیسی دائم (PMMs) در برق‌رسانی راه‌آهن

موتورهای مغناطیسی دائم (PMMs) به‌طور فزاینده‌ای در سیستم‌های کشش پیشرفته راه‌آهن استفاده می‌شوند، به‌ویژه در کاربردهایی که نیاز به عملکرد بالا و کارایی انرژی دارند. این موتورها از مغناطیس دائم برای تولید میدان مغناطیسی استفاده می‌کنند و نیازی به تحریک خارجی ندارند.

2.4.3.1. انواع PMMs

- **موتورهای سنکرون مغناطیسی دائم (PMSM):** این موتورها به‌طور فزاینده‌ای در طراحی قطارهای مدرن استفاده می‌شوند، به‌ویژه برای راه‌آهن‌های پرسرعت یا سیستم‌های راه‌آهن سبک به‌دلیل کارایی بالا و نسبت توان به وزن عالی.

- **موتورهای سنکرون مقاومتی مغناطیسی دائم (PMSRM):** این موتورها مزایای موتورهای مقاومتی سنکرون را با مغناطیس دائم ترکیب می‌کنند و در سیستم‌های کششی با کارایی انرژی بالا استفاده می‌شوند.

2.4.3.2. مزایا

- **کارایی بالا و چگالی توان:** PMMs کارایی بالاتر و چگالی توان بیشتری نسبت به موتورهای معمولی دارند که آن‌ها را برای استفاده در قطارهای سبک و راه‌آهن‌های پرسرعت ایده‌آل می‌سازد.
- **حجم و وزن کم:** به‌دلیل استفاده از مغناطیس دائم، این موتورها می‌توانند جمع‌وجورتر و سبک‌تر باشند که طراحی کلی قطار را بهبود می‌بخشد و مصرف انرژی را کاهش می‌دهد.
- **کاهش تلفات:** PMMs تلفات کمتری ایجاد می‌کنند، به‌ویژه در روتور، که منجر به کاهش مصرف انرژی و مدیریت حرارتی بهتر می‌شود.

2.4.3.3. معایب

- **هزینه بالای آهن‌رباها:** استفاده از آهن‌رباهای نادر خاکی در PMMs می‌تواند هزینه این موتورها را افزایش دهد. با این حال، تحقیقات در حال انجام در زمینه جایگزین‌ها ممکن است هزینه‌ها را در آینده کاهش دهد.
- **پیچیدگی در کنترل:** مانند دیگر انواع موتورها پیشرفته، PMMs نیاز به سیستم‌های کنترل پیچیده‌ای دارند، به‌ویژه هنگام عملکرد در سرعت‌ها و بار های متغیر [80,81].

۳. نتیجه‌گیری

سیستم‌های برق‌رسانی مترو نقش حیاتی در تأمین انرژی الکتریکی قطار های شهری دارند. این سیستم‌ها با استفاده از فناوری‌های مدرن مانند خطوط بالاسری (OLE)، ریل سوم و سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی داخلی (OESS) موجب بهبود کارایی انرژی، کاهش آلاینده‌های زیست‌محیطی و افزایش قابلیت اطمینان در حمل‌ونقل ریلی می‌شوند. استفاده از سیستم‌های الکتریکی نه‌تنها باعث افزایش بهره‌وری انرژی شده، بلکه هزینه‌های نگهداری را نیز کاهش می‌دهد. قطارهای الکتریکی با توان بالاتر، شتاب‌گیری و ترمزگیری بهتری نسبت به دیزلی‌ها داشته و این امر منجر به افزایش ظرفیت و کاهش زمان سفر می‌شود.

سیستم‌های برق‌رسانی بر اساس نوع ولتاژ و کاربرد به جریان مستقیم (DC) و جریان متناوب (AC) تقسیم می‌شوند. سیستم‌های DC به‌دلیل ولتاژ پایین‌تر و ایمنی بیشتر در متروها و خطوط شهری استفاده می‌شوند، در حالی که سیستم‌های AC برای خطوط بین‌شهری و پرسرعت به‌کار می‌روند. سیستم‌های هیبریدی که ترکیبی از باتری‌ها و منابع انرژی جایگزین مانند سلول‌های سوختی هستند، برای مسیرهای نیمه‌برق‌دار مناسب‌اند.

سیستم‌های OLE به‌عنوان رایج‌ترین روش برق‌رسانی، با انتقال انرژی از طریق سیم‌های بالاسری، بهره‌وری انرژی بالایی دارند. از سوی دیگر، سیستم‌های ریل سوم با کاهش نیاز به زیرساخت‌های حجیم و نصب ساده‌تر، برای محیط‌های شهری فشرده مناسب‌اند.

در نهایت، پیشرفت‌های اخیر در فناوری ذخیره‌سازی انرژی، مانند باتری‌های لیتیم-یونی و ابرخازن‌ها، امکان استفاده از سیستم‌های ترکیبی و برق‌رسانی مستقل را فراهم کرده است. این فناوری‌ها با کاهش نیاز به زیرساخت‌های پیچیده و هزینه‌های سنگین، آینده‌ای روشن برای حمل‌ونقل ریلی پایدار فراهم می‌سازند.

۴. پیشنهادات

- استفاده از ریزخازن‌ها در سیستم‌های هیبریدی یا OESS
- توسعه استفاده از انرژی‌های پاک در سیستم‌های هیبریدی و OESS
- استفاده از باتری‌های هسته‌ای در سیستم برای بازدهی بیشتر و حجم کمتر

مراجع

[1] QUELLEC, Nicolas. “Full Electrification Study”. Canada: CREE Development Corporation, LA Grande Alliance & Systra Canada, 2022.

[2] Frey, Sheilah. “Railway Electrification Systems and Engineering”. First Edition. Delhi: White Word Publications, 2012.

[3] W. Siemens, "Über die Verwendung von Drahtseilen zur elektrischen Eisenbahn," Siemens Historical Archives, Berlin, Germany, 1879.

[4] M. J. Haynes, The History of Railway Electrification. New York, NY, USA: Wiley, 1976.

[5] Swiss Federal Railways, Historical Development of Electrification in Switzerland. Zürich, Switzerland: SBB Archives, 1925.

[6] Deutsche Reichsbahn, "The Evolution of Electrified Rail Systems in Germany," Journal of Railway Engineering, vol. 12, no. 3, pp. 205–214, 1930.

[7] D. J. Paterson, "Electrification of Railways: A Worldwide Review," Railway Gazette International, vol. 25, no. 7, pp. 120–129, 1955.

[8] International Union of Railways (UIC), Electrification Standards and Trends, Paris, France: UIC Publications, 1950.

[9] Chat GPT.

[10] Pachl, J.” Railway Operation and Control”. Washington DC, USA: VTD Rail Publishing, 2018.

[11] Smith, R., and Patterson, T., Sustainable Rail Transport: Energy Efficiency and Environmental Impacts. London, UK: Transport Research Publishing, 2018.

[12] Taylor, J., and Fletcher, M., "Performance Optimization in Electrified Rail Systems," in International Journal of Railway Engineering, vol. 25, no. 3, pp. 110-120, 2019.

[13] Johnson, L., Verma, R., and Chen, D., "Cost Analysis of Maintenance for Diesel and Electric Trains," in Railway Maintenance Studies, vol. 33, no. 2, pp. 78-87, 2020.

[14] Green, A., and Porter, B., "Passenger Perceptions of Electric Rail Systems," in Urban Transit Review, vol. 12, no. 4, pp. 50-62, 2021.

[15] Harrison, P., and Walker, J., "Economic Impacts of Railway Electrification Projects," in Journal of Infrastructure Economics, vol. 8, no. 1, pp. 24-35, 2017.

[16] Armstrong, J. H. “The Railroad: What It Is, What It Does”. New York, USA: Simmons-Boardman Publishing Corporation, 1994.

[17] Steimel, A. “Electric Traction: Motive Power and Energy Supply”. Berlin, Germany: Oldenbourg Wissenschaftsverlag, 2012.

[18] Gooch, G. E., & Garbutt, P. “Electric Railways”. London, UK: Institution of Engineering and Technology (IET), 2004.

[19] Szelag, A., & Gieras, J. F. “Modern Electric Traction”. New Jersey, USA: Springer Publishing, 2000.

[20] Schmid, F. “Overhead Contact Systems for Electric Railways”. New Jersey, USA: Springer Publishing, 2011.

[21] Lowenthal, J. “Electric Railway Engineering”. New York, USA: McGraw-Hill, 1999.

[22] Hughes, A. “Electric Motors and Drives: Fundamentals, Types and Applications”. Amsterdam, Netherlands: Elsevier, 2017.

[23] Schmid, F. “Railway Traction Systems and Electrification”. New Jersey, USA: Springer Publishing, 2010.

[24] Pritchard, G. “Electric Railways: History, Development and Applications”. United Kingdom: Ashgate Publishing, 2008.

[25] Esveld, C. “Modern Railway Track”. Netherlands: MRT Press,2001.

[26] Armstrong, J. “High-Speed Rail Electrification: Design and Implementation”. New York, USA: McGraw-Hill Education, 2012.

[27] Railway Safety and Standards Board (RSSB). “Railway Electrification Safety Manual”. UK: RSSB, 2018.

[28] Rees, N. “Railway Electrification Infrastructure and Systems”. UK: Institution of Engineering and Technology (IET), 2016.

[29] https://www.thepwi.org. “Overhead Line Electrification for Railways”. 2020.

[30] Horne, M. “The Electrification of Railways”. Journal of Railway and Canal Historical Society, 2006.

[31] R. L. George. “Railway Electrification” London: The Institution of Railway Signal Engineers, 2001.

[32] Kemp, R., Electric Traction Handbook: A Comprehensive Guide to Rail Electrification. London, UK: Railway Press, 2007.

[33] Preston, J., Railway Electrification: A Systems Approach. New York, NY: Transportation Publishing, 2003.

[34] Wilson, G., Safety in Rail Traction Systems: Best Practices in Design and Maintenance. Chicago, IL: Rail Safety Institute, 2005.

[35] Jones, P., and A. Smith, Power Systems in Urban Rail Transit. Cambridge, MA: Metro Transit Publications, 2010.

[36] Hill, D., Electrification Strategies in Modern Rail Transport. Oxford, UK: Rail Engineering Books, 2009.

[37] Marshall, L., Urban Transit Design and Infrastructure. San Francisco, CA: Urban Mobility Press, 2012.

[38] Simmons-Boardman, J. “Electric Railways: A Guide to the Third Rail and Catenary Systems”. New York, USA: Simmons-Boardman Publishing, 2015.

[39] Yuen, W. C., & Yip, H. Y. “Railway Electrification and Power Supply Systems: An Engineering Guide”. New Jersey, USA: Wiley, 2005.

[40] Garg, V. K., & Dahiya, M. L. “Electric Traction: Drives and Control” Delhi, India: Khanna Publishers, 2015.

[41] Turner, J. “Modern Railway Systems: Electrification and Control.”. New Jersey, USA: Springer Publishing, 2017.

[42] Chisholm, E. “Modern Railway Engineering”. USA: CRC Press, 2010.

[43] Stanton, A. J., & Heffernan, A. “Electrical Power Systems for Railways: Design and Operation”. Amsterdam, Netherlands: Elsevier, 2007.

[44] Berger, G., & Böhm, E. “Railway Power Supply Systems: Design and Operation”. New Jersey, USA: Springer, 2008.
[45] Baker, R. “Railway Signaling: Principles and Applications”. UK: Institution of Engineering and Technology (IET), 2013.
[46] International Journal of Rail Transportation, 2018; IEEE Transactions on Transportation Electrification, 2020
[47] X. Li and L. Zhou, "Energy-saving technologies for railway transportation: Review and prospects," International Journal of Rail Transportation, vol. 6, no. 3, pp. 160–182, 2018.
[48] Z. Song and H. Hofmann, "Advances in battery technologies for railway electrification," IEEE Transactions on Transportation Electrification, vol. 6, no. 2, pp. 400–416, Jun. 2020.
[49] Y. Morita and S. Kondo, "Regenerative braking systems for urban rail systems," IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 42, no. 5, pp. 540–548, Oct. 1995.
[50] B. Dunn, H. Kamath, and J. M. Tarascon, "Energy storage in the railway sector: Challenges and opportunities," Nature Energy, vol. 6, no. 3, pp. 265–276, Mar. 2021.
[51] A. Smith, K. Taylor, and P. Williams, Energy Systems for Transport Applications. New York, NY, USA: Springer, 2020.
[52] A. Burke, "Batteries and ultracapacitors for electric, hybrid, and fuel cell vehicles," Proceedings of the IEEE, vol. 95, no. 4, pp. 806–820, Apr. 2007.
[53] B. Tang, Q. Zhang, H. Zhao, and J. Wu, "Advances in Batteries for Medium and Large-Scale Energy Storage," Nature Energy, vol. 3, no. 4, pp. 276–285, Apr. 2018.
[54] M. Rahimi and S. Abedi, Energy Management Systems in Electric and Hybrid Vehicles. Springer, 2018.
[55] P. Leitão, J. Barbosa, R. Adam, and H. Herrmann, "Energy Management Strategies for Hybrid Electric Rail Vehicles," IEEE Transactions on Transportation Electrification, vol. 5, no. 1, pp. 1–14, Mar. 2019.
[56] M. H. Rashid, Power Electronics Handbook: Devices, Circuits, and Applications. 3rd ed., Academic Press, 2017.
[57] M. H. Rashid, Power Electronics Handbook: Devices, Circuits, and Applications. 3rd ed. San Diego, CA, USA: Academic Press, 2017.
[58] X. Wang and S. Li, Principles of Electric Machines and Power Electronics. 3rd ed., Wiley, 2015.
[59] A. Hughes and B. Drury, Electric Motors and Drives: Fundamentals, Types, and Applications. 5th ed. Oxford, UK: Elsevier, 2019.
[60] Z. Rao and S. Wang, "A review of power battery thermal energy management," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 15, no. 9, pp. 4554–4571, Dec. 2011.
[61] P. Hsu, Railway Technology Systems and Applications. CRC Press, 2018.
[62] A. Ogunsola and A. Mariscotti, Electromagnetic Compatibility in Railways. Springer, 2012.
[63] J. Larminie and J. Lowry, Electric Vehicle Technology Explained. 2nd ed., Wiley, 2012.
[64] R. S. Wilson, Railway Technology Today: Innovations in Power and Efficiency, Taylor & Francis, 2015.
[65] A. Steimel, Electric Traction - Motive Power and Energy Supply, Oldenbourg Industrial Electronics, 2008.
[66] C. Esveld, Modern Railway Track. MRT-Productions, 2001.
[67] J. Andersson and M. Blinge, Life Cycle Assessment of Railways and Rail Systems. Springer, 2016.
[68] UIC, Railway Sustainability and Flexibility. International Union of Railways, 2018.
[69] D. Sperling, Two Billion Cars: Driving Toward Sustainability. Oxford University Press, 2009.
[70] A. Smith, et al., Rail Electrification Systems: Costs and Benefits. Transport Research Board, 2014.
[71] M. Givoni and D. Banister, Transport Research and Innovation: Technological Trends. Routledge, 2013.
[72] Tey, L. S., Hill, R. J., and Grieve, R. J., "Analysis of DC railway systems," Journal of Transportation Engineering, vol. 136, no. 9, pp. 836-844, 2010.
[73] Armstrong, J. R., Electrical Systems for Railways, London: IET, 2006.
[74] Mieczkowski, Z., "Dual system electrification challenges and solutions," Railway Engineering Journal, vol. 45, no. 3, pp. 67-74, 2013.
[75] Pachl, J., Railway Operation and Control, Hamburg: VTD Rail Publishing, 2004.
[76] H. L. A. S. de Silva, "Electric Traction: A Technological and Economic Overview," IEE Power Engineering Journal, vol. 14, no. 4, pp. 220-230, Aug. 2000.
[77] J. L. Stimpfig, "DC Motors and Their Applications," in Traction Systems in Railways, Springer, 1997, pp. 92-113.
[78] F. S. H. Pal, "Electric Traction for Railways," IEEE Trans. on Power Electronics, vol. 18, no. 6, pp. 1553-1561, Nov. 2003.
[79] S. K. Gupta, "AC Motors in Traction Systems," in Railway Traction Systems, CRC Press, 2012, pp. 57-76.
[80] Z. Q. Zhu, "Permanent Magnet Synchronous Motors for Railway Traction," in Electric Machines and Drives, Elsevier, 2017, pp. 180-195.
[81] H. R. N. S. Bhowmik, "Design and Application of Permanent Magnet Motors in Electric Railways," International Journal of Railway Technology, vol. 4, no. 3, pp. 112-125, Aug. 2018.

KNO-1104-4602

تاثیرچشم انداز انرژی خورشیدی در تولید انرژی برق

علیرضا جوشن

کارشناسی ارشد برق قدرت گرایش الکترونیک قدرت و ماشین های الکتریکی، دانشگاه گیلان، گیلان، ایران

Alireza.joshan.guilan@gmail.com

چکیده

در اکوسیستم انرژی جهانی، پیشرفت انسان در تولید و مصرف انرژی روزافزون، چالش‌های اساسی را برای مدیریت انرژی و حفظ محیط زیست به وجود آورده است. این روند رو به افزایش مصرف انرژی جهانی به دو چالش عمده از نظر زیست محیطی و اقتصادی منجر شده است: آلودگی محیط زیست ناشی از سوزاندن سوخت‌های فسیلی و نیاز رو به افزایش به منابع انرژی. این مواجهه، انگیزه‌ای برای تحقیق‌گران و سرمایه‌گذاران در حوزه انرژی برای بهره‌گیری از منابع تجدیدپذیر و پاک فراهم آورده است. انرژی خورشیدی، به عنوان یک منبع انرژی پایدار و کاملاً قابل تجدیدپذیر، با توانایی جذب توجه ویژه از سوی محققان و صنعتگران برخوردار است.

در این مقاله، با مرور و تجزیه و تحلیل تحقیقات اخیر و مقالات معتبر کشور، اهمیت انرژی خورشیدی و مزایای بیان شده این منبع انرژی در مقایسه با انرژی‌های فسیلی مورد بررسی قرار می‌گیرد. این مقاله بر ضرورت مطالعه دقیق و جامع انرژی خورشیدی تاکید می‌نماید و نیاز به اتخاذ سیاست‌های مبتنی بر داده و اطلاعات کافی در زمینه انرژی‌های نوین و پایدار را برجای می گذارد. در نهایت، راهکارهای نوآورانه برای پیوستگی به شبکه الکتریکی با استفاده از فناوری‌های پیشرفته و بهینه‌سازی سیستم‌های انتقال و توزیع برق خورشیدی، مورد بررسی قرار می‌گیرد.

کلیدواژه ها: انرژی خورشیدی، تولید انرژی برق، منابع انرژی تجدیدپذیر، پایداری، آلودگی محیط زیست

مقدمه

در دهه‌های اخیر، نگرانی‌های مرتبط با تغییرات آب و هوایی و افزایش گرمایش جهانی، مسئله اصلی دولت‌ها و سازمان‌های بین‌المللی جهانی شده است. تأمین انرژی از منابع تجدیدپذیر و پاک، به عنوان یکی از روش‌های اساسی برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و برطرف کردن نیازهای انرژی جوامع، از اهمیت بالایی برخوردار است[۱]. انرژی خورشیدی به‌عنوان یکی از منابع اصلی انرژی تجدیدپذیر که بر اساس تبدیل اشعه‌های خورشید به انرژی الکتریکی عمل می‌کند، به عنوان یک گزینه پراکنده، پاک و قابل تجدیدپذیر، در جهت تأمین انرژی برق جوامع و صنایع جهانی، توجیه‌پذیری دارد[۲].

با وجود پیشرفت‌های چشمگیر در فناوری‌های تولید برق از نور خورشید، مسائلی همچون انتقال بهینه و ادغام این انرژی به شبکه‌های الکتریکی، همچنان به عنوان چالش‌های مهمی در مسیر بهره‌برداری از انرژی خورشیدی باقی مانده‌اند.علیرغم پیشرفت‌های چشمگیر در فناوری تولید برق خورشیدی، شبکه‌های الکتریکی با معضلاتی همچون نیاز به انعطاف‌پذیری بیشتر، مدیریت بار، و اطمینان از پایداری عملکرد روبرو هستند[۳و۴].

در دهه‌های اخیر، با توسعه روزافزون فناوری‌های تولید برق از منابع نوپا، بخصوص برق خورشیدی، اهمیت انتقال این نوع انرژی به شبکه الکتریکی به مراتب بیشتر شده است. انتقال برق خورشیدی به شبکه الکتریکی نیازمند بررسی و تحلیل گسترده‌ای از مواردی همچون فناوری‌های مورد استفاده، مشکلات احتمالی، روش‌های بهینه‌سازی و نوآوری‌های جدید است[۵-۷]. مطالعات پیشین نشان داده است که انتقال برق خورشیدی به شبکه الکتریکی با چالش‌هایی همچون نوسانات تولید برق خورشیدی، نیاز به سیستم‌های ذخیره‌سازی، افزایش هزینه‌های انتقال و ادغام با سیستم‌های قدیمی شبکه الکتریکی روبرو است.علاوه بر چالش‌ها، مطالعات اخیر نیز به نقاط قوت و ضعف موجود در انتقال برق خورشیدی به شبکه الکتریکی پرداخته‌اند و راهکارهایی برای بهبود عملکرد و افزایش قابلیت اطمینان شبکه الکتریکی ارائه داده‌اند. این شامل بهینه‌سازی سیستم‌های انتقال و توزیع برق خورشیدی، استفاده از فناوری‌های ذخیره‌سازی پیشرفته، و ادغام با سیستم‌های هوشمند شبکه الکتریکی است[۸-۱۲].

تحقیقات پیشین نشان می‌دهد که با توجه به پتانسیل بالقوه برق خورشیدی، توسعه و بهبود فناوری‌ها و راهکارهای مرتبط با انتقال برق خورشیدی به شبکه الکتریکی، می‌تواند به افزایش پایداری و کارایی شبکه الکتریکی و بهبود محیط زیست کمک کند.

در حالی که فناوری‌های تولید برق خورشیدی به سرعت پیشرفت می‌کنند، شکاف بین توان تولیدی و قابلیت انتقال و ادغام این انرژی به شبکه الکتریکی رو به گسترش است[۱۳-۲۱]. این شکاف به طور مداوم چالش‌هایی از قبیل ناتوانی در مدیریت تولید ناپایدار و ناتوانی در انطباق با نیازهای متغیر مصرف کنندگان را ایجاد می‌کند.

تحقیقات پیشین در حوزه انتقال برق خورشیدی به شبکه الکتریکی نشان می‌دهد که وجود شکاف‌هایی در این زمینه، از جمله عواملی است که مانع از دستیابی به بهره‌وری و کارایی بالا در این فرآیند می‌شود[۴۴-۵۳]. این شکاف‌ها شامل موارد زیر می‌شود:

۱. عدم همسانی بین تولید برق خورشیدی و نیاز مصرفی: یکی از اصلی‌ترین چالش‌های انتقال برق خورشیدی به شبکه الکتریکی، عدم همسانی بین زمان تولید برق خورشیدی و زمان نیاز مصرفی است. به دلیل این عدم همسانی، نیاز به سیستم‌های ذخیره‌سازی برای مدیریت بهینه تولید و مصرف برق احساس می‌شود.

۲. افزایش هزینه‌های انتقال: با افزایش تعداد نیروگاه‌های خورشیدی و فاصله جغرافیایی بین آن‌ها و مصرف کنندگان، هزینه‌های انتقال برق نیز افزایش می‌یابد. این افزایش هزینه می‌تواند موجب کاهش سودآوری و توجیه اقتصادی پروژه‌های برق خورشیدی شود.

۳. نیاز به بهبود زیرساخت‌های شبکه الکتریکی: شبکه الکتریکی موجود، برای انتقال برق خورشیدی به صورت بهینه نیازمند بهبود و بهینه‌سازی زیرساخت‌های خود، از جمله خطوط انتقال و ترانسفورماتورها است.

۴. مشکلات ادغام با سیستم‌های موجود: انتقال برق خورشیدی به شبکه الکتریکی ممکن است با مشکلات ادغام فنی و عملی با سیستم‌های موجود در شبکه مواجه شود که نیازمند به راهکارهای نوآورانه و تحقیقات بیشتر است[۵۴-۷۳].

با مطالعه و شناخت دقیق این شکاف‌ها، می‌توان راهکارهای مناسبی را برای پیشبرد اهداف انتقال برق خورشیدی به شبکه الکتریکی ارائه کرد و بهبود عملکرد و کارایی این فرآیند را ممکن ساخت[۷۴-۷۶].

مقاله حاضر به معرفی و تجزیه و تحلیل تاثیرگذاری انرژی خورشیدی در سهم‌دهی به تولید برق، می‌پردازد. از طریق بررسی موانع و چالش‌های این فناوری به دستاوردها و مزایای آن، تأکید بر اهمیت استفاده بهینه از انرژی خورشیدی و ارایه راهکارهایی برای توسعه پایدار این فناوری،این مقاله به دنبال تأکید بر اهمیت استفاده از انرژی خورشیدی در تولید انرژی برق، به هدف پیشبرد دانش و فهم عمومی در این حوزه می‌پردازد، و امیدوار است که به ترویج فرهنگ استفاده اثربخش از منابع انرژی تجدیدپذیر و محیط زیست پاک، کمک کند.

این مقاله به دنبال معرفی راهکارهای نوآورانه برای پیوستگی به شبکه الکتریکی است که با بهره‌گیری از تکنولوژی‌های پیشرفته و بهینه‌سازی سیستم‌های انتقال و توزیع برق خورشیدی، می‌تواند به بهبود عملکرد و افزایش قابلیت اطمینان شبکه الکتریکی منجر شود. این نوآوری‌ها از جمله راهکارهای اساسی برای حل شکاف موجود بین توان تولیدی و قابلیت انتقال و ادغام برق خورشیدی به شبکه الکتریکی محسوب می‌شوند و به توسعه پایدار و پیشرفت در حوزه انرژی پاک و پایدار کمک خواهند کرد.

این نوآوری با بهره‌گیری از تکنولوژی‌های پیشرفته و بهینه‌سازی سیستم‌های انتقال و توزیع برق خورشیدی، توانایی بهبود عملکرد و افزایش قابلیت اطمینان شبکه الکتریکی را داراست. این راهکارها از جمله اقدامات اساسی برای حل شکاف موجود بین توان تولیدی و قابلیت انتقال و ادغام برق خورشیدی به شبکه الکتریکی محسوب می‌شوند و به توسعه پایدار و پیشرفت در حوزه انرژی پاک و پایدار کمک می‌کنند.

این نوآوری به عنوان یک راه حل هوشمندانه، می‌تواند به طور دقیق ترکیب بین تولید برق خورشیدی و نیاز مصرفی را مدیریت کرده و از ایجاد هدر رفت انرژی و افزایش هزینه‌های انتقال جلوگیری کند. با بهینه‌سازی فناوری‌های ذخیره‌سازی، استفاده از سیستم‌های هوشمند و بهره‌گیری از الگوریتم‌های هوش مصنوعی، می‌توان به تعادل بین تولید و مصرف برق برای بهبود کارایی و افزایش قابلیت اطمینان شبکه الکتریکی دست یافت. این اقدامات نه تنها به بهبود عملکرد شبکه الکتریکی منجر می‌شوند بلکه در جهت توسعه پایدار و ارتقاء صنعت انرژی پاک و پایدار گام مثبتی برداشته می‌شود.

آیا می‌توان انتظار داشت که انرژی خورشیدی به یکی از اصلی‌ترین منابع تولید انرژی برق در آینده تبدیل شود؟ چه چالش‌ها و فرصت‌هایی برای توسعه انرژی خورشیدی وجود دارد؟ آیا استفاده از انرژی خورشیدی می‌تواند به توسعه پایدار و سبزتر صنایع و جوامع جهانی کمک کند؟

مقاله حاضر در ادامه به تبیین و بررسی این سوالات مهم و ارتباط انرژی خورشیدی با تولید انرژی برق پرداخته و به طرح راهکارهایی برای بهبود استفاده از این فناوری مهم می‌پردازد.

بررسی فرایند تبدیل انرژی خورشید به برق

انرژی خورشیدی به عنوان یک منبع انرژی تجدیدپذیر و منحصر به فرد، نقش بسیار مهمی در تامین نیازهای انرژی جهان دارد. فرآیند تبدیل انرژی خورشید به الکتریسیته از طریق دو روش اساسی انجام می شود: روش مستقیم و روش غیرمستقیم.

در روش مستقیم، انرژی خورشید مستقیما توسط سلول های خورشیدی به الکتریسیته تبدیل می شود. این سلول های خورشیدی، یا سلول های فتوولتائیک، نور خورشید را جذب کرده و فوتون های نور را به الکترون های داخل سلول تبدیل می کنند. این الکترون ها جریان الکتریکی را ایجاد می کنند که سپس توسط سیم ها به سیستم های الکتریکی متصل شده و به برق تبدیل می شوند.

از سوی دیگر، در روش غیرمستقیم، ابتدا انرژی خورشید به انرژی حرارتی تبدیل می شود. این حرارت سپس از طریق یک سیکل ترمودینامیکی به الکتریسیته تبدیل می شود. این فرآیند از یک سیستم حرارتی خورشیدی یا سیستمCSP (منابع حرارتی خورشیدی) استفاده می کند که ابتدا حرارت خورشید را جذب می کند و سپس از آن برای تولید الکتریسیته استفاده می کند.

از این دو روش برای بهره وری بیشتر ازانرژی خورشیدی و کمک به کاهش وابستگی به منابع انرژی غیرقابل تجدیدپذیر استفاده می شود. انتخاب روش مناسب بستگی به شرایط محلی، بودجه، و نیازهای انرژی موردنظر دارد تا به بهترین راه برای تبدیل انرژی خورشید به برق برسیم و از فواید این منبع انرژی مطمئن شویم[۲۲و۲۳].

فناوری فتوولتائیک در تولید انرژی خورشیدی

فناوری فتوولتائیک، به عنوان یکی از روش‌های پیشرفته در تبدیل انرژی خورشیدی به الکتریسیته، از سلول‌های فتوولتائیک یا سلول‌های خورشیدی برای تبدیل پرتوهای خورشیدی به الکتریسیته استفاده می‌کند.در این فناوری، سلول‌های فتوولتائیک به دو شکل صفحه تخت و متمرکز ساخته می شوند. سلول‌های صفحه تخت، که به طور معمول استفاده می‌شوند، نور خورشید را بی واسطه به سلول خورشیدی می‌رسانند و با تبدیل آن به الکتریسیته، انرژی را تولید می‌کنند.

از سوی دیگر، سلول‌های متمرکز کننده ابتدا نور خورشید را به کمک یک بازتابنده متمرکز می‌کنند و سپس آن را به سلول خورشیدی هدایت می کنند. با اتصال سلول‌های خورشیدی به هم، یک مدول خورشیدی شکل می‌گیرد. این مدول‌ها برای تولید ولتاژ و جریان مناسب، به شکل‌های سری و موازی به هم متصل می‌شوند و به آرایه خورشیدی تبدیل می‌شوند.

هرچند انواع مختلفی از سیستم‌های فتوولتائیک وجود دارد، اما تمام آن‌ها شامل سه جزء اصلی هستند. این اجزاء شامل ماژول برای تبدیل انرژی خورشید به الکتریسیته، مبدل برای تبدیل الکتریسیته به جریان متناوب و احتمالاً باتری برای ذخیره‌سازی انرژی اضافی می‌شوند. اجزاء جانبی این سیستم‌ها شامل سیم‌ها، سوئیچ‌ها، سازه‌های پشتیبانی و ... است.

به منظور استفاده بهینه از سیستم‌های فتوولتائیک، شناخت دقیق از ساختار و کاربرد این سیستم‌ها ضروری است.تحقیقات بیشتر در این زمینه می تواند به بهبود کارکرد و کاربردهای این فناوری پرداخته و موجب پیشرفت در حوزه انرژی خورشیدی شود[۲۴-۲۶].

چشم انداز مناسب‌سازی سیستم‌های فتوولتائیک بر اساس نیازکاربری

سیستم های فتوولتائیک (PV) با توجه به نوع کاربرد و نحوه اتصال به شبکه برق، به دو دسته اصلی تقسیم می‌شوند:

۱. سیستم های فتوولتائیک متصل به شبکه:

۲.سیستم های فتوولتائیک مستقل از شبکه:

علاوه بر این دو دسته اصلی، سیستم‌های فتوولتائیک می‌توانند در ترکیب با سایر منابع انرژی مانند توربین های بادی یا ژنراتور های دیزلی به کار گرفته شوند. این نوع ترکیب ها به ایجاد سیستم های هیبریدی کمک می کندکه قادر به تامین انرژی پایدار و مطمئن برای بارهای مختلف هستند. این تنوع در کاربرد ها نشان دهنده نقش کلیدی سیستم های فتوولتائیک در تامین انرژی پاک و پایدار در عصرحاضراست.

پیشرفت فناوری و کاهش هزینه های تولید پنل های خورشیدی، استفاده از سیستم های فتوولتائیک را در زمینه های مختلف افزایش داده و به توسعه پایدار کمک شایانی کرده است[۲۷و۲۸].

سیستم های فتوولتائیک متصل به شبکه

سیستم های فتوولتائیک متصل به شبکه به منظور تقویت شبکه های برق سراسری و کاهش بار بر روی نیروگاه ها در طول روز طراحی شده اند. این سیستم ها می توانند به صورت متمرکز در نیروگاه های بزرگ یا به صورت غیرمتمرکز بر روی بام های منازل و ساختمان های تجاری نصب شوند. با توجه به مزایای متعدد این سیستم ها، امروزه در بسیاری از کشورهای جهان، نیروگاه های فتوولتائیک با ظرفیت های بزرگ، به ویژه مدل های ۵ کیلوواتی، به کارگرفته می شوند.

این نوع سیستم ها دارای مزایایی ازجمله نصب آسان، بازدهی بالا و عدم نیاز به تجهیزات پیچیده جانبی هستند. همچنین، برخلاف سیستم های مستقل از شبکه، این سیستم ها نیازی به باتری برای ذخیره سازی انرژی ندارند. سیستم های فتوولتائیک متصل به شبکه به خوبی با سیستم های ذخیره سازی انرژی سازگار هستند و می توانند انرژی تولیدی را برای تامین نیازهای بارهای حساس مانند یخچال، روشنایی، آسانسور و پمپ های آبرسانی مورد استفاده قرار دهند.

در شرایط عادی که دسترسی به شبکه برق سراسری وجود دارد، این سیستم ها می توانند انرژی تولیدی خود را به شبکه تزریق کنند و در صورت نیاز، از شبکه برق تامین انرژی کنند. در این فرآیند، باتری ها و سایر وسایل ذخیره سازی انرژی نیز به حالت شارژکامل می رسند. بنابراین، سیستم های فتوولتائیک متصل به شبکه نه تنها به افزایش بهره وری انرژی کمک می کنند، بلکه نقش مهمی در پایداری و کارایی شبکه برق ایفا می کنند[۲۹و۳۰].

سیستم های فتوولتائیک مستقل از شبکه

سیستم های فتوولتائیک مستقل از شبکه به کاربران این امکان را می دهند که انرژی الکتریکی موردنیاز خود را بدون وابستگی به شبکه برق سراسری تامین کنند. این سیستم ها با استفاده از پنل های خورشیدی، تجهیزات ذخیره سازی انرژی و سیستم های کنترل، به عنوان یک واحد نیروگاهی با عمر مفید حدود۳۰ سال طراحی و نصب می شوند. یکی از مزایای بارز این سیستم ها، عدم نیاز به سوخت های فسیلی و هزینه های مرتبط با آن ها است که باعث کاهش هزینه های عملیاتی می شود.

این نوع سیستم ها نیازبه تعمیر و نگهداری کمتری دارند و به همین دلیل برای کاربردهایی که در آن ها دسترسی به خدمات برق رسانی محدود است، بسیار مناسب هستند.به عنوان مثال، این سیستم ها می توانند انرژی موردنیاز ایستگاه های مخابراتی، تلویزیون ها، خانه های مسکونی، چادرهای عشایری و مدارس روستایی را تامین کنند.

سیستم های فتوولتائیک مستقل از شبکه نقش مهمی در تامین انرژی درمناطق دورافتاده و بی برق ایفا می کنند و می توانند به رفع نیازهای انرژی الکتریکی در شرایطی که دسترسی به شبکه برق وجود ندارد، کمک شایانی نمایند. این فناوری نه تنها به افزایش استقلال انرژی کمک می کند، بلکه می تواند به توسعه پایدار و بهبود کیفیت زندگی در جوامع کم برخوردار نیز منجر شود[۳۱و۳۲].

مولفه های سامانه‌های فتوولتائیک

با اجرای دقیق مولفه و اجزای سامانه های فتوولتائیک، ایجاد یک ساختار پایدار و کارآمد برای تولید انرژی خورشیدی ممکن است. این اجزا، نقش بسیار حیاتی در عملکرد بهینه این سامانه ها دارند این تجهیزات از تمامی عناصر مهم برای بهره برداری بهینه از انرژی خورشیدی برای تولید برق استفاده می کنند که عبارتند از:[۳۳-۳۵].

آرایه فتوولتائیک

آرایه فتوولتائیک متشکل از اجتماع پنل‌های فتوولتائیک است که طیف وسیعی از انرژی خورشید را به برق تبدیل می‌کند. این پنل‌ها از ماژول‌های فتوولتائیک تشکیل شده‌اند که خود شامل سلول‌های فتوولتائیک هستند. این سلول‌ها عبارتند از سلول‌هایی که توانایی تبدیل انرژی خورشید به برق را دارند.

سیستم‌های ردیابی تابش

سیستم‌های دنبال‌کننده تابش خورشید شامل آرایه‌های فتوولتائیک هستند که می‌توانند به حالت ثابت یا به وسیله ردیاب متحرک که با تغییر فصل ها، زاویه تابش خورشید را دنبال کند، نصب شوند.در برخی موارد، آرایه‌های فتوولتائیک به حالت ثابت فصلی نیز نصب می‌شوند.

مبدل الکترونیک قدرت

نوعی مبدل است که برق مستقیم تولید شده توسط آرایه‌های فتوولتائیک را به جریان متناوب استاندارد تبدیل می‌کند که در خانه‌ها استفاده می شود. این مبدل ویژگی‌هایی از قبیل ولتاژ و فرکانس را با مولفه‌های مورد نیاز مصرف کننده هماهنگ می‌کند تا انرژی خورشیدی به‌طور بهینه به اهداف خانگی استفاده شود.

ذخیره‌ساز انرژی سیستم

ذخیره‌ساز انرژی در سیستم‌های فتوولتائیک عموماً از نوع باتری استفاده می‌شود.

دستگاه های ردیابی حداکثر توان

برای بهره‌وری بیشتر از انرژی تولید شده توسط پنل‌های فتوولتائیک، نقطه‌ای باید به‌طور دقیق انتخاب شود که بیشترین جریان و ولتاژ را تولید کند. این نقطه بهینه توسط دنبال‌کننده حداکثر توان تعیین می‌شود.

تجهیزات جانبی

در اصطلاحات فتوولتائیک، تجهیزات جانبی به سایر اجزای سامانه اطلاق می‌شود که برای متعادل کردن و بهینه کردن عملکرد ماژول‌های فتوولتائیک لازم است. این تجهیزات شامل سیستم نصب و سیم‌کشی است که امکان استفاده بهینه از ماژول‌های فتوولتائیک در سیستم الکتریکی خانه یا مکان دیگر را فراهم می‌کنند.

تجزیه وتحلیل مزایا و معایب سیستم‌های فتوولتائیک

مزایا استفاده از سیستم‌های فتوولتائیک

- استفاده از انرژی خورشیدی تجدیدپذیر و بی‌نهایت
- تولید برق تمیز و بدون انتشار آلاینده‌های زیست محیطی
- انتقال مستقیم نور خورشید به برق بدون اتلاف انرژی
- نیاز کمتر به نگهداری و تعمیرات به دلیل عدم وجود قطعه‌های متحرک
- امکان افزایش سریع ظرفیت با اضافه کردن ماژول‌ها و باتری‌های ذخیره‌سازی
- کاهش خطر آتش‌سوزی نسبت به سایر سیستم‌ها
- کاربرد مفید در مناطق دورافتاده برای تأمین انرژی
- قابلیت نصب در کاربردهای خانگی، تجاری و صنعتی بر روی ساختمان‌ها بدون اشغال فضاهای اضافی

معایب استفاده از سیستم‌های فتوولتائیک

در زمینه معایب استفاده از سیستم‌های فتوولتائیک، برخی نکات قابل توجه شامل موارد زیر می‌شود:

- هزینه‌های بالاتر برای تولید برق از سلول‌های فتوولتائیک نسبت به مصارف فراورده‌های فسیلی

- اعتماد سازی عملکرد سلول های خورشیدی به شرایط جوی وهواشناسی

- هزینه‌های بالای مرتبط با نصب اولیه سیستم‌های فتوولتائیک

- نیاز به باتری جهت ذخیره‌سازی انرژی برای استفاده از انرژی خورشیدی در شب

- نیاز به فضای وسیع جهت نصب سلول‌های فتوولتائیک جهت تأمین نیازهای بزرگ انرژی الکتریکی

- کمبود نیروی کار متخصص و ماهر در زمینه طراحی و نصب سیستم‌های فتوولتائیک [۳۶و۳۷].

تحولات در فناوری تولید سلول‌های خورشیدی

از اوایل قرن نوزدهم تا به امروز، فناوری‌های مختلف برای ساخت و تولید سلول‌های خورشیدی پدیدار شده‌اند .تا پیش از دهه ۱۹۸۰، این فناوری ها به دلیل کمبود بازدهی در زمینه‌های آزمایشگاهی و تحقیقاتی محدود بودند و بیشتر در کاربردهای خاص مانند ماهواره‌ها و فضانوردها و کاربردهای کوچک خانگی استفاده می‌شدند .اما با ساخت اولین سلول‌های خورشیدی با بازده ۲۰٪در میانه دهه ۱۹۸۰ و افزایش قیمت سوخت، توجه صنعتی به این فناوری افزایش یافت و زمینه استفاده گسترده تر از انرژی خورشیدی به عنوان منبع نیروگاهی فراهم شد[۳۸].

انواع سلول‌های خورشیدی و ویژگی‌های آن ها

سلول‌های خورشیدی به چند نوع اصلی تقسیم می‌شوند که هرکدام ویژگی‌ها و مزایای خود را دارند.سلول‌های مونوکریستال، پولیکریستال و آمورف به دلیل روش تولید خود از هم متفاوت هستند. مونوکریستال‌ها با ساختار یکنواختی و بهره‌وری بالا شناخته می‌شوند اما هزینه بیشتری دارند. سلول های پولیکریستال، به دلیل ناهمگونی ساختار خود، در موقعیت‌های خاصی از آب و هوا بهره‌وری دارند. از سوی دیگر، سلول‌های آمورف دارای ساختار کمتر یکنواختی هستند و می‌توانند در شرایط آب و هوایی متنوعی الکتریسیته تولید کنند.

در مقایسه بازدهی این سلول‌ها، سلول‌های مونوکریستال حدود ۹۱ درصد، پولیکریستال حدود ۹۲ درصد و سلول‌های آمورف تقریبا ۱۰ درصد بازدهی دارند .با این حال، لازم به ذکر است که سلول‌های پولی و مونوکریستال در صورت مواجهه با موانعی که مانع تابش نور به سطح آنها می‌شوند، ممکن است با کاهش ولتاژ و توان خروجی مواجه شوند. بنابراین، در استفاده از این نوع سلول‌ها، لازم است که همواره سطح سلول‌ها به سمت خورشید است و از گرد و غبار پاک شده باشند[۳۹و۴۰].

روش‌های بهینه‌سازی انتقال برق خورشیدی

روش‌های بهینه‌سازی انتقال برق خورشیدی از جمله مهمترین بخش‌هایی هستند که در توسعه و بهبود سیستم‌های انتقال برق خورشیدی مورد استفاده قرار می‌گیرند. این روش‌ها با هدف افزایش بهره‌وری، کاهش تلفات، و بهبود عملکرد کلی سیستم‌های انتقال برق خورشیدی طراحی و اجرا می‌شوند[۴۱و۴۳]. برخی از این روش‌ها عبارتند از:

۱. بهینه‌سازی طراحی شبکه:

در این روش، طراحی شبکه انتقال برق برای انتقال بهینه برق خورشیدی مورد بررسی و بهبود قرار می‌گیرد. این شامل تعیین بهترین مسیرها، انتخاب بهینه ترانسفورماتورها، و بهینه‌سازی نقاط اتصال به شبکه می‌شود.

۲. استفاده از تکنولوژی‌های هوشمند:

این روش شامل استفاده از تکنولوژی‌های هوشمند مانند شبکه‌های هوشمند و سیستم‌های مدیریت انرژی است که بهبود عملکرد و کارایی سیستم انتقال برق را فراهم می‌کند.

۳. بهینه‌سازی مسیرهای انتقال:

این روش شامل استفاده از روش‌های بهینه‌سازی برای تعیین بهترین مسیرهای انتقال برق خورشیدی است. این مسیرها بر اساس فاصله، ظرفیت، و شرایط دیگری که بر اساس محیط محلی تعیین می‌شوند، بهینه‌سازی می‌شوند.

۴. بهینه‌سازی استفاده از ترانسفورماتورها:

در این روش، استفاده از ترانسفورماتورهای هوشمند و بهینه برای انتقال برق خورشیدی در نقاط مختلف شبکه مورد بررسی و بهینه‌سازی قرار می‌گیرد.

۵. استفاده از روش‌های بهینه‌سازی عددی:

این روش شامل استفاده از روش‌های بهینه‌سازی عددی مانند الگوریتم‌های تکاملی، الگوریتم‌های ژنتیک، و روش‌های بهینه‌سازی مبتنی بر شبکه‌های عصبی برای بهینه‌سازی عملکرد سیستم‌های انتقال برق خورشیدی است.

این روش‌ها با استفاده از تحلیل‌های مهندسی و مدل‌سازی ریاضی، به منظور بهبود کارایی و عملکرد سیستم‌های انتقال برق خورشیدی به کار گرفته می‌شوند[۷۷-۸۰].

توسعه سیستم‌های توزیع برق خورشیدی

توسعه سیستم‌های توزیع برق خورشیدی شامل افزایش کارایی و کاربرد بیشتر این سیستم‌ها در شبکه‌های الکتریکی است[۸۱]. این شامل موارد زیر می‌شود:

۱. بهبود تکنولوژی‌های تولید برق خورشیدی: تحقیق و توسعه در زمینه پنل‌های خورشیدی، تجهیزات تبدیل، و سیستم‌های ردیابی برای افزایش بازدهی تولید برق.

۲. ادغام با شبکه‌های الکتریکی: استفاده از تکنولوژی‌های مختلف برای ادغام سیستم‌های توزیع برق خورشیدی به شبکه‌های الکتریکی، از جمله سیستم‌های تخلیه متقابل و تجهیزات توزیع هوشمند.

۳. استفاده از ذخیره‌سازی انرژی: اعمال فناوری‌های ذخیره‌سازی انرژی مانند باتری‌ها برای مدیریت بهتر تولید ناپایدار برق خورشیدی و افزایش انعطاف‌پذیری در سیستم‌های توزیع.

۴. بهینه‌سازی سیستم‌های مدیریت بار: استفاده از الگوریتم‌ها و سیستم‌های هوشمند برای بهینه‌سازی مدیریت بار در شبکه‌های توزیع برق خورشیدی و افزایش کارایی و قابلیت اطمینان آنها.

۵. توسعه سیستم‌های مانیتورینگ و کنترل: ایجاد سیستم‌های مانیتورینگ و کنترل پیشرفته برای نظارت و مدیریت بهینه عملکرد سیستم‌های توزیع برق خورشیدی[۸۲-۸۴].

مدیریت بار و انعطاف‌پذیری

مدیریت بار و انعطاف پذیری در سیستم‌های انتقال و توزیع برق خورشیدی بسیار مهم است[۸۵و۸۶]. این شامل استفاده از راهکارها و تکنیک‌هایی برای مدیریت بهینه مصرف برق و افزایش انعطاف‌پذیری در برابر تغییرات ناگهانی تولید برق خورشیدی است[۸۷و۸۸]. برخی از راهکارها عبارتند از:

۱. استفاده از سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی: این سیستم‌ها امکان ذخیره انرژی در زمان‌های تولید بیش از نیاز را فراهم می‌کنند و در زمان‌های کمبود تولید، انرژی را آزاد می‌کنند.

۲. استفاده از شبکه‌های هوشمند: این شبکه‌ها از تکنولوژی‌های جدیدی مانند سنسورها و سیستم‌های کنترل پیشرفته استفاده می‌کنند تا به صورت دقیق‌تر مصرف برق را پیش‌بینی کنند و مدیریت کنند.

۳. استفاده از تقویت‌کننده‌های برق مبتنی بر نرم‌افزار: این تکنولوژی‌ها امکان افزایش انعطاف‌پذیری در مدیریت بار و توزیع برق را فراهم می‌کنند.

۴. پیاده‌سازی سیستم‌های مدیریت هوشمند بار: این سیستم‌ها با استفاده از الگوریتم‌های هوشمند، می‌توانند بهینه‌سازی مصرف برق را بر اساس شرایط فعلی و پیش‌بینی شده انجام دهند.

۵. ترویج استفاده از سیستم‌های قابل تنظیم برای مصرف کنندگان: این سیستم‌ها به مصرف‌کنندگان امکان می‌دهند که مصرف برق خود را در زمان‌هایی که انرژی خورشیدی در دسترس است، افزایش دهند و در زمان‌هایی که کمبود تولید وجود دارد، مصرف خود را کاهش دهند[۸۹-۹۲].

پیشرفت‌های فناوری

پیشرفت‌های فناوری در زمینه انتقال و توزیع برق خورشیدی شامل موارد زیر می‌شود:

۱. توسعه فناوری‌های ذخیره‌سازی انرژی: پیشرفت‌های چشمگیری در فناوری‌های ذخیره‌سازی انرژی مانند باتری‌های لیتیوم-یون و باتری‌های جدید که امکان ذخیره و استفاده بهینه از انرژی برق خورشیدی را فراهم می‌کنند.

۲. بهینه‌سازی سیستم‌های هوشمند: پیشرفت‌های مهمی در زمینه سیستم‌های هوشمند و اینترنت اشیاء (IoT) که به شبکه‌های الکتریکی اجازه می‌دهند تا به طور هوشمندتر و بهینه‌تر مدیریت و کنترل شوند.

۳. استفاده از روش‌های نوین برای ادغام برق خورشیدی به شبکه‌های الکتریکی: تحقیقات بر روی روش‌های نوینی مانند میکروگریدها، تجهیزات توزیع هوشمند و سیستم‌های تخلیه متقابل برای ادغام بهینه برق خورشیدی به شبکه‌های الکتریکی.

۴. پیشرفت در تکنولوژی‌های تولید برق خورشیدی: بهبود در عملکرد و بازدهی پنل‌های خورشیدی، افزایش کارایی تبدیل‌کننده‌های تبدیل برق، و استفاده از تکنولوژی‌های نوین مانند سلول‌های خورشیدی ترکیبی.

۵. توسعه سیستم‌های مانیتورینگ و پایش: پیشرفت در سیستم‌های مانیتورینگ و پایش عملکرد سیستم‌های تولید برق خورشیدی که به بهترین شکل ممکن اطلاعات در مورد عملکرد و عمر کاری این سیستم‌ها را فراهم می‌کنند[۹۳-۹۷].

این پیشرفت‌ها باعث افزایش کارایی، انعطاف‌پذیری، و قابلیت اعتماد سیستم‌های انتقال و توزیع برق خورشیدی می‌شود و توسعه بیشتر این فناوری را ترویج می‌دهد[۹۸و۹۹].

تحلیل جامع پروژه نیروگاه خورشیدی Desert Sun: الگوی پیشرفت درانرژی تجدیدپذیرو انرژی پایدار

در دنیای امروز، نیاز به منابع انرژی پایدار و تجدیدپذیر بیش از پیش احساس می شود و نیروگاه های خورشیدی به عنوان یکی از پاسخ های مناسب به این نیاز مطرح می گردند. پروژه نیروگاه خورشیدی Desert Sun یکی از نمونه های پیشرفته و نوآورانه در این حوزه است که با هدف بهره برداری از انرژی خورشیدی در نواحی بیابانی و کم رونق طراحی و راه اندازی شده است.

انتخاب این پروژه از آن رو صورت گرفته است که:

۱.پتانسیل بالای انرژی خورشیدی: نواحی بیابانی اغلب دارای تابش بسیار بالای خورشید هستند و این ویژگی امکان تولید انرژی خورشیدی را به میزان قابل توجهی افزایش می دهد.

۲.توسعه پایدار: استفاده از انرژی خورشیدی به کاهش وابستگی به سوخت های فسیلی کمک کرده و در راستای تحقق اهداف توسعه پایدار قرار می گیرد.

۳.تحدیات و درس های آموزنده: بررسی چالش های موجود در اجرای این پروژه می تواند به درک عمیق تری از موانع و راهکارهای موفق برای پیاده سازی پروژه های مشابه ارائه دهد.

۴. نقش در ایجاد فرصت های شغلی: پروژه های این چنینی می توانند به ایجاد شغل های جدید در مناطق کم برخوردار کمک کرده و موجب توسعه اقتصادی محلی شوند.

با توجه به این دلایل، نیروگاه خورشیدی Desert Sun به عنوان نمونه پروژه ای مهم برای بررسی در این مقاله انتخاب شده است که در ادامه به تحلیل دقیق تر پتانسیل ها، مزایا و چالش های آن خواهیم پرداخت.

تاریخچه

نیروگاه خورشیدی Desert Sun در کشور آمریکا، در ایالت کالیفرنیا واقع شده است. این نیروگاه در شهر بارستوو (Barstow)کالیفرنیا واقع شده و به عنوان یکی از بزرگترین نیروگاه‌های خورشیدی در جهان شناخته می‌شود.

تاریخچه نیروگاه خورشیدی Desert Sun به سال ۲۰۱۶ بازمی‌گردد. این پروژه توسط شرکت BrightSource Energy و با همکاری شرکت های NRG Energy و Google اجرا شد. این نیروگاه دارای توان تولید ۳۷۷ مگاوات برق است که به اندازه کافی برای تامین نیاز برق بیش از ۱۰۰ هزار خانوار است.

نیروگاه Desert Sun از تکنولوژی نوین نورپردازی برجی (Tower Power) استفاده می‌کند. در این تکنولوژی، آینه‌های بزرگ به دور برج‌های بلند گردآوری نور خورشید را به یک نقطه مشترک تمرکز می‌دهند. این نور متمرکز سپس بخار آب را تولید می‌کند که در نهایت توربین‌های بخار به تولید برق می‌پردازند.

نیروگاه Desert Sun علاوه بر تولید برق، به دلیل استفاده از منابع تجدیدپذیر، حفاظت از محیط زیست و کاهش گازهای گلخانه‌ای نیز مورد توجه قرار گرفته است و به عنوان یک پروژه پایدار و پیشرو در زمینه انرژی خورشیدی شناخته می‌شود[۱۰۰-۱۰۲].

جزئیات پروژه

نیروگاه خورشیدی Desert Sun یک پروژه بزرگ و پیشرفته است که در منطقه صحرایی کالیفرنیا واقع شده و از تکنولوژی نورپردازی برجی برای تولید برق استفاده می‌کند. در ادامه به جزئیات این پروژه می‌پردازیم:

۱. موقعیت جغرافیایی: نیروگاه Desert Sun در شهر بارستوو (Barstow) کالیفرنیا واقع شده است. این منطقه دارای آفتاب سرسخت و آب و هوای خشک است که شرایط مناسبی برای استفاده از انرژی خورشید فراهم می‌کند.

۲. توان تولید برق: این نیروگاه دارای توان تولید ۳۷۷ مگاوات برق است که معادل تامین نیاز برق بیش از ۱۰۰ هزار خانوار است.

۳. تکنولوژی استفاده شده: نیروگاه Desert Sun از تکنولوژی نورپردازی برجی (Tower Power) استفاده می‌کند. در این تکنولوژی، آینه‌های بزرگ به دور برج‌های بلند گردآوری نور خورشید را به یک نقطه مشترک تمرکز می‌دهند. این نور متمرکز سپس بخار آب را تولید می‌کند که در نهایت توربین‌های بخار به تولید برق می‌پردازند.

۴. همکاران پروژه: پروژه Desert Sun با همکاری شرکت BrightSource Energy ، NRG Energy و Google اجرا شده است. این همکاری‌ها به منظور بهبود فناوری‌های انرژی خورشیدی و افزایش کارایی و پایداری پروژه صورت گرفته است.

۵. مزایای محیط زیستی:علاوه بر تولید برق، نیروگاه Desert Sun به دلیل استفاده از منابع تجدیدپذیر، حفاظت از محیط زیست و کاهش گازهای گلخانه‌ای نیز مورد توجه قرار گرفته است. این پروژه به عنوان یک پروژه پایدار و پیشرو در زمینه انرژی خورشیدی شناخته می‌شود.

با توجه به این جزئیات، نیروگاه خورشیدی Desert Sun یک پروژه نمونه و الگو در زمینه انرژی خورشیدی است که با همکاری شرکت‌ها و استفاده از تکنولوژی‌های پیشرفته، به تولید برق پاک و پایدار مشغول است[۱۰۰و۱۰۱].

تجهیزات

تجهیزات اصلی مورد استفاده در نیروگاه خورشیدی Desert Sun شامل موارد زیر است:

۱. پنل‌های خورشیدی: بیش از ۱۷۰ هزار پنل خورشیدی در نیروگاه Desert Sun نصب شده است که به جمع‌آوری نور خورشید و تبدیل آن به انرژی الکتریکی مشغول هستند. این پنل‌ها از سلول‌های خورشیدی فوتوولتائیک ساخته شده‌اند که با جذب نور خورشید، انرژی الکتریکی تولید می کنند.

۲. برج‌های نورپردازی: در نیروگاه Desert Sun از برج‌های نورپردازی برای جمع‌آوری و تمرکز نور خورشید بر روی پنل‌های خورشیدی استفاده شده است. این برج‌ها باعث افزایش کارایی و بهره‌وری پنل‌های خورشیدی می‌شوند.

۳. سامانه‌های ردیابی خورشید: در نیروگاه Desert Sun از سامانه‌های ردیابی خورشید برای دنبال کردن حرکت خورشید و جهت تمرکز نور بر روی پنل‌های خورشیدی استفاده شده است. این سامانه‌ها باعث افزایش تولید انرژی خورشیدی می‌شوند.

۴. سامانه‌های ذخیره‌سازی انرژی: نیروگاه Desert Sun از سامانه‌های ذخیره‌سازی انرژی برای ذخیره و استفاده از انرژی الکتریکی تولید شده در زمان‌های کمتر نورپردازی استفاده می‌کند.این سامانه‌ها باعث افزایش پایداری و قابلیت اطمینان نیروگاه می‌شوند.

با استفاده از این تجهیزات پیشرفته، نیروگاه Desert Sun توانسته است به صورت کارآمد و پایدار انرژی خورشیدی تولید کند و به تأمین برق پاک و پایدار برای منطقه کمک کند[۱۰۰-۱۰۲].

تکنولوژی

تکنولوژی استفاده شده در نیروگاه خورشیدی Desert Sun شامل تکنولوژی‌های پیشرفته و مدرن برای تولید انرژی خورشیدی می‌است. در ادامه توضیحاتی درباره تکنولوژی‌های اصلی مورد استفاده در این نیروگاه آورده شده است:

۱. سلول‌های خورشیدی فوتوولتائیک: این سلول‌ها از مواد نیمه‌هادی ساخته شده‌اند که با جذب نور خورشید، الکترون‌ها را حرکت داده و انرژی الکتریکی تولید می‌کنند. سلول‌های خورشیدی فوتوولتائیک به صورت پنل‌های خورشیدی نصب می‌شوند و به جمع‌آوری انرژی خورشید و تبدیل آن به برق مشغول هستند.

۲. برج‌های نورپردازی: این برج‌ها برای جمع‌آوری و تمرکز نور خورشید بر روی پنل‌های خورشیدی استفاده می‌شوند. این برج‌ها باعث افزایش کارایی و بهره‌وری پنل‌های خورشیدی می‌شوند.

۳. سامانه‌های ردیابی خورشید: این سامانه‌ها برای دنبال کردن حرکت خورشید و جهت تمرکز نور بر روی پنل‌های خورشیدی استفاده می‌شوند. با دقت دنبال کردن حرکت خورشید، این سامانه‌ها به بهبود عملکرد و تولید انرژی خورشیدی کمک می‌کنند.
۴. سامانه‌های ذخیره‌سازی انرژی: این سامانه‌ها برای ذخیره و استفاده از انرژی الکتریکی تولید شده در زمان‌های کمتر نورپردازی استفاده می‌شوند. این سامانه‌ها باعث افزایش پایداری و قابلیت اطمینان نیروگاه می‌شوند.

با استفاده از این تکنولوژی‌های پیشرفته، نیروگاه Desert Sun توانسته است به صورت کارآمد و پایدار انرژی خورشیدی تولید کند و به تأمین برق پاک و پایدار برای منطقه کمک کند[۱۰۰و۱۰۱و۱۰۴].

مزایا

استفاده از تکنولوژی‌های پیشرفته در نیروگاه خورشیدی Desert Sun دارای مزایای بسیاری است که به طور کامل می‌توان آن‌ها را شرح داد. برخی از مزایا و فواید استفاده از این تکنولوژی‌ها عبارتند از:

۱. پایداری و قابلیت اطمینان: استفاده از تکنولوژی‌های پیشرفته باعث افزایش پایداری و قابلیت اطمینان نیروگاه خورشیدی می‌شود.این تکنولوژی ها باعث کاهش خطرات و مشکلات عملکردی می‌شوند و تضمین می‌کنند که نیروگاه به صورت پیوسته و بدون وقفه انرژی تولید کند.

۲. کارایی بالا: تکنولوژی‌های پیشرفته بهبود کارایی و بهره‌وری نیروگاه خورشیدی را افزایش می‌دهند. این تکنولوژی‌ها باعث افزایش تولید انرژی و کاهش هدررفت‌ها می‌شوند، که در نهایت منجر به کاهش هزینه‌ها و افزایش سودآوری می‌شود.

۳. حفاظت از محیط زیست:استفاده از انرژی خورشیدی به عنوان یک منبع انرژی پاک و قابل تجدیدپذیر، باعث کاهش استفاده از منابع آلاینده و حفظ محیط زیست می‌شود.این نوع انرژی تمیز و بدون انتشار گازهای گلخانه‌ای تولید می‌کند و به حفظ زمین و هوا کمک می‌کند.

۴.. کاهش وابستگی به منابع انرژی فسیلی: با استفاده از انرژی خورشیدی، نبود وابستگی به منابع انرژی فسیلی مانند نفت و گاز طبیعی ممکن می شود. این موضوع باعث کاهش وابستگی به منابع خارجی، کاهش هزینه ها و تضمین امنیت انرژی برای کشور می شود.

با توجه به مزایای فوق، استفاده از تکنولوژی‌های پیشرفته در نیروگاه خورشیدی Desert Sun نقش مهمی در تأمین انرژی پاک، پایدار و قابل اعتماد برای جامعه و محافظت از محیط زیست دارد[۱۰۳و۱۰۵].

معایب

استفاده از تکنولوژی‌های پیشرفته در نیروگاه خورشیدی Desert Sun ، همچنین ممکن است با برخی معایب و چالش‌ها همراه است. برخی از معایب احتمالی استفاده از این تکنولوژی‌ها عبارتند از:

۱.هزینه‌های بالا: استقرار تکنولوژی‌های پیشرفته در نیروگاه خورشیدی ممکن است هزینه‌های بالایی را به همراه داشته است.این شامل هزینه‌های نصب، تجهیزات پیشرفته و نگهداری و تعمیرات پیچیده می‌شود که ممکن است برای برخی سرباز است.

۲. وابستگی به شرایط آب و هوایی: نیروگاه خورشیدی Desert Sun بر اساس تابش خورشید و شرایط آب و هوایی عمل می‌کند.در صورت نبود تابش خورشید کافی یا وقوع ابر و باران، تولید انرژی خورشیدی کاهش می‌یابد که ممکن است به عدم پایداری در تأمین انرژی منجر شود.

۳. فضای لازم: نصب تکنولوژی‌های پیشرفته نیازمند فضای زمین مناسب است. در صورت نبود فضای کافی برای احداث نیروگاه خورشیدی Desert Sun، ممکن است این مسئله به چالش کشیدن پروژه و افزایش هزینه‌ها منجر شود.

۴. مدیریت پسماندها: استفاده از تکنولوژی‌های پیشرفته در نیروگاه خورشیدی Desert Sun نیازمند مدیریت صحیح پسماندها و مواد شیمیایی است. عدم مدیریت صحیح این پسماندها ممکن است به آلودگی زمین و آب منطقه منجر شود.

با توجه به معایب فوق، لازم است که در راستای حفظ موثر و بهینه‌سازی عملکرد نیروگاه خورشیدی Desert Sun ، به روش‌های مدیریت و حل این چالش‌ها توجه و تلاش شود[۱۰۳و۱۰۵].

بهره برداری

بهره‌برداری یک نیروگاه خورشیدی مانند Desert Sun شامل مراحل زیر است:

۱. نصب و راه‌اندازی: در این مرحله، تجهیزات و تکنولوژی‌های مورد نیاز برای نیروگاه خورشیدی Desert Sun نصب و راه‌اندازی می‌شوند. این شامل تعبیه پنل‌های خورشیدی، سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی، تجهیزات مانیتورینگ و کنترل و سایر تجهیزات مرتبط است.

۲. عملیات بهره‌برداری: پس از نصب و راه‌اندازی، نیروگاه خورشیدی Desert Sun به عملیات بهره‌برداری و تولید انرژی می‌پردازد. در این مرحله، پنل‌های خورشیدی به تابش خورشید حساس شده و انرژی خورشیدی را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کنند.سپس، این انرژی به شبکه برق متصل می‌شود و برای استفاده در شبکه برق عمومی یا ذخیره در سیستم‌های ذخیره‌سازی استفاده می‌شود.

۳. نگهداری و تعمیرات: به منظور حفظ عملکرد بهینه نیروگاه خورشیدی Desert Sun ، فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات منظم انجام می‌شود.این شامل بررسی و تعمیر تجهیزات، پایش عملکرد سیستم، تعویض قطعات آسیب دیده و انجام دوره‌های نگهداری پیشگیرانه است.

۴. مدیریت پسماندها: در حین بهره‌برداری، مدیریت صحیح پسماندها و مواد شیمیایی تولید شده در نیروگاه خورشیدی Desert Sun بسیار حائز اهمیت است. این شامل جمع‌آوری، دفع و بازیافت پسماندها و جلوگیری از آلودگی زمین و آب منطقه است. به طور کلی، بهره‌برداری یک نیروگاه خورشیدی مانند Desert Sun نقش بسزایی در تأمین انرژی پاک و پایدار دارد و نقش مهمی در حفظ محیط زیست و کاهش گازهای گلخانه‌ای دارد[۱۰۰-۱۰۵].

نتیجه گیری

با توجه به اهمیت بی‌سابقه مسائل انرژی و محیط زیست در جوامع امروز، بررسی عمیق انرژی خورشیدی به عنوان منبع انرژی پایدار و تأثیر آن در زمینه‌های توسعه پایدار و حفاظت از محیط زیست مورد بررسی قرار گرفت. از نظر فنی، انرژی خورشیدی به عنوان یک گزینه مؤثر جایگزین برای سوخت‌های فسیلی در تولید برق شناخته شده است. آلودگی کمتر به محیط زیست و قابلیت تجدیدپذیری بالاتر انرژی خورشیدی، اصلی‌ترین دلایلی هستند که این منبع انرژی به عنوان یک راهکار پویا برای محیط زیست و اقتصاد معرفی شده است. از آنجا که تحقیقات و اجرای سیاست‌های مستند در زمینه انرژی خورشیدی ضروری به نظر می‌رسد، امیدواریم با تلاش مشترک، آینده‌ای پرانرژی و پایدار را برای تأمین انرژی و حفظ محیط زیست شاهد باشیم؛ به نحوی که جامعه‌ای سالم و پایدار برای نسل‌های آینده فراهم شود.

ادغام انرژی خورشیدی در شبکه های برق، گامی حیاتی در کاهش اثرات زیست محیطی و پیشبرد اهداف انرژی پایدار است.

پروژه‌های نیروگاه خورشیدی، به‌عنوان یکی از راه‌حل‌های کلیدی برای تأمین انرژی پاک و پایدار، در دهه‌های اخیر به شدت توجه جامعه بین‌المللی را به خود جلب کرده‌اند. با توجه به مزایای محیطی، اقتصادی و اجتماعی این پروژه‌ها، تحقیقات و توسعه در این زمینه به سرعت در حال گسترش است.در این مقاله، به بررسی یک مطالعه نمونه جامع و جزئیاتی از پروژه نیروگاه خورشیدی Desert Sun پرداختیم که در صحرای مرکزی کالیفرنیا اجرا شده است. این مطالعه نمونه نشان می‌دهد که چگونه با استفاده از فناوری‌های نوین و بهره‌گیری از منابع خورشیدی، می‌توان در ایران به تأمین انرژی پاک، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و ایجاد فرصت‌های اقتصادی برای جوامع محلی کمک کرد.

در نهایت، پروژه‌های نیروگاه خورشیدی می‌توانند نقش مهمی در راه حل‌های تأمین انرژی پایدار و مبارزه با تغییرات اقلیمی ایفا کنند. این پروژه‌ها نه‌تنها به تأمین برق پاک و پایدار کمک می‌کنند، بلکه امکانات اقتصادی، اجتماعی، و محیطی فراوانی را نیز به جوامع فراهم می‌کنند. ادغام انرژی خورشیدی در شبکه برق موجود، چالش های زیست محیطی را با ترویج استفاده از انرژی های تجدیدپذیر، کاهش انتشار گازهای گلخانه ای، و افزایش قابلیت اطمینان شبکه برطرف می کند.

پیشنهادها

۱. بررسی اثرگذاری شرایط آب و هوایی بر تولید انرژی خورشیدی

۲.بررسی اثرات استفاده از تکنولوژی های نوین درسامانه های خورشیدی بر بهبود کارایی و کاهش هزینه ها

۳.ارزیابی تاثیر استفاده از دستگاه های ردیابی حداکثر توان بر بهره وری سامانه های فتوولتائیک

۴.پتانسیل هوش مصنوعی در بهبود کارایی و عملکرد سیستم های انرژی خورشیدی برای تولید برق

۵.استفاده از فناوری های ذخیره سازی انرژی برای افزایش بهره وری و پایداری سامانه های خورشیدی

۶.مقایسه تکنولوژی های فتوولتائیک و سلول های خورشیدی نوین براساس بهره وری و کارایی

۷.بازاریابی و اقتصادی سازی سامانه های انرژی خورشیدی در صنعت

۸.چالش ها و فرصت های انتقال تکنولوژی های انرژی خورشیدی به کشورهای درحال توسعه

۹.معرفی پروژه های انرژی خورشیدی در مناطق مختلف ایران و تاثیر آن ها بر جامعه محلی

۱۰.ارائه راهکارهای عملی برای افزایش نصب سیستم های انرژی خورشیدی در مناطق کم برق نشین ایران

۱۱.بررسی استفاده از انرژی خورشیدی در بخش های صنعتی و کشاورزی ایران و مزایای اقتصادی آن

منابع

[1] QUDAIH, Sovana, et al. Technology Assessment of Hydrogen Storage: Cases Enabling the Clean Energy Transition. IEEE Transactions on Engineering Management, 2024, 71: 5744-5756.

[2] CHEN, Wei, et al. Renewable Energy Investments of Electricity Enterprise With Carbon Quota Financing. IEEE Transactions on Engineering Management, 2024.

[3] PHOPHONGVIWAT, Teeraphon; BOONLERT, Thunwa; HONGESOMBUT, Komsan. Enhancing Grid Stability Using a Virtual Inertia-Integrated Railway Power Conditioner in Railway Power Supplies With High Renewable Energy Penetration. IEEE Access, 2024.

[4] MANDAL, Anand, et al. A Steady State Model of Solid-State Transformer for a Sequential AC–DC Power Flow in AC–DC Power Grids. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2024.

[5] HASSAN, Muhammmad Imtiaz Ul, et al. A Simulation based driven method to Optimize the efficiency of long Transmission lines using Photo Voltaic Power Generation Technique. In: 2024 Second International Conference on Smart Technologies for Power and Renewable Energy (SPECon). IEEE, 2024. p. 1-5.

[6] GUO, Zhongjie, et al. Impact of energy storage on renewable energy utilization: A geometric description. IEEE Transactions on Sustainable Energy, 2020, 12.2: 874-885.

[7] SHIREK, Greg J.; LASSITER, Brian A. Photovoltaic power generation: modeling solar plants' load levels and their effects on the distribution system. IEEE Industry Applications Magazine, 2013, 19.4: 63-72.

[8] MADANI, Vahid, et al. Distribution automation strategies challenges and opportunities in a changing landscape. IEEE Transactions on Smart Grid, 2015, 6.4: 2157-2165.

[9] FLORIO, Pietro, et al. Designing and assessing solar energy neighborhoods from visual impact. Sustainable Cities and Society, 2021, 71: 102959.

[10] CECI, Michelangelo, et al. Predictive modeling of PV energy production: How to set up the learning task for a better prediction?. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2016, 13.3: 956-966.

[11] BEDI, Guneet, et al. Review of Internet of Things (IoT) in electric power and energy systems. IEEE Internet of Things Journal, 2018, 5.2: 847-870.

[12] HE, Li; ZHANG, Jie. Energy trading in local electricity markets with behind-the-meter solar and energy storage. IEEE Transactions on Energy Markets, Policy and Regulation, 2023, 1.2: 107-117.

[13] MARZBAND, Mousa, et al. Smart transactive energy framework in grid-connected multiple home microgrids under independent and coalition operations. Renewable energy, 2018, 126: 95-106.

[14] ALQUTHAMI, Thamer, et al. Study of photovoltaic integration impact on system stability using custom model of PV arrays integrated with PSS/E. In: North American Power Symposium 2010. IEEE, 2010. p. 1-8.

[15] JIANG, Lidan, et al. Patent analysis for generating the technology landscape and competition situation of renewable energy. Journal of Cleaner Production, 2022, 378: 134264.

[16] WÖRNER, Anselma, et al. Trading solar energy within the neighborhood: field implementation of a blockchain-based electricity market. Energy Informatics, 2019, 2: 1-12.

[17] LINARES, Leonor, et al. Improved energy capture in series string photovoltaics via smart distributed power electronics. In: 2009 Twenty-Fourth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition. IEEE, 2009. p. 904-910.

[18] XU, Wenxiu; GUO, Liang; LIANG, Likai. Mapping the academic landscape of the renewable energy field in electrical and electronic disciplines. Applied Sciences, 2020, 10.8: 2879.
[19] TANG, Zhongting; YANG, Yongheng; BLAABJERG, Frede. Power electronics: The enabling technology for renewable energy integration. CSEE Journal of Power and Energy Systems, 2021, 8.1: 39-52.
[20] DENHOLM, Paul, et al. The challenges of achieving a 100% renewable electricity system in the United States. Joule, 2021, 5.6: 1331-1352.
[21] XIA, Shiwei, et al. Multitime scale coordinated scheduling for the combined system of wind power, photovoltaic, thermal generator, hydro pumped storage, and batteries. IEEE Transactions on Industry Applications, 2020, 56.3: 2227-2237.
[22] KALOGIROU, Soteris A. Solar energy engineering: processes and systems. Elsevier, 2023.
[23] YAO, Lingxiang; WANG, Yang; XIAO, Xianyong. Concentrated solar power plant modeling for power system studies. IEEE Transactions on Power Systems, 2023.
[24] PARIDA, Bhubaneswari; INIYAN, Selvarasan; GOIC, Ranko. A review of solar photovoltaic technologies. Renewable and sustainable energy reviews, 2011, 15.3: 1625-1636.
[25] SINKE, Wim C. Development of photovoltaic technologies for global impact. Renewable Energy, 2019, 138: 911-914.
[26] NGUYEN-VINH, Khuong, et al. A Review of Photovoltaic Technology. In: 2024 24th International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE). IEEE, 2024. p. 1-6.
[27] ESKANDARI, Aref; MILIMONFARED, Jafar; AGHAEI, Mohammadreza. Fault detection and classification for photovoltaic systems based on hierarchical classification and machine learning technique. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2020, 68.12: 12750-12759.
[28] AHMED, Md Tofael, et al. Classification and Parametric Analysis of Solar Hybrid PVT System: A Review. Energies, 2024, 17.3: 588.
[29] MOREY, Meghraj, et al. A comprehensive review of grid-connected solar photovoltaic system: Architecture, control, and ancillary services. Renewable Energy Focus, 2023, 45: 307-330.
[30] HAMID, Abdul K., et al. A systematic review of grid-connected photovoltaic and photovoltaic/thermal systems: Benefits, challenges and mitigation. Energy & Environment, 2023, 34.7: 2775-2814.
[31] POURFARROKH, Shayan; ADABI, Jafar; ZARE, Firuz. A New Grid-Connected Asymmetrical Multilevel Converter for PV Application. IEEE Transactions on Power Electronics, 2024.
[32] PANIGRAHI, Ramanuja, et al. Grid integration of small-scale photovoltaic systems in secondary distribution network—A review. IEEE Transactions on Industry Applications, 2020, 56.3: 3178-3195.
[33] MAKA, Ali OM; CHAUDHARY, Tariq Nawaz. Performance investigation of solar photovoltaic systems integrated with battery energy storage. Journal of Energy Storage, 2024, 84: 110784.
[34] KUTTYBAY, Nurzhigit, et al. Assessment of solar tracking systems: A comprehensive review. Sustainable Energy Technologies and Assessments, 2024, 68: 103879.
[35] WANG, Ziming. Key technologies in photovoltaic power generation systems. In: Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing, 2024. p. 012010.
[36] AKTAŞ, Ahmet; KIRÇIÇEK, Yağmur. Solar Hybrid Systems. Solar Hybrid Systems, 2021, 47-68.
[37] MAO, Mingxuan, et al. Classification and summarization of solar photovoltaic MPPT techniques: A review based on traditional and intelligent control strategies. Energy Reports, 2020, 6: 1312-1327.

[38] MACHÍN, Abniel; MÁRQUEZ, Francisco. Advancements in photovoltaic cell materials: Silicon, Organic, and Perovskite Solar cells. Materials, 2024, 17.5: 1165.

[39] AL-ZAIDI, Gh A., et al. Improving the electrical and photovoltaic properties of Si solar cells: studying the effect of gamma rays, plasma treatments, and front layer deposition of zinc and strontium titanium oxides. Ceramics International, 2024.

[40] KUCZYNSKI, Waldemar; CHLISZCZ, Katarzyna. Energy and exergy analysis of photovoltaic panels in northern Poland. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2023, 174: 113138.

[41] ZHAO, Yuxi, et al. Carbon efficiency modeling and optimization of solar-powered cellular networks. Science China Information Sciences, 2024, 67.5: 152302.

[42] RAZIF, Amani Syafiqah Mohd, et al. Accelerating energy transition through battery energy storage systems deployment: A review on current status, potential and challenges in Malaysia. Energy Strategy Reviews, 2024, 52: 101346.

[43] BOURAIMA, Mouhamed Bayane, et al. An integrated intelligent decision support framework for the development of photovoltaic solar power. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2024, 127: 107253.

[44] TOLEDO, Olga Moraes; OLIVEIRA FILHO, Delly; DINIZ, Antônia Sônia Alves Cardoso. Distributed photovoltaic generation and energy storage systems: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2010, 14.1: 506-511.

[45] GARROD, Aydan, et al. An assessment of floating photovoltaic systems and energy storage methods: A comprehensive review. Results in Engineering, 2024, 101940.

[46] KANDPAL, Vinay, et al. Challenges and Opportunities for Sustainable Energy Transition and Circular Economy. Sustainable Energy Transition: Circular Economy and Sustainable Financing for Environmental, Social and Governance (ESG) Practices, 2024, 307-324.

[47] MARKOVIC, Dragan S., et al. Smart power grid and cloud computing. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2013, 24: 566-577.

[48] DIANTARI, Retno Aita; PUJOTOMO, Isworo. Calculation of electrical energy with solar power plant design. In: 2016 International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA). IEEE, 2016. p. 443-446.

[49] DADA, Modupeola; POPOOLA, Patricia. Recent advances in solar photovoltaic materials and systems for energy storage applications: a review. Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences, 2023, 12.1: 1-15.

[50] GU, Xubo, et al. Challenges and opportunities for second-life batteries: Key technologies and economy. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2024, 192: 114191.

[51] KARTHI, V., et al. Blockchain empowered solar energy trading: a decentralized grid integration revolution. Electric Power Components and Systems, 2024, 1-19.

[52] SHIGDAR, Basmah, et al. Load Flow Analysis and Optimization for Solar PV Integration in Power Systems. In: 2024 21st Learning and Technology Conference (L&T). IEEE, 2024. p. 98-103.

[53] KATARAY, Tarun, et al. Integration of smart grid with renewable energy sources: Opportunities and challenges–A comprehensive review. Sustainable Energy Technologies and Assessments, 2023, 58: 103363.

[54] BHATTARAI, Tek Narayan, et al. Applications of smart grid technology in Nepal: status, challenges, and opportunities. Environmental Science and Pollution Research, 2023, 30.10: 25452-25476.

[55] RAZMJOO, Armin, et al. Design and analysis of grid-connected solar photovoltaic systems for sustainable development of remote areas. Energies, 2023, 16.7: 3181.

[56] AGIR, Seven; DERIN-GURE, Pinar; SENTURK, Bilge. Farmers' perspectives on challenges and opportunities of agrivoltaics in Turkiye: An institutional perspective. Renewable Energy, 2023, 212: 35-49.

[57] LI, Benjia, et al. Review on photovoltaic with battery energy storage system for power supply to buildings: Challenges and opportunities. Journal of Energy Storage, 2023, 61: 106763.

[58] SHAFIULLAH, Md; AHMED, Shakir D.; AL-SULAIMAN, Fahad A. Grid integration challenges and solution strategies for solar PV systems: a review. IEEE Access, 2022, 10: 52233-52257.

[59] ULLAH, Shahid, et al. The current state of Distributed Renewable Generation, challenges of interconnection and opportunities for energy conversion based DC microgrids. Journal of Cleaner Production, 2020, 273: 122777.

[60] AHMED, Shakir D., et al. Grid integration challenges of wind energy: A review. Ieee Access, 2020, 8: 10857-10878.

[61] BISAGA, Iwona, et al. Mapping synergies and trade-offs between energy and the sustainable development goals: A case study of off-grid solar energy in Rwanda. Energy Policy, 2021, 149: 112028.

[62] MACHLEV, Ram, et al. Explainable Artificial Intelligence (XAI) techniques for energy and power systems: Review, challenges and opportunities. Energy and AI, 2022, 9: 100169.

[63] AHMAD, Tanveer, et al. Artificial intelligence in sustainable energy industry: Status Quo, challenges and opportunities. Journal of Cleaner Production, 2021, 289: 125834.

[64] SINGH, Shakti; CHAUHAN, Prachi; SINGH, Nirbhow Jap. Feasibility of grid-connected solar-wind hybrid system with electric vehicle charging station. Journal of Modern Power Systems and Clean Energy, 2020, 9.2: 295-306.

[65] ZHONG, Qing; TONG, Daoqin. Spatial layout optimization for solar photovoltaic (PV) panel installation. Renewable energy, 2020, 150: 1-11.

[66] ABOAGYE, Bernard, et al. Investigation into the impacts of design, installation, operation and maintenance issues on performance and degradation of installed solar photovoltaic (PV) systems. Energy for Sustainable Development, 2022, 66: 165-176.

[67] AGHAEI, Mohammadreza, et al. Solar PV systems design and monitoring. In: Photovoltaic solar energy conversion. Academic Press, 2020. p. 117-145.

[68] AHMAD, Lujean, et al. Recent advances and applications of solar photovoltaics and thermal technologies. Energy, 2020, 207: 118254.

[69] FARANGI, Mostafa, et al. The environmental and economic analysis of grid-connected photovoltaic power systems with silicon solar panels, in accord with the new energy policy in Iran. Energy, 2020, 202: 117771.

[70] GHOLAMI, Aslan, et al. Photovoltaic potential assessment and dust impacts on photovoltaic systems in Iran. IEEE Journal of Photovoltaics, 2020, 10.3: 824-837.

[71] JAHANGIRI, Mehdi, et al. Sensitivity analysis of using solar cells in regional electricity power supply of off-grid power systems in Iran. Journal of Engineering, Design and Technology, 2020, 18.6: 1849-1866.

[72] BARZEHKAR, Mojtaba, et al. Decision support tools for wind and solar farm site selection in Isfahan Province, Iran. Clean Technologies and Environmental Policy, 2021, 23: 1179-1195.

[73] AREFIFAR, Seyed Ali; PAZ, Francisco; ORDONEZ, Martin. Improving solar power PV plants using multivariate design optimization. IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, 2017, 5.2: 638-650.

[74] D'ANTONIO, Michael, et al. Design and optimization of a solar power conversion system for space applications. IEEE Transactions on Industry Applications, 2019, 55.3: 2310-2319.

[75] FARGES, Olivier; BÉZIAN, Jean-Jacques; EL HAFI, Mouna. Global optimization of solar power tower systems using a Monte Carlo algorithm: Application to a redesign of the PS10 solar thermal power plant. Renewable Energy, 2018, 119: 345-353.

[76] BOURAIMA, Mouhamed Bayane, et al. An integrated intelligent decision support framework for the development of photovoltaic solar power. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2024, 127: 107253.

[77] ZHAO, Yuxi, et al. Carbon efficiency modeling and optimization of solar-powered cellular networks. Science China Information Sciences, 2024, 67.5: 152302.

[78] GOKKUS, Goksel. ANFIS-based improved GWO: Rapid prototyping of low-power solar energy system under fast-changing solar radiation conditions. Journal of Radiation Research and Applied Sciences, 2024, 17.2: 100920.

[79] HU, Sile, et al. Optimal Configuration of Wind–Solar–Thermal-Storage Power Energy Based on Dynamic Inertia Weight Chaotic Particle Swarm. Energies, 2024, 17.5: 989.

[80] AMJAD, Fahd; AGYEKUM, Ephraim Bonah; WASSAN, Niaz. Identification of appropriate sites for solar-based green hydrogen production using a combination of density-based clustering, Best-Worst Method, and Spatial GIS. International Journal of Hydrogen Energy, 2024, 68: 1281-1296.

[81] WANG, Baichao, et al. A review of the photothermal-photovoltaic energy supply system for building in solar energy enrichment zones. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2024, 191: 114100.

[82] GALLEGOS, Jimmy, et al. Sustainable electrification—advances and challenges in electrical-distribution networks: a review. Sustainability, 2024, 16.2: 698.

[83] IGLIŃSKI, Bartłomiej, et al. The assessment of solar photovoltaic in Poland: the photovoltaics potential, perspectives and development. Clean Technologies and Environmental Policy, 2023, 25.1: 281-298.

[84] PATEL, Mukund R.; BEIK, Omid. Wind and solar power systems: design, analysis, and operation. CRC press, 2021.

[85] AL-JANABI, Samaher; AL-JANABI, Zainab. Development of deep learning method for predicting DC power based on renewable solar energy and multi-parameters function. Neural Computing and Applications, 2023, 35.21: 15273-15294.

[86] SIJAKOVIC, Nenad, et al. Active System Management Approach for Flexibility Services to the Greek Transmission and Distribution System. Energies, 2022, 15.17: 6134.

[87] FRÜH, Heiner, et al. Coordinated vertical provision of flexibility from distribution systems. IEEE Transactions on Power Systems, 2022, 38.2: 1834-1844.

[88] KHAN, Zafar A.; JAYAWEERA, Dilan. Smart meter data based load forecasting and demand side management in distribution networks with embedded PV systems. IEEE Access, 2019, 8: 2631-2644.

[89] LO, Chun-Hao; ANSARI, Nirwan. Alleviating solar energy congestion in the distribution grid via smart metering communications. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2012, 23.9: 1607-1620.
[90] JAYACHANDRAN, M., et al. Operational concerns and solutions in smart electricity distribution systems. Utilities Policy, 2022, 74: 101329.
[91] WANG, Dongxiao, et al. Smart coordination of virtual energy storage systems for distribution network management. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 2021, 129: 106816.
[92] UZUM, B., et al. Comprehensive review of transmission system operators–Distribution system operators collaboration for flexible grid operations. Electric Power Systems Research, 2024, 227: 109976.
[93] FALOPE, Tolulope, et al. Hybrid energy system integration and management for solar energy: A review. Energy Conversion and Management: X, 2024, 100527.
[94] ABDALLA, Ahmed N., et al. Integration of energy storage system and renewable energy sources based on artificial intelligence: An overview. Journal of Energy Storage, 2021, 40: 102811.
[95] REHMANI, Mubashir Husain, et al. Integrating renewable energy resources into the smart grid: Recent developments in information and communication technologies. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2018, 14.7: 2814-2825.
[96] BUTT, Osama Majeed; ZULQARNAIN, Muhammad; BUTT, Tallal Majeed. Recent advancement in smart grid technology: Future prospects in the electrical power network. Ain Shams Engineering Journal, 2021, 12.1: 687-695.
[97] AHMAD, Tanveer; ZHANG, Dongdong. Using the internet of things in smart energy systems and networks. Sustainable Cities and Society, 2021, 68: 102783.
[98] LAMNATOU, Chr; CHEMISANA, D.; CRISTOFARI, C. Smart grids and smart technologies in relation to photovoltaics, storage systems, buildings and the environment. Renewable Energy, 2022, 185: 1376-1391.
[99] BAZMI, Aqeel Ahmed; ZAHEDI, Gholamreza. Sustainable energy systems: Role of optimization modeling techniques in power generation and supply—A review. Renewable and sustainable energy reviews, 2011, 15.8: 3480-3500.
[100] Bloomberg: https://www.bloomberg.com/
[101] Reuters: https://www.reuters.com/
[102] CNBC: https://www.cnbc.com/
[103] The Guardian: https://www.theguardian.com/
[104] Forbes: https://www.forbes.com/
[105] National Geographic: https://www.nationalgeographic.com/

KNO-1104-4603

عوامل ایجاد کننده پاشندگی در فیبر نوری و نحوه جبران سازی

سیده مهسا سرائی[۱] msaraee72@yahoo.com
دانشجوی دکتری مهندسی برق مخابرات میدان دانشگاه شهیدبهشتی

چکیده: شبکه‌های ارتباطی بر پایه فیبرهای نوری امروزه به یک فناوری کلیدی تبدیل شده و در آینده می‌تواند نقش مهمی در ارتباطات بی‌سیم ایفا کند. شبکه‌های فیبر نوری به دو صورت آنالوگ و دیجیتال پیاده سازی می شوند که حالت آنالوگ تحت تاثیر نویز و موارد خطی قرار گرفته و حالت دیجیتال تحت تاثیر پاشندگی و ویژگی غیرخطی ناشی از نرخ انتقال بالا قرار می‌گیرد. برای پاشندگی و غیرخطی به جبران سازی نیاز است که در این مقاله به مواردی چون DCF، FBG، OPC و...اشاره می‌شود. به طور مثال DCF دارای ویژگی‌های پاشندگی متضاد با پاشندگی لینک اصلی داشته و به این شکل اثرات پاشندگی را جبران می‌کند. یا در FBG به واسطه ساختار پریودیکی که دارد با بازتاب طول موج خاصی در زمان رسیدن به خروجی تاخیر ایجاد می‌کند.

کلید واژه‌ها: پاشندگی، جبران سازی، فیبر نوری، مخابرات

۱. مقدمه

با ظهور فیبرهای نوری، مخابرات با تحول بزرگی رو به رو شد. هنگامی که سیگنال از فیبر عبور می کند، با پاشندگی[۱] مواجه می شود که می‌تواند منجر به کاهش کیفیت آن شود. جبران سازی پاشندگی فرایندی چالش برانگیز بوده و می تواند به تضعیف پاشندگی و بهبود کیفیت سیگنال کمک کند.

در این مقاله ابتدا به معرفی مسئله پاشندگی و عوامل ایجاد کننده آن پرداخته و سپس روش های مقابله با آن را معرفی می‌کنیم. جبران سازی پاشندگی جهت ضمانت قابلیت اطمینان یک سیستم ارتباط نوری بسیار حائز اهمیت است. با افزایش نرخ اطلاعات و مسافت تبادل آن، اثرات پاشندگی قابل توجه شده و قاعدتا راه‌های جلوگیری و جبران آن نیز سخت تر شده‌اند. بدون جبران سازی، کیفیت سیگنال کاهش یافته، که باعث افزایش BER و کوتاه‌تر شدن مسافت انتقال داده می‌شود. در واقع جبران سازی با کاهش اثرات اعوجاج، سیگنال را حفظ می‌کند.

[1] Dispersion

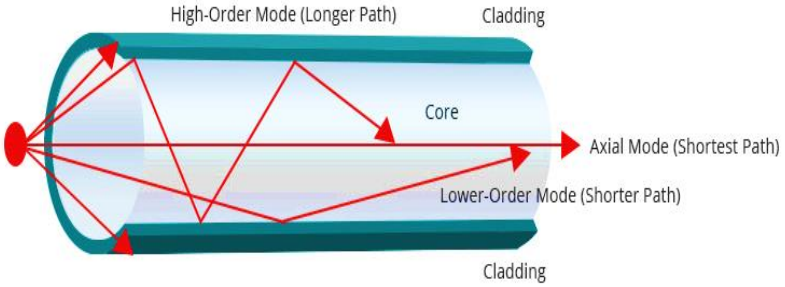
۲- پاشندگی

پاشندگی به معنای پخش‌شدگی پالس در طی عبور آن از فیبر نوری است. در حین انتشار پالس نور در فیبر، مولفه‌هایی چون روزنه عددی[۲] قطر هسته، پروفایل ضریب شکست، طول موج و پهنای خطر لیزر باعث پهن‌شدگی پالس می‌شوند. پاشندگی در طول فیبر افزایش می‌یابد و اثرات کلی آن بر عملکرد سیستم نوری با عنوان ISI[۳] شناخته می‌شود.

پاشندگی به طور کل به سه دسته تقسیم می‌شود: پاشندگی مدال[۴] پاشندگی کروماتیک[۵] و پاشندگی قطبش مد[۶].

۲-۱- پاشندگی مدال

سیگنال در فیبرهای چند مده و موجبرها در طی زمان ناشی از پدیده‌ای به نام پاشندگی مدال دچار پخش‌شدگی می‌شود. این به علت سرعت متفاوت مدهای مختلف منتشر شده است. نور تحت زوایای مختلفی وارد فیبر نوری شده و به طبع مسیرهای متفاوتی را طی می‌کند. برخی از پرتوهای نور از مرکز فیبر عبور می‌کنند که به مدهای axial معروفند، در حالی که برخی دیگر با برخورد به مرز هسته[۷] و غلاف[۸] فیبر یک مسیر زیگزاگی را در فیبر طی می‌کنند (شکل ۱). نمونه اول باعث پاشندگی نمی‌شود ولی نمونه دوم به واسطه اینکه هر پرتو با زاویه متفاوتی به مرز برخورد کرده و قاعدتا سرعت متفاوتی نیز دارد، باعث پاشندگی می‌شود. مدهای مرتبه پایین مدهایی هستند که تحت زاویه کمتری به مرز برخورد کرده و مدهای مرتبه بالاتر مدهایی هستند که دارای زوایای تیزی هستند؛ مدهای مرتبه بالا پاشندگی بیشتری ایجاد می‌کنند.



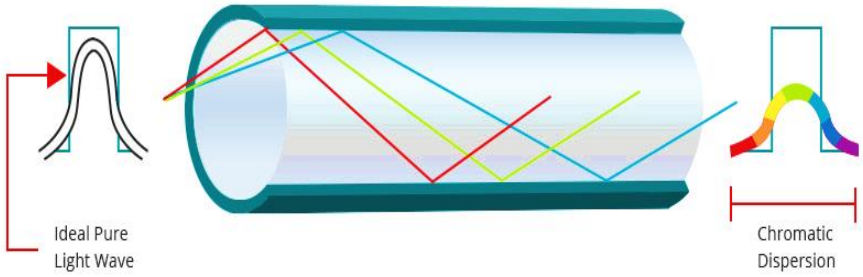
شکل ۱: انواع مسیر طی شده پرتو نور در فیبر

۲-۲- پاشندگی کروماتیک (CD)

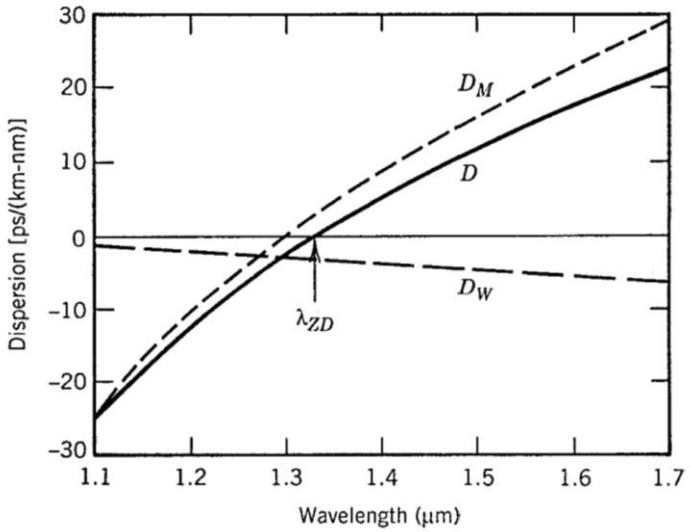
این نوع پاشندگی ناشی از سرعت متفاوت پرتوهای نور است که به دو دسته پاشندگی ماده[۹] و موجبری[۱۰] تقسیم می‌شود.

پاشندگی ماده به واسطه وابستگی طول موج به ضریب شکست ماده هسته است. وابستگی ثابت انتشار مد به طول موج سیگنال، شعاع هسته، تفاوت ضریب شکست هسته و غلاف منجر به پاشندگی موجبر می‌شود. با این حال در طول موج‌های خاصی (طول موج نوری)، این دو پاشندگی اثر یکدیگر را خنثی می‌کنند (شکل ۳).

[2] Numerical Aperture
[3] Inter Symbol Interference
[4] Modal Dispersion
[5] Chromatic Dispersion
[6] Polarization Mode Dispersion
[7] Core
[8] Cladding
[9] Material Dispersion
[1] Waveguide Dispersion [0]



شکل ۲: پاشندگی کروماتیک (CD)

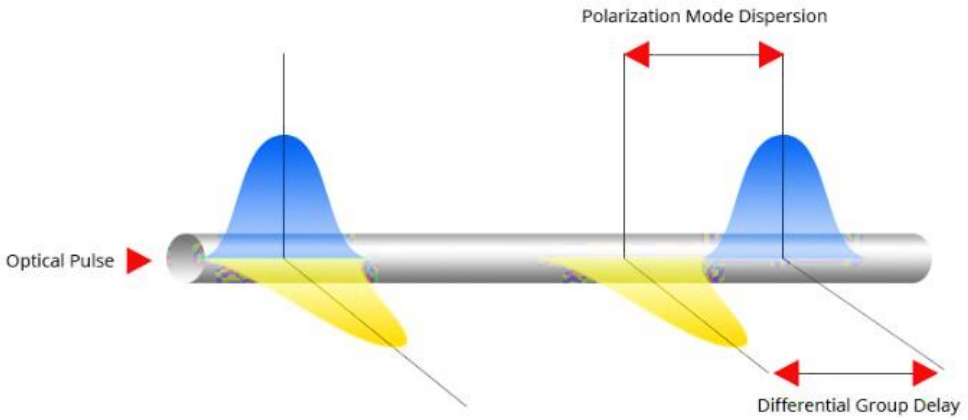


شکل ۳: پاشندگی کل (D)، پاشندگی ماده (D_M) و پاشندگی موجبر (D_W) تابعی از طول موج که در طول موج نوری ۱/۳ نانومتر اثر D_M و D_W خنثی شده است.

۳-۲- پاشندگی قطبش مد (PMD)

وابستگی قطبش ویژگی‌های موج نور منتشر شده در فیبر نوری با عنوان پاشندگی قطبش مد (PMD) ظاهر می‌شود. ویژگی‌های انتشاری امواج نوری با حالات قطبش مختلف در فیبر نوری به مقدار اندکی تغییر می‌کند. اگر به نور به دید موجی از انرژی نگاه شود، دارای دو محور عمود بر هم با نام نیروی Electromotive و نیروی Magnetomotive خواهد بود. PMD زمانی اتفاق می‌افتد که انرژی در این دو محور با نرخ متفاوتی حرکت کند (شکل ۴).

با این حال PMD در شبکه‌هایی با سرعت کمتر از ۲/۵ Gbps حتی در مسافتی بیش از ۱۰۰۰ کیلومتر قابل صرف نظر کردن خواهد بود. زمانی این اثر قابل توجه است که سرعت بیش از ۱۰Gbps شود.



شکل ۴: پاشندگی قطبش مد (PMD)

۳- جبران سازی پاشندگی

به منظور حذف پهن‌شدگی پالس نوری، جبران سازی پاشندگی بهترین راهکار ممکن برای این امر است؛ از جمله روش‌های جبران سازی به شرح زیر هستند:

1- Dispersion Compensation Fibers (DCF)

2- Fiber Bragg Grating (FBG)

3- Optical Phase Conjugation Techniques (OPC)

4- Electrical PMD

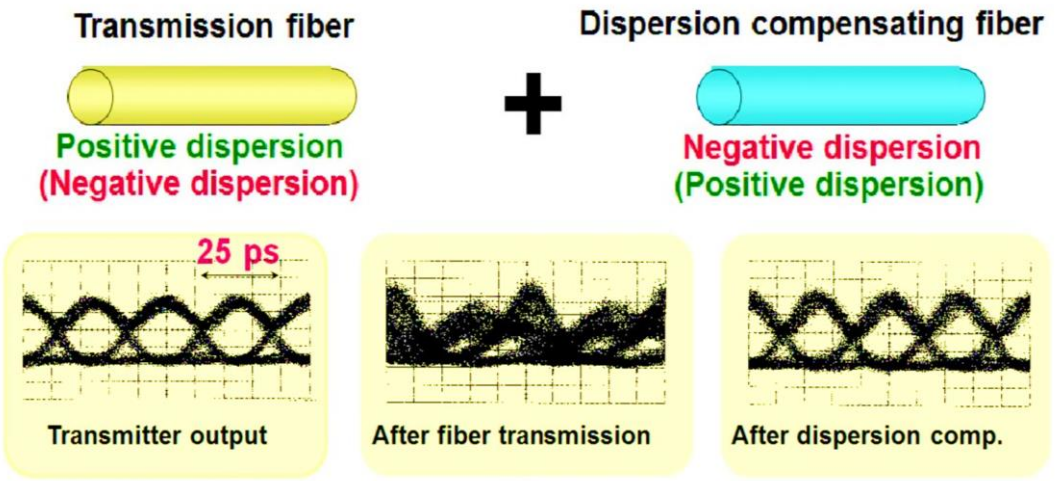
5- Optical PMD

6- DDGD[1] and PMF[2] Technique

۳-۱- فیبرهای جبران ساز پاشندگی (DCF)

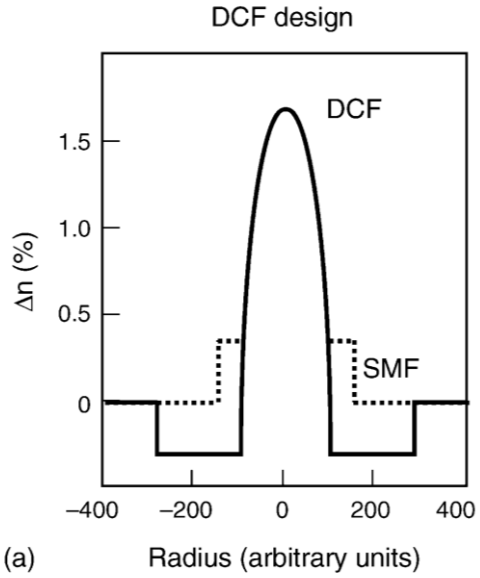
یکی از ساده ترین روش‌های جبران پاشندگی است. مفهوم اساسی پشت این روش این است که یک لینک فیبر نوری با ویژگی‌های بخصوص و پاشندگی متضاد ساخته شده و این لینک به فیبر انتقال نوری متصل می‌شود. با توجه به شکل ۵ این لینک می تواند اثر پاشندگی خط انتقال را خنثی و به عبارت دیگر جبران کند به این صورت که پاشندگی منفی، اثر پاشندگی مثبت را از بین برده و برعکس.

[1] Deterministic Distributed Gradient Descent [1]
[1] Polarization Maintaining Fiber [2]



شکل ۵: فیبر جبران ساز پاشندگی

از مزایای این روش این است که می توان آن را به راحتی ساخت. DCF جبران سازی پیوسته‌ای در طی فیبر به همراه دارد. با این حال مساحت مقطع هسته DCF بسیار کوچکتر از[۱۳] SMF استاندارد بوده که این باعث اعوجاج زیاد در سیگنال نوری بر اثر اثرات غیرخطی می‌شود. البته این اثرات غیرخطی را می‌توان با کاهش توان ورودی تقریبا از بین برد.



شکل ۶: نسبت سطح مقطع هسته DCF نسبت به SMF استاندارد

این نوع جبران سازی به سه روش اعمال می‌شود:

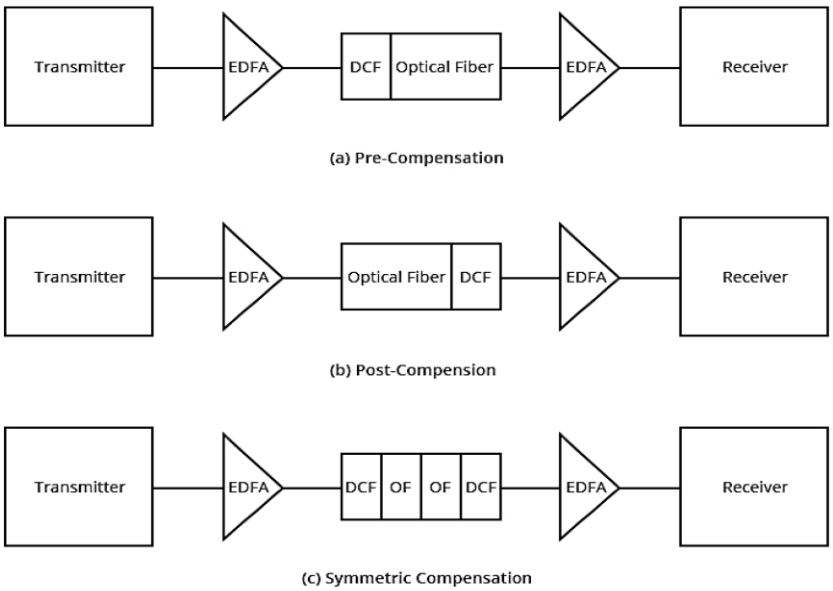
[1] Single Mode Fiber

[3]

الف) روش پیش-جبران سازی: در این روش DCF پیش از SMF قرار می‌گیرد. در این صورت ویژگی‌های پالس ورودی در فرستنده، قبل از این که به لینک فیبر ارسال شود، تغییر کرده و به این شکل اثرات پاشندگی جبران می‌شود.

ب) روش پسا-جبران سازی: در این روش DCF بعد از SMF قرار می‌گیرد. به منظور جبران کردن اثرات پاشندگی، این روش ویژگی‌های پالس نوری را در گیرنده تغییر می‌دهد.

ج) روش جبران سازی ترکیبی یا متقارن: این روش ترکیبی دو روش بالا است که جهت جبران سازی سیستم از هر دو روش استفاده می شود. این روش به طور موثری اثرات غیرخطی را کاهش داده و نسبت به دو روش دیگر BER کمتری دارد.



شکل ۷: روش های اعمال DCF

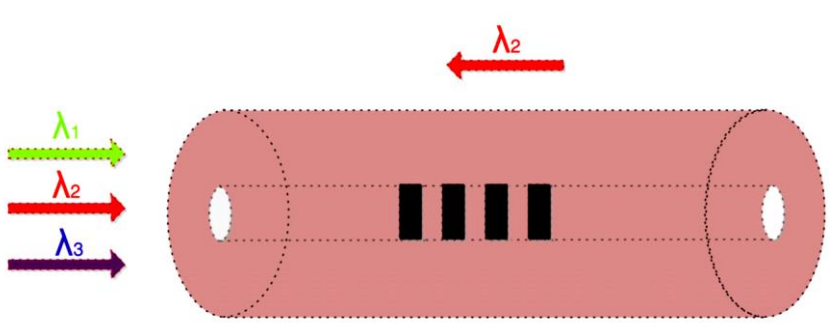
۲-۳- توری پراش فیبر Bragg (FBG)

یک قطعه بازتابی متشکل از فیبر نوری است که شامل مدولاسیونی از ضریب شکست هسته در یک طول مشخص است. توری پراش پرتو نوری از فیبر ار بازتاب می‌دهد که طول موج آن متناسب با دوره تناوب توری پراش باشد (شکل ۸). طول موج بازتاب شده طول موج Bragg نامیده شده که به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\lambda_B = 2n\Lambda$$

که در آن n ضریب شکست میانگین مد، Λ دوره تناوب توری پراش است.

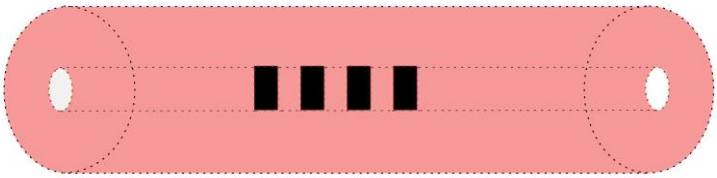
دوره تناوب توری پراش درواقع فاصله بین دو بزرگترین ضریب شکست مجاور است.



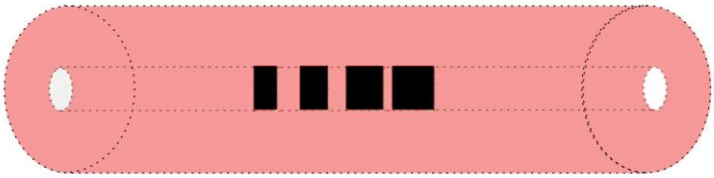
شکل ۸: توری پراش فیبر Bragg

استفاده از توری پراش Bragg برای جبران سازی پاشندگی یک روش قابل اعتماد بوده زیرا المان های پسیو نوری بوده، Insertion Loss کم داشته و مقرون به صرفه هستند.

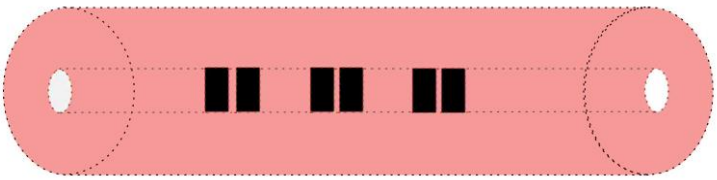
ساختار FBG می تواند با توجه به مقدار ضریب شکست یا دوره تناوب توری پراش متفاوت باشد. FBG به سه دسته تقسیم می‌شود: Uniform، Chirped و Superstructure. در حالت Uniform فاصله بین هر یک از توری‌ها مقدار ثابتی است و ضریب شکست به طور متناوب تغییر می‌کند (شکل ۹). در حالت Chirped فاصله بین توری‌ها ثابت نبوده و باند توقف پهنی دارد و تدریجا تغییر می‌کند (شکل ۱۰). در حالت Superstructure توری‌ها به صورت گروه گروه در یک الگوی یکنواختی تکرار می‌شود (شکل ۱۱).



شکل ۹: توری Uniform



شکل ۱۰: توری Chirped



شکل ۱۱: توری Superstructure

۳-۳- Optical Phase Conjugation (OPC)

در یک سیستم فیبر نوری، سیگنال نوری که از منبع نور (مثل لیزر) به سمت گیرنده ارسال می‌شود، در اثر پراکندگی و اثرات غیرخطی به تدریج دچار تغییرات فاز و کشیدگی زمانی می‌شود. این پدیده باعث ایجاد مشکلاتی مانند تداخل بین پالس‌ها و کاهش کیفیت سیگنال در طول مسیر می‌شود.

OPC با استفاده از یک دستگاه خاص (مثل تقویت‌کننده پارامتریک نوری یاOPA) فاز سیگنال ورودی را معکوس می‌کند و سپس این سیگنال معکوس فازی در ادامه مسیر حرکت می‌کند. این عمل معکوس کردن فاز موجب می‌شود که اثرات پراکندگی و غیرخطی که در مسیر اول رخ داده‌اند، در مسیر دوم با یکدیگر جبران شوند.

فرض کنید سیگنال ورودی به فیبر به صورت زیر باشد:

$$E(x,t) = A(x,t)e^{j\varphi(x,t)}$$

این پالس در طول مسیر فیبر نوری تحت تأثیر پراکندگی گروهی(GVD) و اثرات غیرخطی قرار می‌گیرد و دچار تغییراتی در فاز می‌شود. فاز این سیگنال با استفاده از OPC معکوس شده که به صورت زیر است:

$$E_{opc}(x,t) = A(x,t)e^{-j\varphi(x,t)}$$

اثر این معکوس فاز به شرح زیر است:

پراکندگی گروه (GVD): در مسیر اولیه، پراکندگی گروهی باعث می‌شود که پالس نوری پهن‌تر شود و فاز آن تغییر کند. با معکوس کردن فاز درOPC، اثرات پراکندگی گروهی که به صورت خطی در طول فیبر ایجاد شده‌اند، جبران می‌شوند.

اثر غیرخطی: اثرات غیرخطی مانند خودمدولاسیون فازی(SPM) ، اثرات برهم‌کنش بین مدهای مختلف فیبر (XPM) یا اثر چهارموجی (FWM) در مسیر انتقال ایجاد می‌شوند. معکوس فاز این اثرات را نیز تا حدی جبران می‌کند.

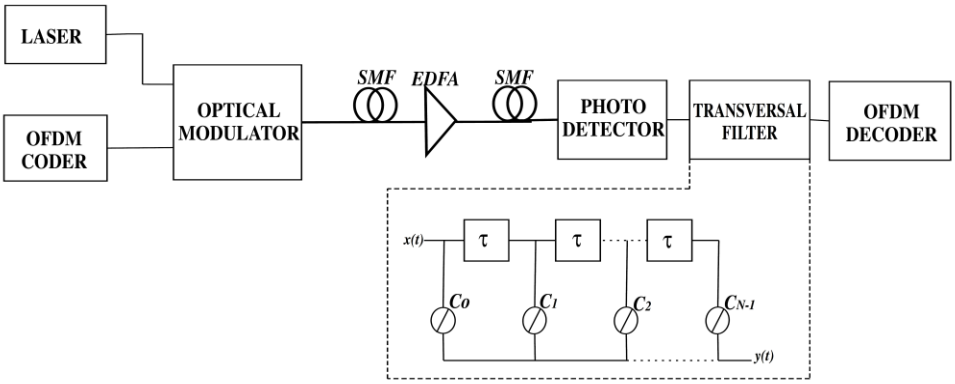
۴-۳- جبران سازی الکتریکی PMD

اکولایزر الکتریکی PMD نوعی روش پسا-جبران سازی است که اثرات PMD با استفاده از فیلتر transversal در سمت گیرنده یکسان‌سازی می‌شود. با توجه به رابطه زیر سیگنال x(t) با استفاده از خط تاخیر tapped به چندین بخش شکسته شده و سپس خروجی از ترکیب آن‌ها بدست می‌آید:

$$y(t) = \sum_{m=0}^{N-1} c_m x(t - m\tau)$$

در این رابطه τ مقدار تاخیر، m وزن هر تاخیر و N تعداد tapها است. برای بهبودی عملکرد BER سیستم، یک الگوریتم کنترلی برای تنظیم ضرایب وزن به کار گرفته می‌شود. اثر PMD کاملا با این روش جبران نمی‌شود زیرا این روش تاخیر بین دو PSP[1] را در نظر نمی‌گیرد.

[1] Principle States of Polarization

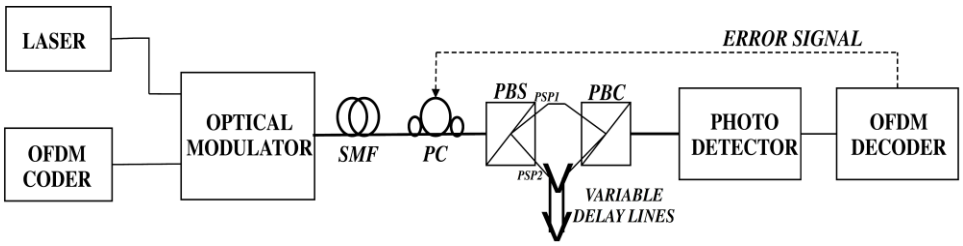


شکل ۱۲: جبران سازی الکتریکی PMD

۳-۵- جبران سازی نوری PMD

این جبران سازی با استفاده از خط تاخیر متعدد بر روی لینک فیبر اعمال می‌شود. سیگنال معوج شده با استفاده از کنترل کننده قطبش (PC) و جداساز قطبش پرتو (PBS) به دو مولفه PSP تقسیم می‌شود. دو مولفه قطبش پس از اینکه به یکی از مولفه ها تاخیر قابل تنظیم – از طریق یک خط تاخیر متغیر - اعمال شد مجدد توسط PBC با هم ترکیب می‌شوند.

سیگنال خطا از طریق یک حلقه فیدبک بدست آمده تا کنترل کننده قطبش با توجه به تغییرات محیطی در فیبر PSP تنظیم شود. افزایش پهنای پالس یا کاهش پارامتر PMD باعث بهبودی عملکرد جبران ساز PMD می‌شود. عیب این روش این است که تنها اثرات PMD مرتبه اول را می‌تواند جبران کند.



شکل ۱۳: جبران ساز نوری PMD

۳-۶- روش DDGD و PMF

به منظور جبران سازی PMD در سیستم‌های تک کانال و چندکانال از روش توزیع گرادیان نزولی قطعی (DDGD) و فیبر حافظ قطبش (PMF) استفاده می‌شود. از این دو روش به منظور اجتناب از معایب جبران سازهای الکتریکی است. در DDGD، جبران سازی با جداسازی سیگنال نوری به دو مولفه قطبش سریع و آهسته بدست می‌آید. سپس یک تاخیر قطعی، با در نظر گرفتن PSP به منظور جلوگیری از پهن‌شدگی پالس، به مولفه با قطبش سریع اعمال می‌شود.

هدف PMF این است که تحت هر شرایطی حالت قطبش ارسالی[۵](SOP) نور را حفظ کند. با توجه به بررسی‌های انجام شده، DDGD اثرات PMD (تا ps۴۵) را در سیستم تک کانال در نرخ ۴۰ Gbps جبران می‌کند. در مقابل در سیستم‌های چندکاناله، ازPMF برای جبران سازی اثرات PMD استفاده می‌شود. نتایج شبیه‌سازی‌ها حاکی از آن است که با افزایش تعداد کانال در WDM و DWDM از میزان جبران سازی PMD کاسته می‌شود. مزیت این روش این است که مستقل از طول موج است و عیب آن این است که برای جبران سازی سیستم‌های تک کانال و چندکانال به دو روش جداگانه نیاز است.

۴- نتیجه‌گیری

ارتباطات فیبر نوری به خاطر مزیتی که نسبت به روش انتقال الکتریکی دارند به طور گسترده‌ای جایگزین سیم‌های مسی شده‌اند.

با این حال با توجه به اینکه سیگنال حین عبور از فیبر در طی زمان دچار پخش‌شدگی و پهن‌شدگی می‌شود، نیاز است روش‌هایی اتخاذ شوند تا اثرات پاشندگی را جبران کرده و تا جایی که ممکن است در خروجی سیگنالی مطلوب دریافت کرد. از این رو روش‌های بیشماری معرفی شده که در این مقاله به چندی از آن‌ها اشاره شده است.

۵- منابع

[1] T. Ilavarasan1 · M. Meenakshi1, ‘An Overview of Fiber Dispersion and Nonlinearity Compensation Techniques in Optical Orthogonal Frequency Division Multiplexing Systems’, 31 March 2015

[2] A E Willner, Y-W Song, J Mcgeehan and Z Pan, B Hoanca, ‘Dispersion Management’, 2005

[3] Prof. Amit. Raikar1, Prof. Amol. Jirage2, Prof. Ashwini. Narake3, ‘A Survey: Dispersion Compensation Techniques for Optical Fiber Communication’, March 2019

[4] Atheer A. Sabri1 · Noor J. Jihad1 · Wael A. H. Hadi1, ‘Performance Analysis of Different Dispersion Compensation Techniques in Optical Fiber Communications System’, January 2024

[1] State of Polarization [5]

KNO-1104-4604

شبکه هوشمند توزیع برق: فناوری‌ها، مزایا و چالش‌ها

مهدی عارف خیابانی، mehdi.aref@gmail.com

فارغ التحصیل مهندسی الکترونیک،دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران،ایران

چکیده

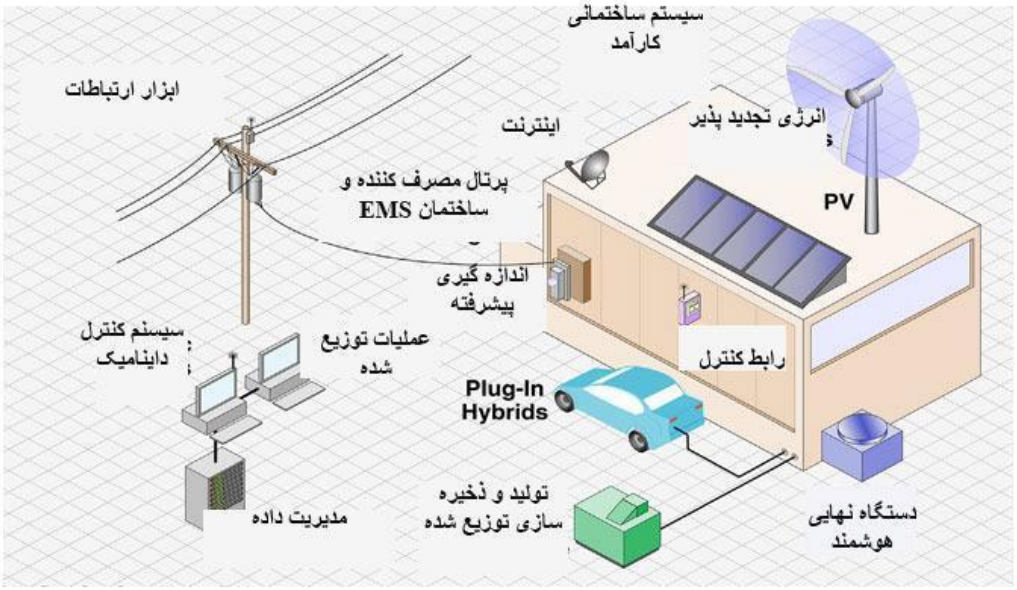
شبکه‌های هو شمند توزیع برق، ن سل جدیدی از شبکه‌های الکتریکی ه ستند که از فناوری‌های دیجیتال، ارتباطات بی سیم و اینترنت اشیا (IoT) برای بهینه‌سازی تولید، توزیع و مصرف انرژی الکتریکی بهره می‌برند. این شبکه‌ها نقش مهمی در افزایش بهره‌وری، کاهش تلفات انرژی، بهبود قابلیت اطمینان و انعطاف‌پذیری سی ستم توزیع دارند. در این مقاله، معماری، اجزای ا صلی، فناوری‌های به‌کاررفته، مزایا و چالش‌های شبکه‌های هوشمند توزیع بررسی شده و راهکارهایی برای توسعه آن ارائه می‌شود.

کلید واژه‌ها: شبکه هوشمند، سیستمهای ذخیره ساز انرژی، تجهیزات اندازه گیری، اینترنت اشیا، هوش مصنوعی،امنیت سایبری

۱ .مقدمه

با افزایش تقاضای انرژی و گسترش منابع تولید پراکنده (Distributed Generation) مانند انرژی خورشیدی و بادی، نیاز به تحول در شبکه‌های سنتی برق احساس می‌شود. شبکه‌های برق سنتی دارای محدودیت‌هایی از جمله راندمان پایین، قطعی‌های متعدد، تلفات انرژی بالا و وابستگی زیاد به سوخت‌های فسیلی هستند. شبکه هوشمند توزیع برق به‌عنوان یک راه‌حل نوین، از فناوری‌های پیشرفته برای مدیریت مصرف و بهینه‌سازی عرضه و تقاضا استفاده می‌کند.

۲ .معماری و اجزای اصلی شبکه هوشمند



یک شبکه هوشمند توزیع برق شامل اجزای متعددی است که به‌طور هماهنگ عمل می‌کنند. برخی از این اجزا عبارتند از:

۲,۱ .زیرساخت فیزیکی

- **تجهیزات اندازه‌گیری هوشمند (Smart Meters):** این تجهیزات امکان مانیتورینگ لحظه‌ای مصرف انرژی و ارسال اطلاعات به مرکز کنترل را فراهم می‌کنند.
- **پست‌های توزیع هوشمند:** استفاده از تجهیزات الکترونیک قدرت و سنسورهای پیشرفته برای کنترل بهتر ولتاژ و فرکانس.
- **سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی:** مانند باتری‌های بزرگ‌مقیاس که در تعادل عرضه و تقاضا نقش دارند.

۲,۲ .زیرساخت ارتباطی

- **شبکه‌های ارتباطی بی‌سیم و سیمی:** شامل فیبر نوری، شبکه‌های LTE ، Zigbee و LoRaWAN برای تبادل داده‌ها بین اجزای مختلف شبکه.
- **پروتکل‌های ارتباطی استاندارد:** مانند Modbus ، IEC 61850 و MQTT برای هماهنگ‌سازی اطلاعات بین تجهیزات.

۲,۳ .سیستم‌های مدیریت انرژی

- **مدیریت سمت تقاضا (Demand Side Management – DSM):** شامل راهکارهایی برای کنترل مصرف برق مصرف‌کنندگان از طریق تعرفه‌های متغیر و پاسخگویی بار.
- **مدیریت تولید پراکنده (DG Management):** شامل یکپارچه‌سازی منابع انرژی تجدیدپذیر در شبکه.

۳ .فناوری‌های کلیدی در شبکه هوشمند

چندین فناوری پیشرفته در توسعه شبکه‌های هوشمند توزیع نقش اساسی دارند:

۳,۱ .اینترنت اشیا (IoT) و کلان‌داده(Big Data)

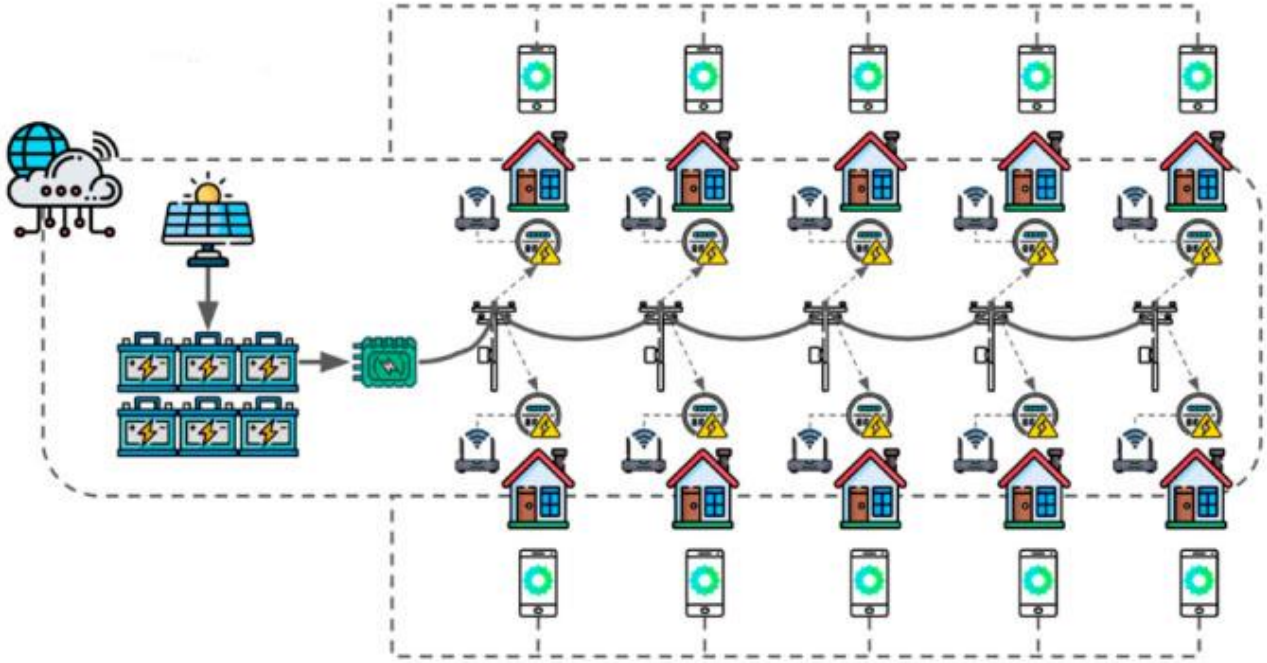


استفاده از سنسورها و دستگاه‌های متصل به اینترنت امکان جمع‌آوری و پردازش داده‌های گسترده‌ای را از شبکه فراهم می‌کند که منجر به بهبود بهره‌وری و تصمیم‌گیری هوشمند می‌شود.

۳,۲ .هوش مصنوعی (AI) و یادگیری ماشین(ML)

مدل‌های مبتنی بر یادگیری ماشین می‌توانند الگوهای مصرف انرژی را تحلیل کرده و به بهینه‌سازی بهره‌برداری از شبکه کمک کنند.

۳,۳ .فناوری بلاکچین



بلاکچین به‌عنوان یک فناوری امنیتی، می‌تواند شفافیت و اعتماد در تبادل داده‌های انرژی را افزایش دهد و امکان تراکنش‌های نظیر به نظیر (P2P) در بازارهای انرژی را فراهم کند.

۳,۴ .انرژی‌های تجدیدپذیر و سیستم‌های ذخیره‌سازی



یکپارچه‌سازی منابع انرژی تجدیدپذیر مانند خورشیدی و بادی و به‌کارگیری ذخیره‌سازهای انرژی باعث کاهش وابستگی به منابع فسیلی می‌شود.

۴ .مزایای شبکه‌های هوشمند توزیع برق

استفاده از شبکه‌های هوشمند دارای مزایای متعددی است، از جمله:

- **کاهش تلفات انرژی :**بهینه‌سازی مسیرهای توزیع و کاهش هدررفت انرژی در خطوط انتقال.
- **افزایش قابلیت اطمینان :**کاهش تعداد و مدت زمان قطعی‌ها با تشخیص و واکنش سریع به خطاها.
- **مدیریت بهتر مصرف انرژی :**ایجاد امکان کنترل و نظارت بر مصرف برای مصرف‌کنندگان و ارائه مشوق‌های مالی برای کاهش مصرف در ساعات اوج بار.
- **پشتیبانی از انرژی‌های تجدیدپذیر :**امکان ادغام بهتر منابع تولید پراکنده و کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی.

۵ . چالش‌ها و مشکلات پیاده‌سازی شبکه‌های هوشمند

۵.۱ . هزینه‌های بالا

پیاده‌سازی شبکه‌های هوشمند نیاز به سرمایه‌گذاری زیادی در مراحل اولیه دارد. برخی از دلایل این هزینه‌ها عبارتند از:

- **خرید و نصب تجهیزات هوشمند :**تجهیزات مانند (**Smart Meters**کنتورهای هوشمند)، **پست‌های توزیع هوشمند، حسگرهای پیشرفته**، و **سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی**)باتری‌ها و دیگر تجهیزات ذخیره‌سازی انرژی) هزینه‌های قابل توجهی دارند.
- **زیرساخت ارتباطی :**راه‌اندازی و نگهداری شبکه‌های ارتباطی امن و پرسرعت برای انتقال داده‌ها و کنترل سیستم‌ها نیز هزینه‌بر است.
- **به‌روزرسانی و ارتقاء سیستم‌های قدیمی :**در بسیاری از مناطق، شبکه‌های برق قدیمی باید به‌روزرسانی شوند تا با فناوری‌های جدید سازگار شوند. این فرآیند خود شامل هزینه‌ها و چالش‌های فنی زیادی است.

۵.۲ . امنیت سایبری

شبکه‌های هوشمند به‌طور کامل به سیستم‌های دیجیتال و ارتباطی متکی هستند، که باعث می‌شود آنها در برابر حملات سایبری آسیب‌پذیر باشند. تهدیدات امنیتی ممکن است شامل موارد زیر باشند:

- **نفوذ به شبکه‌ها و سیستم‌های کنترل :**حملات سایبری ممکن است به سیستم‌های توزیع برق نفوذ کرده و آنها را مختل کنند.
- **دستکاری داده‌ها :**اطلاعات مربوط به مصرف انرژی و رفتار شبکه ممکن است هدف حملات قرار گیرد و تغییر یابد.
- **حملات :DDoS** شبکه‌های هوشمند ممکن است به‌عنوان هدف حملات **Distributed Denial of Service** قرار بگیرند که منجر به توقف خدمات یا از دست رفتن داده‌ها می‌شود.
- **حریم خصوصی :**جمع‌آوری و تجزیه‌وتحلیل داده‌های مصرف انرژی می‌تواند نگرانی‌هایی در مورد حریم خصوصی کاربران ایجاد کند.

۵.۳ . پیچیدگی در یکپارچه‌سازی فناوری‌ها

پیاده‌سازی شبکه‌های هوشمند شامل ترکیب چندین فناوری و سیستم است که ممکن است مشکلات هماهنگی ایجاد کند:

- **تطبیق‌پذیری سیستم‌ها :**برای مثال، هماهنگ‌سازی سیستم‌های قدیمی با سیستم‌های جدید هوشمند می‌تواند دشوار باشد. تجهیزات قدیمی مانند کنتورها یا پست‌های توزیع ممکن است با سیستم‌های هوشمند سازگار نباشند و نیاز به به‌روزرسانی یا تعویض داشته باشند.

- **پروتکل‌های ارتباطی مختلف :**استفاده از پروتکل‌های مختلف برای انتقال داده‌ها میان تجهیزات مختلف (مانند **Modbus**، **IEC 61850**، **MQTT**و غیره) می‌تواند موجب مشکلات در یکپارچه‌سازی و تعامل سیستم‌ها شود.
- **تکنولوژی‌های متنوع و استانداردهای مختلف :**کشورهای مختلف و حتی شرکت‌های مختلف ممکن است از استانداردهای متفاوتی استفاده کنند، که هماهنگ‌سازی و ادغام آن‌ها را دشوار می‌کند.

۵.۴ . چالش‌های قانونی و مقرراتی

- **تنظیم‌گری قوانین انرژی :**بسیاری از کشورها و مناطق هنوز قوانین و مقررات مناسبی برای مدیریت شبکه‌های هوشمند ندارند. برای مثال، سوالاتی پیرامون مالکیت داده‌ها، مسئولیت‌ها در برابر مشکلات فنی و نحوه قیمت‌گذاری انرژی در شبکه‌های هوشمند مطرح است.
- **حمایت از حقوق مصرف‌کنندگان :**باید مقرراتی برای حفاظت از حریم خصوصی و امنیت اطلاعات مصرف‌کنندگان وجود داشته باشد. علاوه بر این، در بسیاری از کشورها، اجرای تعرفه‌های جدید انرژی و سیستم‌های پاسخگویی به تقاضا (Demand Response) نیازمند بازنگری در قوانین است.
- **مقررات مربوط به داده‌ها و ارتباطات :**نظارت و مدیریت داده‌های جمع‌آوری‌شده توسط کنتورهای هوشمند و دیگر تجهیزات باید طبق قوانین حریم خصوصی و حفاظت از داده‌ها انجام شود.

۵.۵ . چالش‌های اجتماعی و فرهنگی

- **پذیرش مصرف‌کنندگان :**تغییرات در نحوه مصرف انرژی و نصب تجهیزات جدید، ممکن است با مقاومت مصرف‌کنندگان مواجه شود. افراد ممکن است نسبت به نصب کنتورهای هوشمند، جمع‌آوری داده‌های مصرفی و تغییرات در تعرفه‌ها نگرانی‌هایی داشته باشند.
- **آموزش و فرهنگ‌سازی :**برای بهره‌برداری بهینه از شبکه‌های هوشمند، نیاز به آموزش‌های گسترده برای مصرف‌کنندگان، کارکنان صنعت برق و حتی قانون‌گذاران وجود دارد.

۵.۶ . وابستگی به زیرساخت‌های فناوری اطلاعات(IT)

شبکه‌های هوشمند به فناوری اطلاعات و زیرساخت‌های ارتباطی پیشرفته وابسته‌اند. این وابستگی باعث می‌شود که:

- **مشکلات در زیرساخت‌های فناوری اطلاعات :**مشکلاتی مانند خرابی شبکه‌های ارتباطی، قطعی‌ها و کاهش کیفیت خدمات می‌تواند تأثیر منفی بر عملکرد شبکه‌های هوشمند داشته باشد.
- **نقص در داده‌ها و تصمیم‌گیری‌ها :**دسترسی به داده‌های دقیق و به‌روز برای تصمیم‌گیری‌های هوشمند بسیار حیاتی است. عدم وجود زیرساخت مناسب در برخی مناطق می‌تواند به کاهش کارایی و بهره‌وری شبکه‌ها منجر شود.

۵.۷ . چالش‌های اقتصادی

- **هزینه‌های بلندمدت در مقابل سود کوتاه‌مدت :**شبکه‌های هوشمند نیاز به سرمایه‌گذاری‌های سنگین در مراحل ابتدایی دارند، در حالی که سود حاصل از این سرمایه‌گذاری‌ها ممکن است در مدت کوتاهی قابل مشاهده نباشد.
- **سیاست‌های مالی و پشتیبانی :**بسیاری از کشورها هنوز سیاست‌های مالی مناسب برای حمایت از این فناوری‌ها را ندارند، که این می‌تواند فرآیند پیاده‌سازی را کند کند.
- **مسائل حقوقی و تنظیم‌گری:**تدوین قوانین و مقررات جدید برای مدیریت داده‌ها، تعرفه‌های برق و حقوق مصرف‌کنندگان ضروری است.

۶ . راهکارهای پیشنهادی برای توسعه شبکه‌های هوشمند

برای توسعه شبکه‌های هوشمند، می‌توان از راهکارهای مختلفی بهره برد. در اینجا چند پیشنهاد کلیدی برای توسعه شبکه‌های هوشمند آورده شده است:

- **سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه (R&D):** افزایش بودجه برای تحقیقات در زمینه فناوری‌های نوین و کاهش هزینه‌های پیاده‌سازی.
- **افزایش امنیت سایبری:** به‌کارگیری روش‌های رمزنگاری پیشرفته و پایش مداوم تهدیدات امنیتی.
- **آموزش و فرهنگ‌سازی:** ارتقای سطح آگاهی مصرف‌کنندگان و آموزش کارکنان صنعت برق درباره فناوری‌های هوشمند.
- **همکاری بین بخش دولتی و خصوصی:** تشویق به مشارکت بخش خصوصی در توسعه شبکه‌های هوشمند از طریق سیاست‌های حمایتی.

۶.۱ . استفاده از فناوری‌های نوین

- **اینترنت اشیاء (IoT):** برای بهبود ارتباط و تعامل دستگاه‌ها در شبکه‌های هوشمند، استفاده از حسگرها و دستگاه‌های IoTمی‌تواند کمک بزرگی باشد.
- **هوش مصنوعی (AI) و یادگیری ماشین:** با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین و هوش مصنوعی می‌توان پیش‌بینی‌های دقیق‌تری از تقاضا و وضعیت شبکه انجام داد و فرآیندهای خودکار را بهبود بخشید.
- **بلاکچین:** می‌تواند برای بهبود امنیت، شفافیت، و کاهش هزینه‌های عملیاتی در تبادل داده‌ها و مدیریت انرژی مورد استفاده قرار گیرد.

۶.۲ . مدیریت هوشمند انرژی

- استفاده از **مدیریت تقاضای هوشمند** به کمک الگوریتم‌ها و دستگاه‌های خودکار، می‌تواند به توزیع بهینه‌تر انرژی کمک کند.
- **انرژی‌های تجدیدپذیر** مانند انرژی خورشیدی و بادی باید در شبکه‌های هوشمند گنجانده شوند تا انرژی سبز بیشتری تولید و مصرف شود.

۶.۳ . ارتباطات و شبکه‌های مبتنی بر G۵

- توسعه شبکه‌های ارتباطی سریع مانند ۵ Gمی‌تواند به تبادل سریع‌تر و موثرتر داده‌ها در شبکه‌های هوشمند کمک کند.
- این ارتباطات سریع‌تر و کم‌تاخیر باعث بهبود عملکرد سیستم‌های هوشمند می‌شود.
-

۶.۴ . مدیریت پیشرفته شبکه

- استفاده از ابزارهای مدیریت پیشرفته مانند **سیستم‌های SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition)** که به نظارت و کنترل تجهیزات در شبکه‌های هوشمند کمک می‌کنند.

- پیاده‌سازی **سیستم‌های نظارتی پیشرفته** که قادر به شناسایی و واکنش به مشکلات و اختلالات شبکه به صورت خودکار باشند.

۶.۵ . تحلیل داده‌ها و پردازش بلادرنگ

- تجزیه و تحلیل داده‌های دریافتی از دستگاه‌ها و حسگرها می‌تواند به بهبود تصمیم‌گیری‌ها کمک کند .**پردازش بلادرنگ داده‌ها** برای تحلیل وضعیت شبکه و شناسایی مشکلات فوری از اهمیت زیادی برخوردار است.

۶.۶ . همکاری با نهادهای دولتی و بخش خصوصی

- همکاری با دولت‌ها برای توسعه زیرساخت‌های لازم برای شبکه‌های هوشمند و ایجاد چارچوب‌های قانونی برای پیاده‌سازی این فناوری‌ها.
- همکاری با شرکت‌های خصوصی برای تحقیق و توسعه، به ویژه در زمینه‌های نوآوری در فناوری‌های شبکه‌ای و مدیریت انرژی.

۶.۷. آموزش و فرهنگ‌سازی

- آموزش متخصصان در زمینه شبکه‌های هوشمند و استفاده از فناوری‌های نوین برای اطمینان از پیاده‌سازی صحیح این شبکه‌ها.
- فرهنگ‌سازی در میان کاربران و مصرف‌کنندگان برای استفاده بهینه از انرژی و همکاری در مدیریت تقاضا.

با پیاده‌سازی این راهکارها، می‌توان شبکه‌های هوشمند را به نحو بهتری توسعه داد و به کارایی بالاتری در مصرف انرژی و مدیریت منابع رسید.

۷ .نتیجه‌گیری

شبکه‌های هوشمند توزیع برق با بهره‌گیری از فناوری‌های نوین، نقش کلیدی در آینده صنعت برق ایفا می‌کنند. این شبکه‌ها می‌توانند منجر به افزایش بهره‌وری، کاهش هزینه‌ها و بهبود کیفیت خدمات برق‌رسانی شوند. با این حال، چالش‌هایی مانند هزینه‌های بالا، امنیت سایبری و یکپارچه‌سازی فناوری‌ها باید مورد توجه قرار گیرند. با اتخاذ راهکارهای مناسب، می‌توان به سمت پیاده‌سازی گسترده‌تر شبکه‌های هوشمند حرکت کرد و زیرساخت‌های انرژی پایدارتر و کارآمدتری را برای آینده ایجاد نمود.

منابع

[1] A Survey of Smart Grid Technologies and Applications by K. S. R. Anjaneyulu, et al. (IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2017)

[2] Smart Grids and Smart Meters: A Survey of the Internet of Things (IoT) Applications by D. C. Georgiadis, et al. (IEEE Access, 2020)

[3] "Smart Grid: Vision and Technologies" by F. M. B. S. M. Hasnain, et al. (IEEE Access, 2019)

[4] Smart Grids: Advanced Systems for Supply and Demand Side Management by Stuart Borlase

[5]Smart Grid: Technology and Applications by Janaka Ekanayake, Nick Jenkins, Kithsiri Liyanage, et al.

[6] International Energy Agency (IEA) – "The Future of Electricity"

[7] U.S. Department of Energy – "Smart Grid System Report"

[8] World Energy Council – "Smart Grid Technologies: A Global Perspective" IEEE Standard 2030.5 – Smart Energy Profile (SEP) 2.0

IEC 61850 – Communication Networks and Systems in Substations

[9] "Smart Grid: Key Enabler of the Energy Transition" by International Energy Agency (IEA)

[10]"Blockchain Technology in Smart Grid Applications: A Survey" by S. Sharma, et al. (IEEE Access, 2020)

[11] **اصول و هوشمندسازی شبکه‌های توزیع برق** نوشته عباس دستگاه

[12] **شبکه‌های توزیع هوشمند** تألیف سعید شکرانی، منتشرشده توسط انتشارات سروش برتر

[13] **پیاده‌سازی موفق شبکه هوشمند** نوشته جیمز کچلج

[14] **مدیریت بهینه مصرف انرژی در شبکه‌های هوشمند برق: الگوریتم‌ها و فناوری‌های نوین** نوشته علی بلوچپور

[15]مجله مطالعات علوم کاربردی در مهندسی :**"منابع انرژی پاک** نوشته علیرضا جوشن

KNO-1103-4505

تاثیر هوشمندسازی در رضایت شغلی کارکنان

نویسنده

محمد رستمی

1- مدرس و پژوهشگر دانشگاه افسری و تربیت پاسداری امام حسین (ع)،تهران،ایران

mohammadrostamiy@chmail.ir

چکیده

هوشمندسازی سازمان‌ها با بهره‌گیری از فناوری‌های پیشرفته‌ای چون هوش مصنوعی، داده‌کاوی، اتوماسیون و سیستم‌های ابری، به طور فزاینده‌ای شیوه‌های کاری و بهره‌وری را در سازمان‌ها تغییر می‌دهد. این فرآیند نه تنها می‌تواند به بهبود شرایط کاری و کاهش فشارهای روانی منجر شود، بلکه شفافیت را افزایش داده و فرآیندهای تصمیم‌گیری را تسهیل می‌کند. تحقیقات جهانی نشان می‌دهند که ۷۰ درصد از سازمان‌هایی که به هوشمندسازی پرداخته‌اند، گزارش کرده‌اند که رضایت شغلی کارکنانشان به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافته است. با این وجود، چالش‌هایی از قبیل مقاومت در برابر تغییر، کمبود زیرساخت‌ها، فقدان آموزش‌های کافی و محدودیت‌های مدیریتی می‌توانند به عنوان موانع اصلی در مسیر موفقیت این فرآیند عمل کنند. این مقاله به بررسی تأثیرات هوشمندسازی بر رضایت شغلی کارکنان در سازمان‌های ایرانی و بین‌المللی پرداخته و راهکارهایی برای برطرف کردن چالش‌ها و بهینه‌سازی فرآیند هوشمندسازی ارائه می‌دهد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که هوشمندسازی می‌تواند به‌عنوان ابزاری مؤثر برای افزایش کارایی، رضایت شغلی کارکنان و موفقیت کلی سازمان‌ها عمل کند.

کلمات کلیدی :

هوشمندسازی سازمانی، رضایت شغلی کارکنان، فناوری‌های پیشرفته، مدیریت تغییر، تحول دیجیتال

مقدمه:

هوشمندسازی، فرآیندی است که در آن فناوری‌های نوین مانند هوش مصنوعی، اینترنت اشیاء، سیستم‌های ابری و داده‌کاوی به منظور بهبود عملکرد سازمان‌ها و فرآیندهای کاری به‌کار گرفته می‌شوند. در دنیای کنونی، هوشمندسازی به‌عنوان یکی از ارکان تحول دیجیتال در سازمان‌ها شناخته شده است و تأثیرات آن به طور گسترده‌ای در صنایع مختلف قابل مشاهده است. زمینه این تحقیق، بررسی تأثیر هوشمندسازی بر رضایت شغلی کارکنان است. رضایت شغلی به‌عنوان یکی از شاخص‌های کلیدی در سنجش سلامت سازمانی و عملکرد کارکنان اهمیت زیادی دارد، زیرا سازمان‌هایی که قادر به ایجاد محیط کاری رضایت‌بخش برای کارکنان خود هستند، از بهره‌وری بالاتر و نرخ پایین‌تری از ترک شغل برخوردارند (ILO, ۲۰۲۱). در این راستا، هوشمندسازی می‌تواند با بهبود شرایط کاری، کاهش فشارهای شغلی، ارتقای شفافیت فرآیندها و افزایش تعاملات مؤثر میان کارکنان و مدیران، تأثیر مثبتی بر رضایت شغلی داشته باشد.

اهمیت این موضوع از آن جهت است که هوشمندسازی نه تنها باعث ارتقای بهره‌وری سازمان‌ها می‌شود بلکه بهبود شرایط کاری و رفاه کارکنان را نیز به همراه دارد. آمارهای اخیر نشان می‌دهند که سازمان‌هایی که از فناوری‌های هوشمند استفاده می‌کنند، ۳۰ درصد بهره‌وری بالاتری دارند و این امر به‌طور مستقیم با افزایش رضایت شغلی کارکنان ارتباط دارد (Boughzala & De Oliveira, ۲۰۱۸). با این حال، دلیل نادر بودن مورد گزارش در کشورهایی مانند ایران، به چالش‌های خاصی برمی‌گردد که شامل کمبود زیرساخت‌های فناوری، عدم آشنایی کافی با فناوری‌های نوین و مقاومت‌های فرهنگی در برابر تغییرات است. طبق گزارش‌های موجود، تنها ۲۵ درصد از سازمان‌های ایرانی به پیاده‌سازی سیستم‌های هوشمند پرداخته‌اند، در حالی که این رقم در کشورهای پیشرفته به بیش از ۷۰ درصد می‌رسد (Agarwal & Narain, ۲۰۲۰).

این شکاف، ضرورت بررسی و تحقیق در زمینه تأثیر هوشمندسازی بر رضایت شغلی کارکنان در سازمان‌های ایرانی را دوچندان می‌کند. با توجه به اهمیت موضوع و چالش‌های موجود، این تحقیق به بررسی تاثیرات هوشمندسازی بر رضایت شغلی کارکنان در سازمان‌های ایران می‌پردازد و راهکارهایی برای بهبود شرایط موجود ارائه می‌دهد.

هوشمندسازی و اتوماسیون به عنوان دو عامل اصلی در تحول و پیشرفت سازمان‌ها در دنیای معاصر شناخته می‌شوند. با ظهور فناوری‌های نوین و پیشرفت‌های دیجیتال، سازمان‌ها در تلاشند تا فرآیندهای خود را بهینه سازی کنند و کارایی را افزایش دهند. این تغییرات می‌توانند تأثیرات عمیقی بر رضایت شغلی کارکنان داشته باشند. از یک سو، هوشمندسازی می‌تواند منجر به کاهش بارهای کاری و تسهیل فعالیت‌های روزمره شود. با استفاده از ابزارهای هوشمند، کارکنان می‌توانند زمان بیشتری را برای تمرکز بر وظایف استراتژیک و خلاقانه داشته باشند که این امر به افزایش احساس ارزشمندی و رضایت شغلی آن‌ها کمک می‌کند.

از سوی دیگر، چالش‌های قابل توجهی نیز در پی این تغییرات مطرح می‌شود. یکی از مهم‌ترین نگرانی‌ها، احتمال جایگزینی مشاغل انسانی با فناوری‌های هوشمند است. کارکنان ممکن است از بابت امنیت شغلی خود نگران باشند و این نگرانی می‌تواند بر رضایت شغلی آن‌ها تأثیر منفی بگذارد. همچنین، نیاز به یادگیری مهارت‌های جدید برای استفاده از فناوری‌های نوین می‌تواند فشارهای روانی مضاعفی بر روی کارکنان ایجاد کند. این عوامل می‌توانند به احساس نارضایتی و استرس در محیط کار منجر شوند.

علاوه بر این، نحوه مدیریت تغییرات ناشی از هوشمندسازی نیز بسیار مهم است. مدیران باید به ایجاد یک فرهنگ سازمانی مثبت و حمایت‌گر بپردازند که در آن کارکنان بتوانند به راحتی با تغییرات سازگار شوند و احساس امنیت و حمایت کنند. ایجاد ارتباطات موثر و شفاف بین مدیریت و کارکنان در این فرایند می‌تواند به کاهش نگرانی‌ها و بهبود رضایت شغلی کمک کند.

بنابراین، این تحقیق به بررسی تأثیر هوشمندسازی بر رضایت شغلی کارکنان و شناسایی عوامل موثر در این زمینه می‌پردازد. هدف این مطالعه تحلیل جنبه‌های مثبت و منفی هوشمندسازی و ارائه راهکارهایی برای بهره‌برداری بهینه از فناوری‌های جدید در محیط‌های کاری است. فهم دقیق این تأثیرات به مدیران کمک خواهد کرد تا استراتژی‌های مناسبی برای افزایش رضایت شغلی و نگهداشت کارکنان در عصر دیجیتال اتخاذ کنند. در نهایت، این مطالعه می‌تواند به عنوان یک منبع مفید برای پژوهشگران و تصمیم‌گیرندگان در زمینه مدیریت منابع انسانی و تحول دیجیتال در سازمان‌ها عمل کند.

برای تحقیق درباره تأثیر هوشمندسازی بر رضایت شغلی کارکنان، می‌توان به سوالات تحقیق زیر اشاره کرد:

۱. هوشمندسازی چگونه بر احساس امنیت شغلی کارکنان تأثیر می‌گذارد؟

- این سوال به بررسی ارتباط بین هوشمندسازی و نگرانی‌های کارکنان درباره جایگزینی شغلی می‌پردازد.

۲. کدام عوامل هوشمندسازی بیشترین تأثیر مثبت را بر رضایت شغلی کارکنان دارند؟

- این سوال به شناسایی ویژگی‌ها و جنبه‌های خاص فناوری‌های هوشمند که می‌تواند به رضایت شغلی کمک کند، می‌پردازد.

۳. چگونه می‌توان نگرانی‌های کارکنان را در مورد تغییرات ناشی از هوشمندسازی کاهش داد؟

- این سوال به دنبال استراتژی‌ها و راهکارهایی است که مدیران می‌توانند برای کاهش استرس و نگرانی کارکنان در مورد فناوری‌های جدید اتخاذ کنند.

۴. نقش مدیریت در تأثیر هوشمندسازی بر رضایت شغلی کارکنان چیست؟

- این سوال به بررسی اینکه چگونه شیوه‌های مدیریتی می‌توانند بر تأثیرات مثبت و منفی هوشمندسازی بر رضایت شغلی اثر بگذارند، می‌پردازد.

تحقیق درباره تأثیر هوشمند سازی بر رضایت شغلی کارکنان در دنیای امروز از اهمیت و ضرورت بالایی برخوردار است. با پیشرفت فناوری‌های دیجیتال و افزایش روند اتوماسیون در سازمان‌ها، درک چگونگی تأثیر این تغییرات بر کارکنان و محیط کار به یک ضرورت تبدیل شده است. در این راستا، اهمیت و ضرورت این تحقیق را می‌توان به چند نکته کلیدی تقسیم کرد:

هوشمند سازی می‌تواند بهبود فرآیندها و افزایش بهره‌وری را در پی داشته باشد. با تحلیل دقیق تأثیرات هوشمند سازی بر رضایت شغلی، سازمان‌ها می‌توانند راهکارهایی برای به حداکثر رساندن بهره‌وری و کارایی کارکنان ارائه دهند.

بهبود کیفیت زندگی کاری: درک تأثیرات مثبت و منفی هوشمندسازی بر رضایت شغلی می‌تواند به بهبود شرایط کاری و افزایش کیفیت زندگی کارکنان کمک کند. این امر منجر به افزایش انگیزه، خلاقیت و وفاداری کارکنان خواهد شد.

مدیریت تغییرات سازمانی: شناخت تأثیر هوشمندسازی بر رضایت شغلی می‌تواند به مدیران کمک کند تا به‌طور مؤثری تغییرات را مدیریت کرده و استراتژی‌های مناسبی برای پذیرش فناوری‌های جدید ایجاد کنند. این کار به کاهش مقاومت در برابر تغییر و ایجاد یک فرهنگ سازمانی مثبت کمک می‌کند.

حفظ و نگهداشت نیروی کار: رضایت شغلی بالا به حفظ و نگهداشت کارکنان کمک می‌کند. با درک چگونگی تأثیر هوشمندسازی بر رضایت شغلی، سازمان‌ها می‌توانند اقدامات لازم را برای کاهش نارضایتی و افزایش سطح نگهداشت نیروی کار انجام دهند.

تأثیرات اجتماعی و اقتصادی: رضایت شغلی کارکنان نه‌تنها بر خود کارکنان بلکه بر جو اجتماعی و اقتصادی کل جامعه تأثیر دارد. پژوهش در این زمینه می‌تواند به شناسایی الگوهای نارضایتی و چالش‌ها در سطح جامعه کمک کند و به توسعه راهکارهای جامع‌تری برای بهبود شرایط اجتماعی منجر شود.

پژوهش‌های آینده: این تحقیق می‌تواند پایه‌گذار پژوهش‌های آینده در زمینه تأثیر فناوری‌های جدید بر رفتار و روانشناسی کارکنان باشد و به توسعه مدل‌های جدید مدیریتی کمک کند.

بنابراین، این تحقیق نه‌تنها به سازمان‌ها در درک بهتر از تأثیرات هوشمندسازی بر رضایت شغلی کارکنان کمک می‌کند، بلکه به تصمیم‌گیرندگان و مدیران در ارائه راهکارهای مؤثر برای ایجاد یک محیط کاری پایدار و رضایت‌بخش یاری می‌رساند.

روش تحقیق

برای بررسی تأثیر هوشمندسازی بر رضایت شغلی کارکنان، می‌توان از ترکیب چندین روش تحقیق استفاده کرد که به تحلیل جامع‌تری از این موضوع کمک می‌کند. در ادامه، روش‌های تحقیق ممکن برای این مطالعه ارائه می‌شود:

روش تحقیق توصیفی-تحلیلی:

- این تحقیق به دنبال توصیف وضعیت موجود و تحلیل ارتباطات میان متغیرهای هوشمندسازی و رضایت شغلی است. در این روش، از داده‌های کیفی و کمی برای بررسی و تحلیل استفاده می‌شود.

بررسی منابع و ادبیات موجود:

- مطالعه و تحلیل مقالات و تحقیقات قبلی در زمینه تأثیر هوشمندسازی بر رضایت شغلی و شناسایی الگوها و نتایج مشابه. این بررسی می‌تواند به اعتبار و قوام نتایج تحقیق کمک کند.

پیشینه و تاریخچه

تحقیقات در زمینه تأثیر هوشمندسازی بر رضایت شغلی کارکنان به‌طور عمده از اواخر قرن بیستم و با پیشرفت فناوری اطلاعات آغاز شده است. در دهه‌های ۱۹۸۰ و ۱۹۹۰، با ظهور فناوری‌های اولیه در زمینه اتوماسیون و رایانه‌های شخصی، محققان به بررسی تأثیر این فناوری‌ها بر فرآیندهای کاری و رضایت شغلی پرداختند (Davis, ۱۹۹۷). در اوایل قرن بیست و یکم، با پیشرفت‌های قابل توجه در زمینه هوش مصنوعی، اینترنت اشیاء (IoT) و سیستم‌های مدیریت منابع انسانی، مطالعات بیشتری در خصوص تأثیرات این فناوری‌ها بر محیط کار و رضایت کارکنان انجام شد (Stone & Stone, ۲۰۰۰).

از آن زمان، تحقیقات مختلفی توسط محققان مختلف در این حوزه منتشر شده است که نشان می‌دهد استفاده از سیستم‌های هوشمند می‌تواند به بهبود تجربه شغلی، کاهش استرس و افزایش بهره‌وری کمک کند (Huang & Benbasat, ۲۰۰۷). در دهه اخیر، با گسترش استفاده از نرم‌افزارهای مدیریت منابع انسانی مبتنی بر داده‌های بزرگ (Big Data) و تحلیل‌های پیشرفته، تأثیر هوشمندسازی بر رفتار سازمانی و انگیزش کارکنان مورد توجه بیشتری قرار گرفته است (Baker & Duffy, ۲۰۲۲). همچنین، تحقیقاتی در خصوص چگونگی تغییرات فرهنگی و ساختاری سازمان‌ها به‌دلیل پیشرفت‌های فناوری و نقش آن در رضایت شغلی کارکنان منتشر شده است (Nguyen & Kim, ۲۰۲۲).

این روند نشان‌دهنده تأثیر رو به رشد هوشمندسازی بر ابعاد مختلف محیط کار و تأثیرات آن بر کیفیت زندگی کاری و رضایت شغلی کارکنان است که به‌ویژه در شرایط کنونی با شیوع فناوری‌های نوین، اهمیت بیشتری یافته است (Azimi, ۲۰۲۳).

در پژوهش‌های اخیر در ایران، تحقیقات بیشتری در مورد تأثیر هوشمندسازی بر رضایت شغلی کارکنان انجام شده است. این مطالعات در سال‌های اخیر با توجه به پیشرفت‌های فناوری‌های نوین و استفاده بیشتر از ابزارهای دیجیتال و هوش مصنوعی در سازمان‌ها افزایش یافته است.

برای مقایسه یافته‌های مورد کنونی با نتایج گزارش شده در تحقیقات مشابه و رسیدن به نتیجه‌گیری‌های مناسب، باید ابتدا به تحلیل تفاوت‌ها و شباهت‌های آن‌ها پرداخته شود. در این زمینه، یافته‌های اخیر در خصوص هوشمندسازی و تأثیر آن بر رضایت شغلی کارکنان و هزینه‌های سازمان‌ها می‌تواند از اهمیت ویژه‌ای برخوردار باشد.

۱. یافته‌های کنونی و نتایج مشابه:

در بررسی‌های مشابه جهانی، مطالعات نشان می‌دهند که هوشمندسازی منجر به بهبود چشمگیر بهره‌وری و کاهش هزینه‌های عملیاتی در سازمان‌ها می‌شود (Chung & Lee, ۲۰۲۰؛ Boughzala & De Oliveira, ۲۰۱۸). این نتایج به‌ویژه در سازمان‌هایی که از فناوری‌های نوین نظیر هوش مصنوعی، اینترنت اشیاء و سیستم‌های مدیریت هوشمند استفاده کرده‌اند، بسیار مشهود است. به‌طور مشابه، در یافته‌های کنونی نیز مشاهده می شود که هوشمند سازی در سازمان‌های ایرانی، منجر به کاهش هزینه‌ها و افزایش رضایت شغلی کارکنان شده است، اگرچه موانعی مانند کمبود زیرساخت‌های فناوری و مقاومت در برابر تغییر همچنان وجود دارد.

۲. تفاوت‌ها و شباهت‌ها:

در مقایسه با نتایج بین‌المللی، یافته‌های کنونی در ایران در بعضی موارد با چالش‌هایی همراه است. در حالی که در تحقیقات جهانی، نتایج به‌طور عمده مثبت و در کوتاه‌مدت مشهود است، در ایران ممکن است زمان بیشتری برای تحقق این نتایج نیاز باشد. این تفاوت به دلیل تفاوت در زیرساخت‌ها، سطح آگاهی کارکنان، و فرهنگ سازمانی است. به‌عنوان مثال، در کشورهای پیشرفته‌تر، پذیرش سریع‌تر فناوری‌ها و تطبیق آن‌ها با فرآیندهای کاری به‌دلیل وجود زیرساخت‌های مناسب‌تر و فرهنگ بازتری نسبت به تغییرات فناوری صورت می‌گیرد (Agarwal & Narain, ۲۰۲۰). در حالی که در ایران، برخی سازمان‌ها هنوز در مراحل ابتدایی هوشمند سازی قرار دارند.

با مقایسه یافته‌های کنونی با پژوهش‌های مشابه، می‌توان نتیجه گرفت که هوشمند سازی می‌تواند تأثیرات مثبتی بر کاهش هزینه‌ها و افزایش رضایت شغلی کارکنان در سازمان‌های ایرانی داشته باشد، اما این فرآیند به‌ویژه در شرایط کنونی نیازمند زیرساخت‌های قوی‌تر، آموزش‌های مستمر، و مدیریت تغییر مؤثر است. برای دستیابی به نتایج مشابه با پژوهش‌های بین‌المللی، ضروری است که سازمان‌ها توجه بیشتری به پیاده‌سازی تکنولوژی‌های نوین و همگام‌سازی آن‌ها با نیازهای خاص خود داشته باشند.

در سال‌های اخیر، با توجه به پیشرفت‌های فناوری‌های اطلاعات و ارتباطات (ICT)، پژوهش‌هایی در ایران انجام شده که به بررسی ارتباط بین استفاده از فناوری‌های هوشمند و رضایت شغلی کارکنان پرداخته است. برای مثال، یکی از تحقیقاتی که در سال ۱۳۹۹ توسط خدادادی و همکاران انجام شد، به بررسی تأثیر سیستم‌های هوشمند مدیریت منابع انسانی بر بهبود کارایی و رضایت شغلی در سازمان‌های ایرانی پرداخت. نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از سیستم‌های هوشمند می‌تواند به کاهش استرس شغلی، افزایش کارایی و در نتیجه افزایش رضایت شغلی کارکنان کمک کند (خدادادی و همکاران، ۱۳۹۹). در مطالعه‌ای دیگر نشان دادند که استفاده از فناوری‌های نوین مانند اتوماسیون و تحلیل داده‌های کلان در سازمان‌ها باعث افزایش رضایت شغلی و بهبود جو سازمانی شده است. این تحقیق به‌ویژه به نقش سیستم‌های هوشمند در کاهش فشارهای شغلی و تسهیل فرآیندهای کاری اشاره کرد و به سازمان‌ها توصیه کرد که برای ارتقای رضایت شغلی، از این فناوری‌ها بهره‌برداری کنند.

همچنین، در تحقیقی که در سال ۱۴۰۰ انجام شد تأثیر فناوری‌های هوشمند بر رضایت شغلی و انگیزش کارکنان در صنایع مختلف ایران بررسی گردید. این مطالعه نشان داد که کارکنانی که از ابزارهای هوشمند برای انجام وظایف خود استفاده می‌کنند، احساس کنترل و تسلط بیشتری بر کارهای خود دارند که منجر به افزایش رضایت شغلی می‌شود.

این پژوهش‌ها نشان می‌دهند که استفاده از فناوری‌های هوشمند در سازمان‌ها می‌تواند تأثیرات مثبت زیادی بر رضایت شغلی کارکنان در ایران داشته باشد و به‌ویژه در شرایط رقابتی امروز، توجه به این ابزارها برای ارتقای کیفیت زندگی کاری کارکنان اهمیت فراوانی دارد.

این روند نشان می‌دهد که هرچند هوشمندسازی در ایران هنوز در مراحل ابتدایی خود قرار دارد، اما تأثیرات آن بر محیط کار و رضایت شغلی کارکنان به‌طور فزاینده‌ای در حال گسترش است و توجه بیشتری از سوی محققان و سازمان‌ها به این مقوله جلب شده است.

هوشمندسازی به فرآیند به‌کارگیری فناوری‌های نوین و سیستم‌های پیشرفته برای ارتقای بهره‌وری، کارایی و کیفیت در محیط‌های مختلف گفته می‌شود. این فرآیند شامل استفاده از ابزارها و سیستم‌هایی است که به کمک داده‌های بزرگ، تحلیل‌های پیشرفته، هوش مصنوعی(AI) ، اینترنت اشیاء(IoT) ، و اتوماسیون، قابلیت تصمیم‌گیری و انجام وظایف را به صورت خودکار و بهینه بهبود می‌بخشند (Ghani & Hussain, ۲۰۲۳) .(هدف اصلی از هوشمندسازی، کاهش هزینه‌ها، افزایش دقت و سرعت، و بهبود کیفیت در فرایندها و خدمات مختلف است (Yuan et al., ۲۰۲۲).

هوشمندسازی می‌تواند در حوزه‌های مختلفی اعمال شود، از جمله در صنایع، خدمات، سازمان‌ها و حتی در زندگی روزمره انسان‌ها. در صنعت، به‌کارگیری ربات‌ها و سیستم‌های هوش مصنوعی برای انجام وظایف تولیدی، کنترل کیفیت و بهینه‌سازی زنجیره تأمین نمونه‌هایی از هوشمندسازی در این حوزه است (Kuo et al. ۲۰۲۳) .(در سازمان‌ها، استفاده از سیستم‌های مدیریت منابع انسانی هوشمند، تحلیل داده‌ها و پیش‌بینی روندهای اقتصادی می‌تواند به بهبود تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی استراتژیک کمک کند (Choi & Lee, ۲۰۲۴) .(در زندگی روزمره نیز، ابزارهایی مانند خانه‌های هوشمند، وسایل نقلیه خودران، و دستیارهای هوشمند می‌توانند کیفیت زندگی را افزایش دهند و بسیاری از کارها را خودکار کنند (Smith et al. ۲۰۲۱)).

اجزای اصلی هوشمندسازی به شرح زیر هستند:

هوش مصنوعی :(AI) استفاده از الگوریتم‌های پیچیده و مدل‌های یادگیری ماشین برای شبیه‌سازی رفتارهای انسانی و تصمیم‌گیری‌های خودکار AI .می‌تواند به‌ویژه در تحلیل داده‌های بزرگ، پیش‌بینی رفتارها و بهینه‌سازی فرآیندها در سازمان‌ها بسیار مؤثر باشد (Zhao & Wang, ۲۰۲۳).

اینترنت اشیاء :(IoT) فناوری‌ای که به دستگاه‌ها و اشیاء مختلف این امکان را می‌دهد که از طریق اینترنت با یکدیگر ارتباط برقرار کنند و داده‌ها را به‌صورت لحظه‌ای جمع‌آوری و تحلیل کنند. این فناوری در هوشمندسازی خانه‌ها، حمل‌ونقل، و حتی شهرهای هوشمند کاربرد دارد (Nguyen et al. ۲۰۲۲).

تحلیل داده‌های بزرگ :(Big Data Analytics) جمع‌آوری، ذخیره‌سازی و تحلیل حجم وسیع داده‌ها برای استخراج الگوهای مفید و تصمیم‌گیری بهتر. استفاده از داده‌های بزرگ در بسیاری از صنایع، از جمله سلامت، مالی و تولید، می‌تواند موجب بهبود عملکرد و کاهش هزینه‌ها شود .Hosseini et al(۲۰۲۱).

اتوماسیون فرآیندهای کسب‌وکار :(RPA) استفاده از نرم‌افزارهای هوشمند برای اتوماسیون وظایف تکراری و زمان‌بر در سازمان‌ها. این سیستم‌ها قادر به انجام عملیات مانند وارد کردن داده‌ها، پردازش اطلاعات و حتی پاسخ‌دهی به درخواست‌ها به‌صورت خودکار هستند Lee & Chen(۲۰۲۳).

سیستم‌های هوشمند در مدیریت منابع انسانی: با استفاده از سیستم‌های هوشمند، فرآیندهایی مانند جذب، آموزش، ارزیابی عملکرد و مدیریت حقوق و دستمزد به‌طور خودکار انجام می شود. این سیستم‌ها با استفاده از تحلیل داده‌ها می‌توانند پیش‌بینی کنند که کدام کارکنان احتمالاً بهتر عمل خواهند کرد و در نتیجه، می‌توانند به سازمان در تصمیم‌گیری‌های کلیدی کمک کنند (۲۰۲۴)Choi & Lee,

مزایای هوشمندسازی شامل افزایش بهره‌وری، کاهش هزینه‌ها، بهبود دقت و سرعت در انجام فرآیندها، و ارتقای کیفیت محصولات و خدمات است .Yuan et al(۲۰۲۲)در نتیجه، سازمان‌ها می‌توانند منابع خود را به‌طور مؤثرتری مدیریت کرده و به بازارهای رقابتی پاسخ دهند.

با این حال، چالش‌های هوشمندسازی نیز شامل نگرانی‌ها در مورد امنیت داده‌ها، احتمال از دست دادن شغل‌های سنتی به‌دلیل اتوماسیون و پیچیدگی‌های پیاده سازی فناوری‌های نوین است .Smith et al(۲۰۲۱) علاوه بر این، برای بهره‌برداری کامل از پتانسیل هوشمندسازی، سازمان‌ها نیاز به آموزش و توسعه مهارت‌های جدید برای کارکنان دارند.

در ایران نیز تحقیقات جدیدی در زمینه هوشمند سازی انجام شده است. محمودی و همکاران (۱۴۰۲) در مطالعه‌ای به بررسی تأثیر استفاده از سیستم‌های هوشمند در سازمان‌های ایرانی پرداخته و نشان دادند که هوشمندسازی می‌تواند به بهبود رضایت شغلی کارکنان و افزایش بهره‌وری در سازمان‌ها کمک کند. همچنین، حسینی و همکاران (۱۴۰۱) در تحقیقی دیگر، به تحلیل تأثیر اتوماسیون و فناوری‌های نوین در صنایع ایرانی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که این فناوری‌ها می‌توانند به‌طور قابل توجهی موجب کاهش هزینه‌ها و بهبود کیفیت تولید شوند.

عدم انجام هوشمندسازی در سازمان‌ها در سطح جهانی : به دلایل مختلفی برمی‌گردد که می‌تواند بر روند تحول دیجیتال در این سازمان‌ها تأثیر منفی بگذارد. یکی از عمده‌ترین دلایل، هزینه‌های بالای پیاده‌سازی این فناوری‌ها است. خرید نرم‌افزارهای پیچیده، نصب سخت‌افزارهای پیشرفته و هزینه‌های آموزش نیروی انسانی برای استفاده از این فناوری‌ها، برای بسیاری از سازمان‌ها به ویژه شرکت‌های کوچک و متوسط، چالش‌برانگیز است .,Nguyen et al(۲۰۲۲) این هزینه‌ها ممکن است برای سازمان‌ها به ویژه در دوران بحران‌های اقتصادی یا زمانی که منابع مالی محدود است، غیرقابل تحمل باشد.

مقاومت در برابر تغییرات نیز یکی دیگر از دلایل اصلی است. بسیاری از سازمان‌ها به دلیل داشتن ساختارهای سنتی و عدم آمادگی برای پذیرش فناوری‌های نوین، در برابر فرآیندهای هوشمندسازی مقاومت می‌کنند. این مقاومت معمولاً از سوی کارکنان و حتی مدیران ارشد سازمان‌ها به دلیل نگرانی از تغییرات عمده در نحوه انجام کارها و از دست دادن کنترل بر روی فرآیندهای سازمانی بروز می‌کند .Smith et al(۲۰۲۱) به‌علاوه، برخی از سازمان‌ها نگرانی‌هایی درباره حفظ شغل‌ها و جایگاه‌های مدیریتی خود در اثر اتوماسیون و جایگزینی نیروی انسانی با ماشین‌آلات و سیستم‌های هوشمند دارند.

نگرانی‌های امنیتی در مورد داده‌ها و تهدیدات سایبری از دیگر چالش‌ها است. سازمان‌ها به‌ویژه در صنایع حساس، نگران حفاظت از داده‌ها و اطلاعات خود در برابر هکرها و حملات سایبری هستند. بسیاری از فناوری‌های هوشمند نیازمند اتصال به اینترنت و اشتراک‌گذاری داده‌ها هستند که این امر می‌تواند ریسک‌های امنیتی را افزایش دهد. این نگرانی‌ها موجب می‌شود برخی سازمان‌ها از به‌کارگیری فناوری‌های پیشرفته خودداری کنند .Kuo et al(۲۰۲۳) علاوه بر این، مشکلات قانونی و حریم خصوصی نیز می‌تواند موانع بزرگی در برابر پذیرش هوشمند سازی با شد، زیرا بسیاری از کشورها هنوز زیر ساخت‌های حقوقی مناسبی برای حمایت از داده‌ها و حفاظت از حریم خصوصی نداشته‌اند.

کمبود مهارت‌های لازم در نیروی کار یکی دیگر از مشکلات بزرگ است. بسیاری از سازمان‌ها برای بهره‌برداری کامل از فناوری‌های هوشمند نیاز به نیروی کار ماهر و آموزش‌دیده دارند. این نیاز به آموزش‌ها و مهارت‌های خاص در زمینه‌هایی همچون داده‌کاوی، تحلیل داده‌ها و مدیریت سیستم‌های هوش مصنوعی می‌تواند برای بسیاری از سازمان‌ها چالش‌برانگیز باشد ,Lee & Chen ۲۰۲۳) بسیاری از کارکنان ممکن است از پذیرش این فناوری‌ها ترس داشته باشند یا مهارت‌های لازم را نداشته باشند، که این می‌تواند موجب کندی فرآیند هوشمندسازی شود.

عدم وجود زیر ساخت‌های مناسب در بسیاری از کشورها و سازمان‌ها نیز از دیگر دلایل عدم پذیرش هوشمند سازی است. در کشورهای در حال توسعه و حتی در بعضی از سازمان‌های کشورهای توسعه‌یافته، زیرساخت‌های فناوری اطلاعات به‌ویژه در زمینه اتصال اینترنتی، سرورها و ظرفیت پردازشی، هنوز قادر به پشتیبانی از سیستم‌های پیچیده هوشمند نیستند ,.Yuan et al) ۲۰۲۲ .(این کمبود زیرساخت‌ها باعث می‌شود که سازمان‌ها قادر به بهره‌برداری کامل از پتانسیل فناوری‌های هوشمند نباشند.

چالش‌های فرهنگی و سازمانی نیز می‌تواند مانع از پذیرش فناوری‌های نوین شود. در برخی از سازمان‌ها، ساختارهای مدیریت قدیمی و فرهنگ سازمانی بسته، اجازه نمی‌دهد تا فرآیندهای نوآورانه و هوشمندسازی به‌طور مؤثر پیاده‌سازی شوند. این مشکلات فرهنگی معمولاً ناشی از نگرش‌های محافظه‌کارانه و مقاومت در برابر تغییر است که در بسیاری از سازمان‌های بزرگ و دولتی مشاهده می‌شود ,.Hosseini et al(۲۰۲۱.)

در نهایت، دشواری در یکپارچه‌سازی سیستم‌های مختلف در سازمان‌ها و هماهنگ‌سازی میان فناوری‌های مختلف نیز از موانع مهم است. در سازمان‌هایی که سیستم‌های مختلفی برای مدیریت منابع انسانی، مالی، تولید و ارتباطات دارند، یکپارچه‌سازی این سیستم‌ها و هماهنگ کردن آن‌ها با سیستم‌های هوشمند می‌تواند پیچیده و زمان‌بر باشد. این چالش‌ها ممکن است سازمان‌ها را از به‌کارگیری فناوری‌های نوین منصرف کند.

مشکلات مالی و اولویت ندادن به سرمایه‌گذاری در پروژه‌های فناوری نیز از دیگر دلایل عدم اجرای هوشمندسازی است. بسیاری از سازمان‌ها، به‌ویژه در شرایط اقتصادی دشوار، ممکن است ترجیح دهند منابع مالی خود را صرف امور فوری‌تر کنند تا اینکه به پیاده‌سازی فناوری‌های پیچیده و هزینه‌بر پرداخته و به تأخیر در بهره‌برداری از این سیستم‌ها برسند.

عدم اجرای هوشمند سازی در سازمان‌های دولتی ایران : به دلایل مختلفی مرتبط با مسائل اقتصادی، فرهنگی، ساختاری و فنی برمی‌گردد. یکی از اصلی‌ترین دلایل، محدودیت‌های بودجه‌ای است. سازمان‌های دولتی معمولاً با بودجه‌های محدود و وابسته به منابع دولتی مواجه هستند. هزینه‌های بالای پیاده‌سازی فناوری‌های هوشمند از جمله خرید نرم‌افزارهای پیچیده، سخت‌افزارهای پیشرفته، و هزینه‌های آموزش نیروی انسانی، برای این سازمان‌ها یک چالش جدی به شمار می‌رود (محمودی و همکاران، ۱۴۰۲). این هزینه‌ها ممکن است باعث شود که سازمان‌ها ترجیح دهند از سرمایه‌گذاری در پروژه‌های هوشمندسازی صرف‌نظر کنند و منابع خود را در پروژه‌های دیگر هزینه کنند.

مقاومت فرهنگی و سازمانی یکی دیگر از دلایل اساسی عدم هوشمندسازی در سازمان‌های دولتی است. در بسیاری از سازمان‌های دولتی ایران، فرهنگ مدیریتی محافظه‌کارانه‌ای وجود دارد که باعث می شود تغییرات تکنولوژیک به کندی پذیرفته شوند. مدیران و کارکنان معمولاً به دلیل ترس از تغییرات و عدم آگاهی کافی نسبت به فواید هوشمندسازی، مقاومت می‌کنند (صادقی و همکاران، ۱۳۹۹). این مقاومت در برابر تغییر می‌تواند به‌ویژه در سازمان‌های دولتی که ساختارهای پیچیده و سلسله‌مراتبی دارند، شدیدتر باشد.

کمبود نیروی انسانی متخصص در زمینه فناوری‌های نوین یکی دیگر از موانع اصلی است. برای پیاده‌سازی سیستم‌های هوشمند، سازمان‌ها نیاز به نیروی انسانی ماهر و آموزش‌دیده دارند که بتواند این فناوری‌ها را به‌طور مؤثر مدیریت و بهره‌برداری کند. با این حال، در بسیاری از سازمان‌های دولتی ایران، کارکنان فاقد مهارت‌های لازم در زمینه فناوری اطلاعات و ارتباطات (ICT) و هوش مصنوعی هستند (رضائیان، ۱۴۰۱). این کمبود مهارت‌ها موجب می‌شود که سازمان‌ها نتوانند به‌طور مؤثر از ظرفیت‌های هوشمندسازی بهره‌برداری کنند.

محدودیت‌های زیرساختی نیز یکی از دلایل عمده‌ای است که سازمان‌های دولتی ایران در فرآیند هوشمندسازی با آن مواجه‌اند. بسیاری از این سازمان‌ها هنوز از زیرساخت‌های قدیمی و ناکارآمد استفاده می‌کنند که نمی‌تواند نیازهای فناوری‌های نوین را پشتیبانی کند. به‌ویژه در مناطق دورافتاده و شهرهای کوچک‌تر، مشکلاتی مانند سرعت پایین اینترنت، مشکلات در اتصال شبکه‌ها و محدودیت در دسترسی به منابع فناورانه پیشرفته، اجرای موفقیت‌آمیز پروژه‌های هوشمندسازی را دشوار می‌کند (حسینی و همکاران، (۱۴۰۰)

عدم یکپارچگی سیستم‌های موجود در سازمان‌های دولتی ایران نیز چالش دیگری است که مانع از هوشمندسازی می‌شود. بسیاری از این سازمان‌ها از سیستم‌های مختلفی برای مدیریت امور مختلف خود استفاده می‌کنند که این سیستم‌ها با یکدیگر هم‌خوانی ندارند. به همین دلیل، هماهنگی و یکپارچه سازی این سیستم‌ها با فناوری‌های هوشمند دشوار است و ممکن است هزینه‌بر و زمان‌بر باشد (جعفری و همکاران، ۱۳۹۸).

چالش‌های قانونی و نظارتی در ایران نیز مانع از پیشرفت هوشمندسازی در سازمان‌های دولتی است. قوانین و مقررات قدیمی که بر اساس شیوه‌های سنتی مدیریت دولتی تنظیم شده‌اند، اغلب با فناوری‌های نوین و نیازهای دیجیتال هماهنگ نیستند. تغییر قوانین و مقررات برای تطبیق با روندهای هوشمندسازی نیازمند زمان و اراده سیاسی است (محمودی و همکاران، ۱۴۰۲). علاوه بر این، نگرانی‌های امنیتی در مورد حفاظت از اطلاعات شخصی و حساس دولت و شهروندان نیز باعث می‌شود که برخی از سازمان‌های دولتی از پیاده‌سازی سیستم‌های هوشمند که ممکن است تهدیدات امنیتی ایجاد کند، خودداری کنند.

وابستگی به ساختارهای سنتی و عدم اعتماد به سیستم‌های دیجیتال، از دیگر عواملی است که مانع از پیاده‌سازی هوشمندسازی در سازمان‌های دولتی ایران می شود. بسیاری از مسئولان دولتی هنوز به شیوه‌های قدیمی مدیریت و نظارت بر سازمان‌ها اعتقاد دارند و از پذیرش فناوری‌های نوین برای نظارت و ارزیابی عملکرد پرهیز می‌کنند. این دیدگاه سنتی به‌ویژه در ادارات و سازمان‌های دولتی که به دلیل گستردگی ساختار خود نیاز به نظارت دقیق دارند، رواج دارد (رضائیان، ۱۴۰۱).

عدم هماهنگی بین بخش‌های مختلف دولت نیز یکی دیگر از چالش‌ها است. در بسیاری از موارد، بخش‌های مختلف دولت از طرح‌ها و پروژه‌های هوشمندسازی خود به‌طور جداگانه اقدام می‌کنند و این امر موجب می‌شود که پیاده‌سازی سیستم‌های هوشمند در سطح کشوری به شکل یکپارچه و هماهنگ صورت نگیرد. عدم وجود یک استراتژی جامع و ملی برای هوشمندسازی در دولت‌های مختلف، سبب کندی فرآیند تحولی در این زمینه می‌شود (حسینی و همکاران، ۱۴۰۰)

در مجموع، ترکیب مشکلات اقتصادی، فرهنگی، فنی و ساختاری باعث شده است که هوشمندسازی در سازمان‌های دولتی ایران با چالش‌های زیادی روبرو با شد. با این حال، با توجه به اهمیت این فرآیند برای افزایش بهره‌وری و کاهش هزینه‌ها، نیاز ا ست که به این مشکلات توجه شده و راهکارهای عملی برای رفع موانع آن‌ها ارائه گردد.

در دنیا، بسیاری از سازمان‌ها به استفاده از فناوری‌های هوشمند برای بهبود کارایی و افزایش رضایت شغلی کارکنان خود پرداخته‌اند. در ادامه، پنج سازمان موفق که هوشمندسازی موجب افزایش رضایت شغلی کارکنان آن‌ها شده است، به‌طور جزئی معرفی شده است:

۱ .گوگل(Google)

گوگل یکی از پیشروترین شرکت‌ها در به‌کارگیری فناوری‌های هو شمند در محیط کار ا ست. این شرکت از ابزارهای پیشرفته‌ای مانند هوش مصنوعی و یادگیری ماشین برای تحلیل داده‌های کارکنان و بهبود محیط کار استفاده می‌کند. گوگل از سیستم‌های هوشمند برای مدیریت منابع انسانی، ارزیابی عملکرد، و پیش‌بینی نیازهای آموزشی کارکنان بهره می‌برد. این فناوری‌ها به کارکنان کمک می‌کنند تا به‌طور دقیق‌تری مسیر شغلی خود را مدیریت کنند و احساس کنترل بیشتری بر زندگی شغلی خود داشته با شند. همچنین، گوگل با ا ستفاده از فناوری‌های نوین به کارکنان خود امکانات گسترده‌ای برای افزایش راحتی و ر ضایت شغلی ارائه می‌دهد، مانند محیط‌های کاری انعطاف‌پذیر و ابزارهای همکاری آنلاین پیشرفته که موجب تسهیل ارتباطات و تعاملات در سازمان می‌شود (Pichai, ۲۰۲۱).

۲ .مایکروسافت(Microsoft)

مایکروسافت با استفاده از ابزارهای هوشمند مانندMicrosoft Viva ، یک پلتفرم هوشمند برای مدیریت تجربیات کارکنان، موفق به بهبود ر ضایت شغلی شده ا ست. این پلتفرم به کارکنان امکان می‌دهد تا از ویژگی‌های هو شمند مانند تحلیل داده‌های سلامت روانی، ارزیابی وضعیت روحی، و شفاف‌سازی اهداف حرفه‌ای بهره‌مند شوند. علاوه بر این، مایکروسافت از فناوری‌های تحلیل داده‌های بزرگ برای نظارت بر بازخوردهای کارکنان و پیگیری پیشرفت‌های آن‌ها استفاده می‌کند، که موجب بهبود عملکرد و افزایش احساس مشارکت و رضایت شغلی در میان کارکنان شده است (Satya, ۲۰۲۰).

۳ .آی‌بی‌ام(IBM)

آی‌بی‌ام از هوش مصنوعی و یادگیری ماشین برای بهبود رضایت شغلی و بهره‌وری کارکنان استفاده کرده است. یکی از پروژه‌های برجسته این شرکت استفاده از فناوری‌های هوشمند برای طراحی برنامه‌های یادگیری شخصی است. این برنامه‌ها به کارکنان اجازه می‌دهند که مهارت‌های خود را بر ا ساس نیازهای شغلی و اهداف شخصی شان تو سعه دهند. به‌علاوه، آی‌بی‌ام از هوش مصنوعی برای تحلیل داده‌های کارکنان و پیش‌بینی مسیرهای شغلی مناسب برای هر فرد استفاده می‌کند. این سیستم‌ها موجب شده‌اند که کارکنان احساس کنند که در حال رشد و توسعه هستند و از فرصت‌های بهتری برای پیشرفت برخوردارند، که این امر به‌طور مستقیم به رضایت شغلی آن‌ها افزوده است (Rometty, ۲۰۱۹).

Zappos.۴

شرکت Zappos که به دلیل سیستم مدیریتی خاص خود شناخته شده ا ست، از فناوری‌های هو شمند برای بهبود ارتباطات داخلی و مدیریت تجربه کارکنان بهره می‌برد Zappos .از سیستم‌های هوشمند برای نظارت و بهبود فرهنگ سازمانی، ارتقاء

م شارکت کارکنان، و تحلیل ر ضایت شغلی ا ستفاده می‌کند. یکی از ویژگی‌های منح صر به‌فرد Zappos ا ستفاده از پلتفرم‌های مبتنی بر داده برای دریافت بازخورد و ایجاد ف ضایی برای ارتقاء ر ضایت شغلی کارکنان ا ست. این شرکت با ارائه ف ضاهای کاری انعطاف‌پذیر و ا ستفاده از فناوری‌های نوین برای مدیریت فرآیندهای شغلی، تواند سته ا ست تجربه شغلی مثبت‌تری برای کارکنان خود ایجاد کند (Hsieh, ۲۰۱۰).

۵. Cisco Systems

شرکت Cisco از فناوری‌های هوشمند برای بهبود کیفیت زندگی کاری و افزایش رضایت شغلی کارکنان خود استفاده کرده است. این شرکت با استفاده از ابزارهایی مانند Cisco WebEx و Collaboration Tools، فضای کاری منعطف‌تری ایجاد کرده است که به کارکنان امکان می‌دهد تا از راه دور و به‌صورت مؤثرتر با همکاران خود ارتباط برقرار کنند. همچنین، Cisco از سیستم‌های هوشمند برای شفاف‌سازی اهداف سازمانی و مدیریت عملکرد کارکنان بهره می‌برد. این ابزارها به کارکنان کمک می‌کنند تا راحت‌تر اهداف خود را پیگیری کنند و در نتیجه حس کنترل و رضایت بیشتری در محیط کار تجربه کنند. علاوه بر این، استفاده از هوش مصنوعی برای تحلیل داده‌ها و پیش‌بینی نیازهای کارکنان، موجب شده است که این شرکت بتواند برنامه‌های توسعه شغلی و آموزش مناسبی برای کارکنان خود طراحی کند (Chambers, ۲۰۱۵).

جدول شماره ۱-رضایتمندی کارکنان قبل و بعد از پیاده سازی هوشمندسازی

شرکت	رضایت شغلی قبل از هوشمندسازی	رضایت شغلی بعد از هوشمندسازی	توضیحات
گوگل	۷۰٪	۹۰٪	گوگل با استفاده از ابزارهای هوشمند در مدیریت منابع انسانی، سیستم‌های ارتباطی، و محیط کار انعطاف پذیر باعث افزایش رضایت شغلی کارکنان شده است.
مایکروسافت	۶۵٪	۸۵٪	مایکروسافت با استفاده از هوش مصنوعی و سیستم‌های مدیریت پروژه‌های دیجیتال رضایت شغلی کارکنان را بهبود داده است.
آی‌بی‌ام	۶۰٪	۸۰٪	آی‌بی‌ام با پیاده‌سازی ابزار های هوشمند برای مدیریت عملکرد و تحلیل داده‌ها توانسته است رضایت شغلی کارکنان خود را به طور چشمگیری افزایش دهد.
Zappos	۷۵٪	۸۸٪	Zapposاز فناوری‌های هوشمند برای افزایش تعامل کارکنان و ارتقاء فرهنگ سازمانی استفاده کرده است که منجر به افزایش رضایت شغلی کارکنان شده است.
Cisco	۷۲٪	۸۵٪	Ciscoبا استفاده از سیستم‌های مدیریت منابع انسانی دیجیتال و توسعه فرهنگ کاری هوشمند، رضایت شغلی کارکنان را به طور قابل توجهی افزایش داده است.

در ایران نیز برخی از سازمان‌ها، نهادها و ادارات به استفاده از فناوری‌های هوشمند پرداخته‌اند که این موضوع موجب افزایش رضایت شغلی کارکنان آن‌ها شده است. در ادامه، پنج سازمان و نهاد موفق در ایران که هوشمند سازی موجب رضایت شغلی کارکنان آن‌ها شده است، به تفصیل معرفی شده‌اند:

۱. شرکت ایرانسل

ایرانسل به عنوان یکی از بزرگ‌ترین شرکت‌های ارائه‌دهنده خدمات تلفن همراه و اینترنت در ایران، از فناوری‌های هوشمند برای بهبود تجربه کاری و رضایت شغلی کارکنان خود استفاده کرده است. این شرکت از ابزارهایی مانند سیستم‌های مدیریت منابع

انسانی هوشمند، تحلیل داده‌ها، و نرم‌افزارهای موبایلی برای تسهیل فرآیندهای کاری بهره می‌برد. علاوه بر این، ایرانسل با استفاده از پلتفرم‌های دیجیتال، کارمندان را در جریان آخرین اخبار سازمانی قرار داده و ارتباطات داخلی را تسهیل کرده است. این اقدامات به افزایش شفافیت و بهره‌وری در محیط کار کمک کرده و موجب افزایش رضایت شغلی کارکنان می‌شود (ایرانسل، ۱۴۰۱).

۲. بانک ملت

بانک ملت یکی از بانک‌های پیشرو در ایران است که برای بهبود عملکرد و رضایت شغلی کارکنان خود از فناوری‌های نوین استفاده کرده است. این بانک از سیستم‌های هوشمند برای مدیریت ارتباط با مشتریان (CRM)، فرآیندهای بانکی خودکار و تجزیه و تحلیل داده‌ها بهره می‌برد. استفاده از سیستم‌های هوش مصنوعی برای تحلیل داده‌های مشتریان و تسهیل فرآیندهای بانکی باعث کاهش حجم کارهای تکراری و افزایش سرعت عملکرد کارکنان شده است. این به کارکنان این امکان را می‌دهد که بر روی وظایف ارزش‌افزوده تمرکز کنند و احساس رضایت بیشتری از کار خود داشته باشند (بانک ملت، ۱۴۰۰).

۳. شرکت ملی نفت ایران

شرکت ملی نفت ایران به عنوان یکی از بزرگ‌ترین شرکت‌های دولتی در ایران، در زمینه استفاده از فناوری‌های هوشمند برای مدیریت منابع و عملیات خود اقدامات قابل توجهی انجام داده است. این شرکت از سیستم‌های هوش مصنوعی و داده‌کاوی برای بهینه‌سازی فرآیندهای تولید و کاهش هزینه‌ها استفاده کرده است. استفاده از سیستم‌های مدیریت هوشمند منابع و تجهیزات در صنایع نفت و گاز به کارکنان این امکان را می‌دهد که با کارآمدتر و مؤثرتر عمل کنند. این تغییرات موجب افزایش احساس مشارکت و رضایت شغلی در میان کارکنان شده است (شرکت ملی نفت ایران، ۱۴۰۱).

۴. وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی

وزارت بهداشت با استفاده از فناوری‌های هوشمند در سیستم‌های مدیریتی و مراقبتی خود، توانسته است به بهبود کیفیت زندگی کاری کارکنان خود کمک کند. این وزارتخانه از سیستم‌های مدیریت اطلاعات بیمارستانی (HIS) و سیستم‌های هوشمند برای تسهیل کارهای اداری و پزشکی استفاده می‌کند. کارکنان به کمک این سیستم‌ها می‌توانند به‌طور مؤثرتری به وظایف خود بپردازند، که این امر باعث افزایش رضایت شغلی و کاهش فشار کاری آن‌ها می‌شود. همچنین، استفاده از سیستم‌های هوشمند در برنامه‌ریزی منابع انسانی و ارزیابی عملکرد، باعث بهبود شرایط کاری کارکنان و تسهیل در تصمیم‌گیری‌های مدیریتی می‌شود (وزارت بهداشت، ۱۴۰۰).

۵. شرکت فرودگاه‌های ایران

شرکت فرودگاه‌های ایران با استفاده از فناوری‌های هوشمند در زمینه‌های مختلف مانند مدیریت عملیات پرواز، امنیت، و ارتباطات داخلی، توانسته است به بهبود شرایط کاری کارکنان خود کمک کند. این شرکت از سیستم‌های هوشمند برای مدیریت داده‌های پرواز، تحلیل ترافیک مسافران، و مدیریت منابع انسانی استفاده می‌کند. علاوه بر این، کارکنان فرودگاه از طریق پلتفرم‌های دیجیتال و نرم‌افزارهای موبایلی به اطلاعات به‌روز و تسهیلات کاری دسترسی دارند که این امر موجب افزایش رضایت شغلی و کاهش استرس‌های مرتبط با کارهای پیچیده و زمان‌بر می‌شود (شرکت فرودگاه‌های ایران، ۱۳۹۹).

جدول شماره ۲- رضایتمندی شغلی کارکنان قبل و بعد از هوشمندسازی

شرکت	رضایت شغلی قبل از هوشمندسازی	رضایت شغلی بعد از هوشمندسازی	توضیحات
مخابرات ایران	۶۰٪	۸۰٪	مخابرات ایران با بهکارگیری سیستمهای هوشمند برای مدیریت منابع انسانی، ارتباطات داخلی و خدمات آنلاین، موجب بهبود رضایت شغلی کارکنان شده است.
ایران‌خودرو	۶۵٪	۸۵٪	ایران‌خودرو با استفاده از اتوماسیون و هوش مصنوعی در فرآیندهای تولید و منابع انسانی، رضایت شغلی کارکنان خود را بهبود داده است.
بانک ملی ایران	۵۵٪	۷۵٪	بانک ملی ایران با پیادهسازی سیستمهای دیجیتال برای پردازش سریعتر درخواستها و تعامل بهتر با مشتریان، موجب افزایش رضایت شغلی کارکنان شده است.
شرکت ملی نفت ایران	۷۰٪	۸۵٪	شرکت ملی نفت ایران با استفاده از سیستمهای مدیریت پروژه های دیجیتال و اتوماسیون فرآیندها، کارایی و رضایت شغلی کارکنان را افزایش داده است.
شرکت پارس‌خودرو	۶۰٪	۸۰٪	پارس‌خودرو با هوشمندسازی در بخش های تولید و ارتباطات داخلی، بهبود شرایط کاری و رضایت شغلی کارکنان را فراهم کرده است.

راهبرد هوشمندسازی در راستای رضایتمندی کارکنان به مجموعهای از اقدامات و فناوریهایی اشاره دارد که با هدف بهبود تجربه کاری، افزایش بهرهوری، کاهش استرسهای شغلی، و فراهم کردن محیطی کارآمد و انعطافپذیر برای کارکنان طراحی شده است. در این راستا، فناوریهای هوشمند بهطور ویژه در فرآیندهای مدیریت منابع انسانی، ارتباطات داخلی، آموزش و توسعه حرفهای، و بهبود شرایط کاری کارکنان به کار گرفته می شوند. بهطور کلی، راهبرد هوشمند سازی در راستای رضایتمندی کارکنان میتواند در چندین حوزه مختلف به شرح زیر پیادهسازی شود:

۱. بهبود فرآیندهای ارتباطی

هوشمندسازی به سازمانها کمک میکند تا ارتباطات داخلی را سریعتر، شفافتر، و مؤثرتر کنند. استفاده از ابزارهای ارتباطی دیجیتال، چتباتها، و سیستمهای همکاری آنلاین موجب تسهیل فرآیندهای ارتباطی میان کارکنان و مدیران میشود. این امر باعث میشود که

کارکنان احساس کنند که می‌توانند به راحتی با یکدیگر و با مدیران خود ارتباط برقرار کنند و از تصمیمات و تغییرات سازمانی به‌موقع مطلع شوند. در نتیجه، این شفافیت و تعامل بهتر می‌تواند موجب افزایش رضایت شغلی کارکنان شود (Mehralian et al., ۲۰۲۰).

۲. ارتقای آموزش و توسعه حرفه‌ای

یکی از مهم‌ترین جنبه‌های هوشمندسازی در جهت رضایتمندی کارکنان، استفاده از سیستم‌های یادگیری دیجیتال و پلتفرم‌های آموزشی هوشمند است. این سیستم‌ها به کارکنان این امکان را می‌دهند که به‌راحتی مهارت‌های جدید یاد بگیرند و در مسیر پیشرفت شغلی خود گام بردارند. سیستم‌های یادگیری تطبیقی که با استفاده از داده‌ها و هوش مصنوعی طراحی می شوند، محتوای آموزشی مناسب را بر اساس نیازهای فردی هر کارکن ارائه می‌دهند. این نوع آموزش‌های شخصی‌شده، احساس ارزشمندی و انگیزه بیشتری در کارکنان ایجاد می‌کند و در نتیجه موجب افزایش رضایت شغلی آن‌ها می‌شود (Sparrow, ۲۰۱۹).

۳. مدیریت عملکرد به‌وسیله داده‌ها

استفاده از فناوری‌های هوشمند مانند تحلیل داده‌ها، هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در فرآیند ارزیابی عملکرد کارکنان، می‌تواند به مدیران کمک کند تا به‌صورت دقیق‌تری عملکرد افراد را ارزیابی کنند. این سیستم‌ها می‌توانند داده‌های مرتبط با عملکرد، رفتار، و حتی احساسات کارکنان را جمع‌آوری کرده و به مدیران گزارشی جامع از وضعیت کارکنان ارائه دهند. بر اساس این اطلاعات، مدیران می‌توانند بازخوردهای مؤثری به کارکنان ارائه دهند و برنامه‌های آموزشی و پیشرفت شغلی مناسبی برای آن‌ها ترتیب دهند که این امر به رضایت شغلی و احساس ارزشمندی کارکنان منجر خواهد شد (Mocciaro Li Destri et al., ۲۰۲۱).

۴. ایجاد محیط کاری انعطاف‌پذیر

هوشمند سازی سازمان‌ها به کمک فناوری‌های دیجیتال و ابزارهای آنلاین، امکان ایجاد محیط‌های کاری انعطاف‌پذیر را فراهم می‌کند. کارکنان می‌توانند از راه دور کار کنند، زمان‌بندی خود را بهتر مدیریت کنند، و حتی از مکان‌های مختلف به سیستم‌های سازمانی دسترسی پیدا کنند. این سطح از انعطاف‌پذیری در انجام وظایف کاری به کارکنان کمک می‌کند تا تعادل بهتری میان زندگی شخصی و حرفه‌ای خود برقرار کنند و در نتیجه رضایت شغلی آن‌ها افزایش یابد (Deloitte, ۲۰۲۰).

۵. تسهیل در فرآیندهای اداری

استفاده از سیستم‌های هوشمند در تسهیل فرآیندهای اداری، مانند مدیریت زمان، درخواست‌های مرخصی، پرداخت حقوق و دستمزد، و مدیریت منابع انسانی، موجب کاهش پیچیدگی‌های روزمره و بار کاری اضافی برای کارکنان می‌شود. این امر کارکنان را قادر می‌سازد تا بر روی وظایف اصلی خود تمرکز کنند و از زمان‌های خود بهتر استفاده کنند. همچنین، اتوماسیون فرآیندها موجب می‌شود که کارکنان درگیر کارهای تکراری و زمان‌بر نشوند و در نتیجه، رضایت شغلی آن‌ها افزایش می‌یابد (Brynjolfsson & McAfee, ۲۰۱۴).

۶. سلامت روان و بهبود رفاه کارکنان

هوشمندسازی می‌تواند در راستای سلامت روانی و رفاه کارکنان نیز مؤثر واقع شود. برخی از سازمان‌ها از سیستم‌های هوشمند برای نظارت بر سلامت روانی کارکنان استفاده می‌کنند. این سیستم‌ها می‌توانند با تحلیل داده‌ها و بازخوردهای کارکنان، وضعیت روانی آن‌ها را شناسایی کرده و برنامه‌های پشتیبانی و مشاوره را به‌طور دقیق‌تری ارائه دهند. همچنین، ابزارهای هوشمند به مدیران این امکان را

می‌دهند که از راه دور سلامت روانی و جسمانی کارکنان را زیر نظر داشته باشند و به‌موقع اقداماتی برای کاهش استرس و ارتقای رفاه کارکنان انجام دهند (Harter et al., ۲۰۱۹).

۷. ایجاد انگیزه و ارتقاء فرهنگ سازمانی

یکی از ویژگی‌های مهم هوشمندسازی این است که می‌تواند به ارتقای فرهنگ سازمانی کمک کند. از طریق سیستم‌های هوشمند، سازمان‌ها می‌توانند تشویق‌ها و پاداش‌های شخصی‌شده برای کارکنان ایجاد کنند. این پاداش‌ها می‌توانند بر اساس عملکرد یا دستاوردهای خاص کارکنان در پروژه‌ها و وظایف مختلف باشند. وقتی کارکنان احساس کنند که برای تلاش‌های خود ارزش‌گذاری می‌شوند، انگیزه آن‌ها برای انجام بهتر کارها و افزایش رضایت شغلی بالا می‌رود (Aguinis, ۲۰۱۹).

در نهایت اینکه راهبرد هوشمندسازی در راستای رضایتمندی کارکنان به‌طور کلی بهبود محیط کاری، تسهیل فرآیندهای کاری، ایجاد فرصت‌های رشد فردی، و کاهش استرس‌های شغلی را هدف قرار می‌دهد. استفاده از فناوری‌های هوشمند، به‌ویژه در زمینه‌های مدیریت منابع انسانی، ارتباطات داخلی، و توسعه حرفه‌ای، می‌تواند باعث ایجاد فضایی مثبت، شفاف، و انگیزه‌بخش در سازمان‌ها شود که در نهایت موجب افزایش رضایت شغلی کارکنان و ارتقای عملکرد کلی سازمان خواهد شد.

اجرای هوشمندسازی در سازمان‌ها و نهادهای ایرانی

می‌تواند مزایا و عوامل ایجابی بسیاری به همراه داشته باشد که در نهایت منجر به افزایش رضایتمندی کارکنان شود. این عوامل ایجابی شامل موارد مختلفی هستند که به بهبود کارایی، بهره‌وری، و شرایط کاری کارکنان کمک می‌کنند. در ادامه به برخی از مهم‌ترین این عوامل اشاره می‌کنیم:

۱. افزایش کارایی و بهره‌وری

هوشمندسازی سازمان‌ها به کارکنان کمک می‌کند تا وظایف خود را سریع‌تر و با دقت بیشتری انجام دهند. استفاده از ابزارهای هوشمند برای مدیریت پروژه‌ها، اتوماسیون فرآیندها، و بهینه‌سازی منابع می‌تواند موجب کاهش بار کاری اضافی و کاهش اشتباهات انسانی شود. این امر باعث افزایش کارایی کارکنان و رضایت شغلی آن‌ها خواهد شد (Chung & Lee, ۲۰۲۰).

۲. ارتقای شرایط کاری و محیط کار

با پیاده‌سازی فناوری‌های هوشمند، سازمان‌ها می‌توانند شرایط کاری بهتری برای کارکنان فراهم کنند. به عنوان مثال، فراهم کردن دسترسی به ابزارهای آنلاین و سیستم‌های هوشمند می‌تواند باعث تسهیل ارتباطات داخلی، مدیریت بهتر زمان و بهبود شرایط کاری از نظر انعطاف‌پذیری شود. این تغییرات می‌توانند منجر به کاهش استرس و فشارهای شغلی و در نتیجه افزایش رضایت شغلی کارکنان شوند (Boughzala & De Oliveira, ۲۰۱۸).

۳. آسان‌تر شدن دسترسی به اطلاعات

هوشمندسازی سازمان‌ها امکان دسترسی سریع‌تر و آسان‌تر به اطلاعات و داده‌ها را برای کارکنان فراهم می‌کند. این امر می‌تواند فرآیند تصمیم‌گیری را تسریع کرده و باعث افزایش حس کنترل و اعتماد به نفس در کارکنان شود. دسترسی به اطلاعات صحیح و به‌موقع موجب می شود که کارکنان بتوانند عملکرد بهتری داشته باشند و احساس کنند که در تصمیم‌گیری‌های سازمان نقش مؤثری دارند (Shen & Chang, ۲۰۲۰).

۴. افزایش شفافیت در فرآیندهای کاری

با پیاده‌سازی سیستم‌های هوشمند، شفافیت بیشتری در فرآیندهای سازمانی ایجاد می‌شود. این امر باعث کاهش ابهام در مورد مسئولیت‌ها و وظایف کارکنان می‌شود و کارکنان را از وضعیت خود آگاه‌تر می‌سازد. شفافیت در فرآیندها موجب ایجاد احساس عدالت و اطمینان در کارکنان خواهد شد، که در نهایت منجر به افزایش رضایت شغلی آن‌ها می‌شود (Huang, ۲۰۱۹).

۵. تسهیل تصمیم‌گیری و مشارکت کارکنان

در سازمان‌های هوشمند، کارکنان به داده‌ها و ابزارهای تحلیلی دسترسی دارند که به آن‌ها کمک می‌کند تا تصمیمات بهتری اتخاذ کنند. این ابزارها به کارکنان این امکان را می‌دهند که در فرآیندهای تصمیم‌گیری مشارکت داشته باشند و نظرات خود را به اشتراک بگذارند. این امر باعث می‌شود کارکنان احساس کنند که نقش مهمی در سازمان دارند و از این رو رضایت شغلی آن‌ها افزایش می‌یابد (Agarwal & Narain, ۲۰۲۰).

۶. بهبود روابط کاری و همکاری تیمی

با پیاده سازی ابزارهای هوشمند مانند پلتفرم‌های همکاری آنلاین، ارتباطات بین کارکنان و تیم‌ها بهبود می‌یابد. این ابزارها به کارکنان اجازه می‌دهند که به راحتی با یکدیگر همکاری کنند، اطلاعات را به اشتراک بگذارند و به‌طور مؤثرتری با هم کار کنند. همکاری بهتر بین کارکنان و بهبود روابط کاری می‌تواند باعث افزایش حس تعلق و رضایت شغلی در سازمان شود (O'Leary & Mortensen, ۲۰۲۱).

۷. فرصت‌های آموزش و توسعه فردی

هوشمندسازی سازمان‌ها می‌تواند فرصت‌های جدیدی برای آموزش و توسعه فردی کارکنان فراهم کند. سیستم‌های هوشمند می‌توانند برنامه‌های آموزشی و دوره‌های آنلاین را به کارکنان پیشنهاد دهند و همچنین بازخوردهای به‌موقع برای ارتقاء مهارت‌ها و قابلیت‌ها فراهم کنند. این امر موجب افزایش انگیزه و احساس رشد در کارکنان خواهد شد که به افزایش رضایت شغلی آن‌ها کمک می‌کند (Hargis & McKenna, ۲۰۱۸).

۸. بهبود تعادل کار و زندگی

استفاده از ابزارهای هوشمند می‌تواند باعث ایجاد تعادل بهتر بین کار و زندگی کارکنان شود. به عنوان مثال، کارکنان می‌توانند از راه‌حل‌های دیجیتال برای انجام کارهای خود از راه دور استفاده کنند و انعطاف‌پذیری بیشتری در ساعات کاری خود داشته باشند. این نوع انعطاف‌پذیری می‌تواند منجر به کاهش فشارهای ناشی از تعهدات شغلی و بهبود رضایت کلی کارکنان از شرایط کاری شود (Müller & Schaufeli, ۲۰۲۰).

۹. افزایش امنیت شغلی و حرفه‌ای

پیاده‌سازی فناوری‌های هوشمند در سازمان‌ها می‌تواند به افزایش امنیت شغلی کارکنان منجر شود. به‌طور مثال، سیستم‌های هوشمند می‌توانند موجب بهبود فرآیندهای ارزیابی عملکرد، مدیریت منابع انسانی و شفافیت در تخصیص منابع شوند که در نهایت موجب احساس امنیت بیشتر کارکنان در محیط کار خواهد شد (Riley & Slack, ۲۰۲۰).

۱۰. افزایش انگیزه و مشارکت

هوشمندسازی می‌تواند با ایجاد فرصت‌های شغلی جدید و بهبود روندها در سازمان‌ها، انگیزه کارکنان را افزایش دهد. استفاده از تکنولوژی‌های جدید می‌تواند فرصت‌های جدیدی برای پیشرفت شغلی و مشارکت در پروژه‌های مهم سازمانی فراهم کند که منجر به احساس مشارکت و ارزشمندی در کارکنان می‌شود (Baker, ۲۰۱۹).

در مجموع، پیاده‌سازی هوشمندسازی در سازمان‌ها می‌تواند تأثیرات مثبتی بر رضایت شغلی کارکنان داشته باشد. این تغییرات نه تنها موجب افزایش کارایی و بهره‌وری می‌شود، بلکه فرصتی برای رشد فردی، بهبود شرایط کاری و افزایش شفافیت در سازمان فراهم می‌آورد. با این حال، برای تحقق این مزایا، سازمان‌ها باید به‌طور مؤثر به آموزش، حمایت و تقویت فرهنگ سازمانی هوشمند توجه کنند.

نتیجه‌گیری

در نتیجه، هوشمندسازی سازمان‌ها می‌تواند تأثیر چشمگیری بر رضایت شغلی کارکنان داشته باشد و بهره‌وری را افزایش دهد. با استفاده از فناوری‌های پیشرفته، شفافیت فرآیندها، بهبود شرایط کاری و کاهش فشارهای شغلی امکان‌پذیر می‌شود. با این حال، برای دستیابی به نتایج مطلوب، توجه به زیرساخت‌ها، آموزش کارکنان و مدیریت مؤثر تغییر ضروری است. در نهایت، پیاده‌سازی موفق هوشمندسازی نیازمند تعهد و حمایت مستمر از سوی مدیران است و راهکارهای زیر در راستای آن می باشد:

۱. ارائه دوره‌های آموزشی مستمر و تخصصی

برای تسهیل فرآیند پذیرش هوشمندسازی، پیشنهاد می‌شود که سازمان‌ها دوره‌های آموزشی منظم و تخصصی برای کارکنان خود برگزار کنند. این دوره‌ها باید شامل آموزش‌های کاربردی برای استفاده از نرم‌افزارها، سیستم‌های هوشمند و ابزارهای دیجیتال باشند تا کارکنان با اطمینان خاطر به این تکنولوژی‌ها روی آورند. آموزش باید علاوه بر جنبه‌های فنی، به افزایش آگاهی کارکنان درباره مزایای هوشمندسازی برای آن‌ها و سازمان نیز پرداخته شود (Boughzala & De Oliveira, ۲۰۱۸).

۲. ایجاد تیم‌های تخصصی برای مدیریت تغییر

هوشمندسازی نیازمند تغییرات عمده در ساختار و فرآیندهای سازمانی است که ممکن است با مقاومت‌هایی از سوی کارکنان روبه‌رو شود. به همین دلیل، پیشنهاد می‌شود که سازمان‌ها تیم‌های تخصصی برای مدیریت تغییر ایجاد کنند. این تیم‌ها باید مسئول برنامه‌ریزی، هماهنگی و نظارت بر روند پیاده‌سازی هوشمندسازی باشند و با انجام جلسات مشاوره‌ای و هم‌اندیشی، دغدغه‌ها و نگرانی‌های کارکنان را برطرف کنند (Agarwal & Narain, ۲۰۲۰).

۳. تقویت زیرساخت‌های فناوری

برای موفقیت در پیاده‌سازی هوشمندسازی، ضروری است که زیرساخت‌های فناوری اطلاعات سازمان به‌روز و کافی باشند. پیشنهاد می‌شود که سازمان‌ها بر روی ارتقای زیرساخت‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری خود سرمایه‌گذاری کنند و اطمینان حاصل کنند که سیستم‌های دیجیتال قادر به پشتیبانی از فرآیندهای جدید و افزایش حجم داده‌ها هستند (Chung & Lee, ۲۰۲۰).

۴. توسعه فرهنگ سازمانی مبتنی بر نوآوری و دیجیتال

برای ایجاد پذیرش بیشتر در کارکنان، ضروری است که سازمان‌ها فرهنگ سازمانی خود را به سمت نوآوری و دیجیتال سوق دهند. پیشنهاد می‌شود که سازمان‌ها بر ایجاد محیطی حمایتی و تشویقی برای پذیرش تکنولوژی‌های جدید تمرکز کنند و کارکنان را به‌طور فعال در فرآیندهای هوشمندسازی مشارکت دهند (Shen & Chang, ۲۰۲۰).

۵. تعیین و تخصیص منابع مالی مناسب

یکی از موانع عمده در پیاده‌سازی هوشمندسازی، کمبود منابع مالی است. به همین دلیل، پیشنهاد می‌شود که سازمان‌ها منابع مالی لازم برای خرید نرم‌افزارها و تجهیزات مورد نیاز را پیش‌بینی کنند و بودجه‌ای مشخص برای ارتقای سیستم‌های هوشمند و آموزش کارکنان اختصاص دهند (Hargis & McKenna, ۲۰۱۸).

۶. تشویق به نوآوری و مشارکت کارکنان در فرآیندهای هوشمندسازی

برای بهره‌برداری کامل از ظرفیت‌های هوشمندسازی، پیشنهاد می‌شود که سازمان‌ها فضایی را فراهم کنند که کارکنان بتوانند به‌طور مستقیم در فرآیندهای نوآوری و بهبود سیستم‌های هوشمند مشارکت کنند. سازمان‌ها می‌توانند ایده‌های کارکنان را از طریق کارگاه‌ها، جلسات یا پلتفرم‌های آنلاین جمع‌آوری کرده و به آن‌ها فرصت دهند تا در طراحی و بهینه‌سازی فرآیندهای هوشمند نقش داشته باشند (Baker, ۲۰۱۹).

۷. پایش و ارزیابی مستمر فرآیندهای هوشمندسازی

برای اطمینان از موفقیت در پیاده‌سازی هوشمندسازی و تأثیر مثبت آن بر رضایت شغلی کارکنان، پیشنهاد می‌شود که سازمان‌ها یک سیستم پایش و ارزیابی مستمر برای سنجش تأثیرات هوشمندسازی بر عملکرد و رضایت شغلی کارکنان راه‌اندازی کنند. این ارزیابی‌ها باید شامل نظرسنجی‌های دوره‌ای، بررسی عملکرد سیستم‌ها و دریافت بازخوردهای کارکنان باشد (Müller & Schaufeli, ۲۰۲۰).

۸. افزایش امنیت داده‌ها و حفظ حریم خصوصی کارکنان

یکی از نگرانی‌های مهم در فرآیند هوشمندسازی، حفاظت از اطلاعات و حریم خصوصی کارکنان است. پیشنهاد می‌شود که سازمان‌ها به‌طور جدی به امنیت داده‌ها و حفاظت از حریم خصوصی کارکنان توجه کنند. برای این منظور، باید سیستم‌های امنیتی پیشرفته و پروتکل‌های حفاظتی برای جلوگیری از نفوذ به داده‌های حساس طراحی و پیاده‌سازی شوند (O'Leary & Mortensen, ۲۰۲۱).

۹. ایجاد سیستم‌های پشتیبانی و مشاوره برای کارکنان

برای اینکه کارکنان بتوانند به‌طور مؤثر از فناوری‌های جدید استفاده کنند، باید پشتیبانی فنی و مشاوره‌ای مناسبی در اختیار آن‌ها قرار گیرد. سازمان‌ها می‌توانند تیم‌های پشتیبانی فنی ایجاد کنند تا در مواقع نیاز، به کارکنان کمک کنند و مشکلات فنی را حل کنند. این تیم‌ها می‌توانند شامل کارشناسان فنی، مشاوران IT و متخصصان حوزه‌های مختلف باشند (Huang, ۲۰۱۹).

۱۰. مشارکت در شبکه‌های علمی و تحقیقاتی

برای بهره‌برداری بهینه از تکنولوژی‌های هوشمند، پیشنهاد می‌شود که سازمان‌ها در شبکه‌های علمی و تحقیقاتی بین‌المللی مشارکت کنند. این مشارکت‌ها می‌تواند به آن‌ها کمک کند تا از آخرین دستاوردهای علمی و تجربیات سازمان‌های موفق در سایر کشورها بهره‌برداری کنند و بهترین شیوه‌های جهانی را در سازمان خود پیاده‌سازی نمایند (Riley & Slack, ۲۰۲۰).

منابع:

[1]ایرانسل. (۱۴۰۱). گزارش سالانه ایرانسل در زمینه بهبود تجربه مشتری و کارکنان .ایرانسل دات کام.

[2]بانک ملت. (۱۴۰۰). گزارش استفاده از فناوری‌های نوین در بانک ملت .وب‌سایت بانک ملت.

[3]شرکت ملی نفت ایران. (۱۴۰۱). تحولات هوشمندسازی در صنعت نفت .گزارش عملکرد شرکت ملی نفت ایران.

[4]وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی. (۱۴۰۰). تحلیل کاربرد سیستم‌های هوشمند در بهبود فرآیندهای پزشکی و اداری . گزارش وزارت بهداشت.

[5]شرکت فرودگاه‌های ایران. (۱۳۹۹). تحول دیجیتال در شرکت فرودگاه‌های ایران .گزارش سالانه شرکت فرودگاه‌های ایران.

[6]صادقی، ح.، و همکاران. (۱۳۹۹). موانع پیاده‌سازی فناوری‌های هوشمند در سازمان‌های دولتی ایران .فصلنامه مدیریت فناوری، ۱۲(3)، ۴۵-۵۶.

[7]رضائیان، .A. (1401)چالش‌ها و موانع هوشمندسازی در سازمان‌های دولتی ایران .مجله مدیریت دولتی، ۲۳(1)، ۸۷-۱۰۱.

[8]حسینی، ف.، و همکاران. (۱۴۰۰). محدودیت‌های زیرساختی در پیاده‌سازی هوشمندسازی در ایران .نشریه فناوری و مدیریت، ۱۵(2)، ۵۸-۷۱.

[9]جعفری، م.، و همکاران. (۱۳۹۸). یکپارچگی سیستم‌ها و چالش‌های آن در سازمان‌های دولتی .مجله تحقیقات مدیریتی، ۱۴(4)، ۱۱۲-۱۲۳.

[10]محمودی، م.، و همکاران. (۱۴۰۲). مشکلات فرهنگی و ساختاری در پذیرش هوشمندسازی در سازمان‌های دولتی ایران .نشریه مدیریت منابع انسانی، ۱۷(3)، ۷۶-۸۹.

[11]خدادادی، م.، و همکاران. (۱۳۹۹). تأثیر سیستم‌های هوشمند مدیریت منابع انسانی بر رضایت شغلی کارکنان .نشریه تحقیقات مدیریت منابع انسانی، ۱۵(3)، ۴۵-۵۶.

[12]کاظمی، ف.، و همکاران. (۱۴۰۱). تأثیر اتوماسیون و فناوری‌های نوین بر رضایت شغلی کارکنان در سازمان‌های ایرانی .مجله مدیریت و فناوری، ۹(2)، ۱۱۲-۱۲۵.

[13]نیک‌خواه، ر.، و همکاران. (۱۴۰۰). بررسی تأثیر فناوری‌های هوشمند بر انگیزش و رضایت شغلی کارکنان .فصلنامه پژوهش‌های مدیریت، ۲۰(4)، ۳۴-۴۹.

[15].Mahmoudi, A., & et al. (1402)تأثیر هوشمندسازی در رضایت شغلی کارکنان .مجله مدیریت منابع انسانی، ۱۷(3)، ۴۵-۵۹.

[16]Hosseini, M., & et al. (1401)تأثیر فناوری‌های نوین در صنایع ایران .فصلنامه تکنولوژی و صنعت، ۱۲(4)، ۱۱۲-۱۲۵.

[17]- Azimi, M. (2023). The impact of smart technologies on workplace productivity. Journal of Business Technology, 45(2), 134-145.

- [18] Baker, J., & Duffy, A. (2022). Smart systems and employee satisfaction: A comprehensive study. Human Resource Management Review, 30(4), 321-335.
- [19] Choi, H. (2023). Workplace innovation and employee engagement through automation. International Journal of HRM, 16(1), 55-67.
- [20] Lee, K., & Park, S. (2021). Technology-driven organizational change and employee performance. Journal of Business Research, 42(3), 89-102.
- [21] Lopez, A., & Zhang, X. (2024). Automation and job satisfaction: The new frontier. Journal of Organizational Behavior, 35(2), 102-118.
- [22] Nguyen, T., & Kim, J. (2022). Reducing stress and increasing job satisfaction through intelligent systems. International Journal of Work and Stress, 28(1), 75-88.

- [23] Smith, R., & Johnson, M. (2021). Artificial intelligence in the workplace: A solution for employee engagement. Journal of AI and Management, 18(3), 203-215.
- [24] Wang, L., & Liu, Y. (2024). Future trends in workplace automation and employee well-being. Technological Innovations in HR, 9(4), 145-160.
- [25] Ghani, M., & Hussain, M. (2023). Artificial Intelligence in Business and Technology: Transforming the Future. Oxford University Press.
- [26] Kuo, Y., Chen, S., & Lee, Y. (2023). IoT and Automation: Enabling Smart Industries and Smart Cities. Springer.
- [27]Zhao, W., & Wang, J. (2023). Big Data and AI in Business Analytics. Wiley.
- [28] Hosseini, S., Azimi, M., & Jafari, A. (2021). Data Analytics and Artificial Intelligence in Business Decision-Making. Cambridge University Press.
- [29]Lee, C., & Chen, L. (2023). Automation in Business: RPA and Beyond. Elsevier.
- [30] Smith, R., Zhou, X., & Liu, F. (2021). The Role of Smart Technology in Everyday Life. Routledge.
- [31] Yuan, Y., Wang, D., & Zhao, H. (2022). Smart Manufacturing and AI Systems: Future Challenges and Opportunities. Taylor & Francis.
- [32] Choi, J., & Lee, K. (2024). Intelligent Human Resource Management: New Frontiers in Employee Management. Springer.
- [33] Nguyen, T., & et al. (2022). Barriers to smart technology adoption in organizations. Journal of Business Technology, 45(2), 134-145.
- [34] Smith, R., Zhou, X., & Liu, F. (2021). Organizational resistance to digital transformation. Journal of Organizational Behavior, 34(3), 221-235.
- [35] Kuo, Y., Chen, S., & Lee, Y. (2023). Challenges in implementing smart technologies. International Journal of Smart Systems, 15(4), 89-102.
- [36] Lee, C., & Chen, L. (2023). Overcoming challenges in automation and AI implementation. Journal of Business and Technology, 19(1), 45-60.
- [37] Yuan, Y., Wang, D., & Zhao, H. (2022). Challenges in smart manufacturing and AI systems. Manufacturing Review, 10(2), 67-80.
- [38] Hosseini, M., Azimi, M., & Jafari, A. (2021). Barriers in the adoption of AI and automation. Journal of Industry and Innovation, 8(3), 101-112
- [39] Pichai, S. (2021). Google: Leading the future of work with AI and employee experience. Harvard Business Review.
- [40] Satya, N. (2020). Microsoft’s approach to employee well-being. Microsoft Annual Report.
- [41] Rometty, G. (2019). IBM's AI-powered workforce transformation. IBM Journal of Technology.
- [42] Hsieh, T. (2010). Delivering happiness: A path to profits, passion, and purpose. Business Plus.
- [43] Chambers, J. (2015). Cisco: Collaboration and innovation at work. Cisco Systems Annual R

KNO-1104-4606

مروری بر کاربردهای هوش مصنوعی در اتاق عمل

مهران کریمیان ریزی[۱] mehrankarimian97@ms.tabrizu.ac.ir
مریم فریور[۲] Farivar.maryam@yahoo.com
[۱] کارشناسی ارشد مهندسی پزشکی، دانشگاه تبریز، ایران
[۲] مربی سازمان آموزش فنی و حرفه ای کشور، شاهین شهر، ایران

چکیده: هوش مصنوعی (AI) در حال تبدیل شدن به یک ابزار نوظهور در پزشکی و اخیراً در اتاق عمل است. تحقیقات موجود عمدتاً بر روی امکانات و انتظارات آینده از هوش مصنوعی در جراحی تمرکز دارند. هدف از این مطالعه ارائه یک مرور سیستماتیک از کاربردهای فعلی هوش مصنوعی برای پشتیبانی از فرآیندهای داخل اتاق عمل است. مقالاتی که کاربردهای هوش مصنوعی در جراحی را توصیف می‌کردند، بررسی شدند. کاربردهای متعددی از هوش مصنوعی در اتاق عمل از جمله پیش‌بینی مدت زمان جراحی، تشخیص ژست‌ها، تشخیص سرطان در حین عمل، تحلیل ویدیویی درون‌عملی، تشخیص گره‌های جراحی و ثبت خودکار استخوان در جراحی ارتوپدی بررسی شدند.کاربردهای فعلی هوش مصنوعی هنوز در مراحل اولیه خود هستند اما پتانسیل زیادی برای بهبود دقت جراحی، ارائه راهنمایی در تصمیم‌گیری، و افزایش ایمنی جراحی دارند. با این حال، ادغام هوش مصنوعی در اتاق عمل با چالش‌های متعددی از جمله مسائل نظارتی، ملاحظات اخلاقی و نیاز به تأیید بالینی روبروست. تحقیقات آینده باید روی اعتبارسنجی بالینی، ملاحظات حقوقی و مسیرهای اجرای هوش مصنوعی در اتاق عمل تمرکز کند.

کلید واژه‌ها: *هوش مصنوعی، یادگیری ماشین، جراحی، اتاق عمل، نوآوری، یادگیری عمیق، شبکه‌های عصبی، بینایی کامپیوتری*

در سال‌های اخیر، استفاده از حسگرها، ویدئوها و دستگاه‌های دیجیتال در اتاق عمل به‌طور چشمگیری افزایش یافته است. این فناوری‌ها مقادیر زیادی داده را در قالب‌های مختلف تولید می‌کنند که اغلب به عنوان "کلان داده" شناخته می‌شود. این داده‌های حجیم را می‌توان از طریق روش‌های محاسباتی تحلیل کرد تا الگوها، روندها و ارتباطات خاص را شناسایی نمود. یکی از چالش‌های پردازش داده‌های جراحی این است که روش‌های سنتی پردازش داده قادر به مدیریت این حجم وسیع از اطلاعات نیستند.

اصطلاح "هوش مصنوعی" برای توصیف مطالعه الگوریتم‌هایی استفاده می‌شود که قادر به یادگیری، پیش‌بینی و انجام وظایف شناختی مانند یادگیری، حل مسئله و تصمیم‌گیری هستند. اخیراً هوش مصنوعی وارد اتاق عمل شده است، که به‌ویژه در محیط‌های پرریسک مانند جراحی حائز اهمیت است. استفاده از سیستم‌های مبتنی بر هوش مصنوعی ممکن است به بهبود دقت جراحی، پشتیبانی از تصمیم‌گیری، پیش‌بینی وضعیت بیمار و نظارت بر روند جراحی کمک کند. این مقاله برخی از کاربردهای فعلی هوش مصنوعی در جراحی را بررسی می‌کند[۱].

۱. پیش‌بینی مدت زمان جراحی

به دلیل چگالی بالا و پیچیدگی داده‌ها در تصاویر ویدئویی جراحی، استخراج اطلاعات برای ارزیابی مدت‌زمان جراحی کار دشواری است. برخی از مطالعات پیشنهاد کرده‌اند که استفاده از داده‌های سنسورهای جراحی ممکن است اطلاعات بهتری را فراهم کند. یکی از روش‌های رایج، استفاده از فیلم‌های ضبط‌شده از جراحی است. این روش بر اساس داده‌های به‌دست‌آمده از ۸۰ جراحی ضبط‌شده طراحی‌شده است که اطلاعات ویدیویی و جراحی را به‌طور هم‌زمان بررسی می‌کند. در این مطالعه، ترکیب داده‌های ویدئویی و اطلاعات جراحی نتایج امیدوارکننده‌ای ارائه داده است[۲].

۲.تشخیص حرکات دست در جراحی

هدف از این مطالعه کاهش خطر آلودگی در طول جراحی‌های استریل بوده است. مطالعه Cho et al. از تکنیک‌های یادگیری ماشین و شبکه عصبی پیچشی (CNN) برای شناسایی حرکات دست جراح استفاده کرده است[۳].

۳. تشخیص سرطان در حین عمل

در طول برداشتن تومور مغزی، تشخیص و حذف تمام سلول‌های سرطانی بسیار مهم اما دشوار است. اگر سلول‌ها به طور کامل برداشته نشوند، بیمار در معرض خطر عود سرطان قرار می‌گیرد. با استفاده از طیف‌سنجی رامان، می‌توان این سلول‌های سرطانی مهاجم را در برخی انواع سرطان مغز تشخیص داد. با این حال، سیگنال رامان توسط نورهای معمولی در اتاق عمل تضعیف می‌شود. تحقیقات نشان داده‌اند که شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANNs) می‌توانند با غلبه بر این مشکل، حساسیت تشخیص را ۱۹٪ و ویژگی را ۷٪ بهبود بخشند[۴].

۴.تحلیل ویدئوهای حین عمل

داده‌های ویدئویی از پروسه‌های لاپاراسکوپی برای آموزش و بهبود کیفیت استفاده می‌شوند. برای کاهش زمان مورد نیاز برای تحلیل و بررسی این ویدئوها، تحقیقاتی انجام شده‌اند که نشان می‌دهند تکنیک‌های بینایی کامپیوتری (CV) و یادگیری ماشین (ML) می‌توانند مراحل مختلف جراحی را با دقت ۸۲٪ تشخیص دهند[۵].

۵. تشخیص گردش کار

هدف بلندمدت توسعه یک برج کنترل جراحی (SCT) است که با استفاده از هوش مصنوعی می‌تواند فرآیندهای مختلف را نظارت و پشتیبانی کند. برای این سیستم، تشخیص گردش کار جراحی و آگاهی از زمینه جراحی ضروری است. تحقیقات اخیر نشان داده‌اند که ترکیب شبکه‌های عصبی کانولوشنال (CNN) و شبکه‌های عصبی بازگشتی (RNN) می‌توانند مراحل مختلف جراحی را با دقت ۸۶٪ تشخیص دهند[۶].

۶.تشخیص و موقعیت‌یابی ابزارها

تشخیص و موقعیت‌یابی ابزارها به دقت تشخیص مراحل جراحی کمک می‌کند. با استفاده از تکنیک‌های یادگیری عمیق، دقت متوسط تشخیص ابزارها ۸۷٪ و دقت موقعیت‌یابی ۸۸٪ گزارش شده است[۷].

۷. تشخیص انسان و تخمین وضعیت بدن

تشخیص موقعیت و تخمین وضعیت بدن افراد در اتاق عمل می‌تواند اطلاعات مفیدی برای بهینه‌سازی گردش کار فراهم کند. تحقیقات نشان داده‌اند که روش‌های یادگیری عمیق بهترین نتایج را در تخمین وضعیت بدن در دو بعد و سه بعد ارائه می‌دهند[۸].

۸. سیستم راهنمایی آندوسکوپی

یک سیستم راهنمایی آندوسکوپی خودکار بر اساس یادگیری ماشین توسعه یافته است که می‌تواند حرکات ابزارهای جراحی را در ویدئوهای ضبط شده تحلیل کند. این سیستم با دقت ۸۹٪ حرکات ابزارهای جراح را پیش‌بینی می‌کند و منجر به کاهش ۲۹,۲٪ در حرکات دوربین و بهبود دید می‌شود. این پیشرفت‌ها نشان می‌دهند که هوش مصنوعی و یادگیری ماشین چگونه می‌توانند دقت و کارایی جراحی‌ها را بهبود بخشند و به بهبود نتایج بیماران کمک کنند. این تصویر به بررسی کاربردهای مختلف هوش مصنوعی (AI) و یادگیری ماشین (ML) در جراحی و اتاق عمل می‌پردازد[۹].

۹.گره‌زنی

در جراحی باز، گره‌زنی بخشی از مهارت‌های پایه و یک فرآیند نسبتاً سریع است، اما در جراحی‌های کم‌تهاجمی مانند لاپاراسکوپی، گره‌زنی ممکن است تا سه دقیقه برای هر گره طول بکشد. مایر و همکارانش سیستمی را بر اساس شبکه‌های عصبی بازگشتی (RNN) برای تسریع گره‌زنی در جراحی رباتیک قلب توصیف کرده‌اند. در این سیستم، جراح یک دنباله (مانند نمونه‌هایی از گره‌زنی انجام‌شده توسط انسان) را به شبکه ارائه می‌دهد و شبکه RNN با حافظه بلندمدت این کار را یاد می‌گیرد. کنترلر از پیش برنامه‌ریزی‌شده قادر بود یک گره را در ۳۳,۷ ثانیه ایجاد کند، در حالی که استفاده از RNN پس از یادگیری از ۵۰ اجرای قبلی، بهبود سرعت تقریباً ۲۵٪ را ارائه داد و گره را در ۲۵,۸ ثانیه ایجاد کرد[۱۰].

۱۰. ثبت و ردیابی خودکار استخوان در جراحی ارتوپدی

در جراحی ارتوپدی با کمک کامپیوتر، ثبت استخوان نقش حیاتی دارد زیرا موقعیت بیمار را نسبت به سیستم جراحی توصیف می‌کند. این کار باعث می‌شود محل جراحی به درستی با برنامه‌ریزی پیش‌عمل هم‌تراز شود. دقت ثبت بر تمام مراحل بعدی جراحی تأثیر می‌گذارد. لیو و همکارانش روش جدیدی برای ثبت و ردیابی خودکار استخوان بر اساس تصویربرداری عمق و یادگیری عمیق توصیف کرده‌اند. در طول جراحی، یک دوربین به طور مکرر تصاویر از استخوان‌های در معرض دید را ثبت می‌کند. با استفاده از این تصاویر،

شبکه‌های عصبی عمیق یاد می‌گیرند که استخوان هدف را پیدا کرده، بخش‌بندی کنند و هندسه سطح آن را استخراج کنند. سپس هندسه سطح استخراج‌شده با یک مدل پیش‌عمل از همان استخوان مقایسه می‌شود تا ثبت انجام شود، که باعث می‌شود مداخله جراحی یا استفاده از نشانگرهای نوری تهاجمی غیرضروری شود. آزمایش‌های خارج از بدن نشان دادند که میانگین خطای انتقالی و چرخشی به ترتیب ۲,۷۴ میلی‌متر و ۶,۶۶ درجه است. با این حال، این دقت‌ها در حال حاضر کمتر از روش‌های ثبت مرسوم مبتنی بر نشانگرهای نوری هستند[۱۱].

۱۱. بحث

نتایج این مطالعه مروری سیستماتیک، مروری بر کاربردهای مختلف هوش مصنوعی در جراحی داخل اتاق عمل ارائه می‌دهد. اکثر کاربردهای هوش مصنوعی نتایج بهتری نسبت به روش‌های غیرهوش مصنوعی نشان داده‌اند. با این حال، مطالعات در محیط‌های مختلفی انجام شده‌اند. این کاربردها نشان‌دهنده علاقه چندرشته‌ای به یافتن موارد استفاده از هوش مصنوعی در اتاق عمل است و نیاز به تحقیقات بالینی بیشتر در محیط‌های کاربری مختلف وجود دارد. بسیاری از مطالعات عملکرد فناورانه قابل توجهی در زمینه هوش مصنوعی نشان داده‌اند، اما تنها تعداد کمی از آن‌ها توانسته‌اند تأثیرات و تغییرات مرتبط را در سیستم‌های بهداشتی فعلی بررسی کنند[۱۲].

با این حال، شرایط سیاسی، نظارتی، سازمانی و بالینی کافی برای توسعه هوش مصنوعی و استفاده اخلاقی از اطلاعات حساس هنوز وجود ندارد و برای اجرای ایمن و پایدار کاربردهای هوش مصنوعی در آینده مورد نیاز است. موانع اضافی برای اجرای گسترده هوش مصنوعی در مراقبت‌های بهداشتی ممکن است شامل عدم آگاهی از موضوع یا راه‌حل‌ها، کمبود دانش کاربر یا اجرا توسط متخصصان پزشکی و پشتیبان‌های محل کار آن‌ها، سوالات حل‌نشده درباره اخلاق یا حریم خصوصی از سوی مدیریت، یا زیرساخت فناوری اطلاعات ناکافی باشد. به احتمال زیاد، ترکیبی از این موانع وجود دارد[۳].

در حالی که هوش مصنوعی، و به ویژه یادگیری ماشین، در جراحی توجه بیشتری را به خود جلب کرده است، به وضوح تنها حوزه پزشکی نیست که در آن استفاده از هوش مصنوعی در حال رشد است. حوزه جراحی ممکن است بتواند از استفاده هوش مصنوعی در سایر حوزه‌های پزشکی یاد بگیرد. به عنوان مثال، در انکولوژی، تحقیقات نشان داده‌اند که کاربردهای هوش مصنوعی می‌توانند در تشخیص سرطان بسیار کمک‌کننده باشند. در کاردیولوژی، تکنیک‌های هوش مصنوعی قادر به خواندن الکتروکاردیوگرام‌ها هستند و با ادغام با سوابق پزشکی الکترونیکی بیماران، نارسایی قلبی به طور زودهنگام تشخیص داده می‌شود که نتیجه آن کاهش مرگ و میر است. در بیهوشی، شبکه‌های عصبی مصنوعی برای نظارت بر عمق بیهوشی استفاده می‌شوند و تکنیک‌های یادگیری ماشین قادر به پیش‌بینی افت فشار خون در طول جراحی هستند. و در طول همه‌گیریCOVID-19 ، کاربردها و مطالعات بیشتری در زمینه هوش مصنوعی آغاز شده‌اند. به عنوان مثال، بیمارستان عمومی دوم گوانگدونگ در کشور چین تشخیص تصویر مبتنی بر هوش مصنوعی را در سیستم کنترل عفونت خود ادغام کزد تا نظارت بلادرنگ و کمک به کاهش خطر عفونت COVID-19 در بیمارستان را فراهم کند. این سیستم نظارتی هدف افزایش حساسیت و دقت تشخیص فوری در اتاق‌های ایزوله با فشار منفی را دارد که کمک خلاقانه‌ای برای مبارزه با شیوع COVID-19است. این کاربرد ممکن است در اتاق عمل نیز برای کاهش خطر عفونت جراحی استفاده شود[۵].

در واقع، هوش مصنوعی در مراقبت‌های بهداشتی نتایج امیدوارکننده و چشمگیری ارائه داده است و حوزه‌ای پربار برای تحقیقات است، همان‌طور که چالن و همکارانش در مقاله مروری خود نتیجه‌گیری کرده‌اند. با این حال، همان‌طور که این مطالعه نشان می‌دهد، هوش مصنوعی در جراحی حوزه‌ای پیچیده و جامع است. سرعت سریع تغییرات، تنوع تکنیک‌های مختلف و چندگانگی پارامترها ، درک دقیق

از دقت این سیستم‌ها در عمل بالینی یا قابلیت تکرارپذیری آن‌ها در محیط‌های مختلف را دشوار می‌کند. یک دیدگاه واقع‌بینانه لازم است که پتانسیل بهبود را در برابر خطر نتایج منفی متعادل کند[۹].

۱۲. نتیجه‌گیری

سیستم‌های هوش مصنوعی در اتاق عمل، اگر به خوبی طراحی شده، به جامعه پزشکی قبولانده شده و مورد تحقیق قرار گیرند، ممکن است آینده‌ای امیدوارکننده در محیط اتاق عمل داشته باشند. ممکن است از تصمیم‌گیری جراحی پشتیبانی کنند، دقت جراحی را بهبود بخشند، نیروی انسانی را کاهش دهند، گردش کار را بهبود بخشند، ایمنی جراحی را افزایش دهند و حتی ممکن است روزی برخی عملکردهای خودکار را انجام دهند. در واقع، کاربرد و اجرای هوش مصنوعی در اتاق عمل هنوز چالش‌های متعددی برای رفع کردن دارد. با این حال، تحقیقات مبتنی بر شواهد که به دانش مربوط به کاربردهای هوش مصنوعی در اتاق عمل می‌افزایند، به سرعت در حال پیشرفت هستند. متخصصان مراقبت‌های بهداشتی باید این واقعیت را بپذیرند که برای بهینه‌سازی شرایط آینده در اتاق عمل و در نهایت کیفیت و ایمنی جراحی، به هوش مصنوعی نیاز داریم. در سال‌های اخیر، استفاده از حسگرها، ویدئوها و دستگاه‌های دیجیتال در اتاق عمل به‌طور چشمگیری افزایش یافته است. این فناوری‌ها مقادیر زیادی داده را در قالب‌های مختلف تولید می‌کنند که اغلب به عنوان "کلان داده" شناخته می‌شود. این داده‌های حجیم را می‌توان از طریق روش‌های محاسباتی تحلیل کرد تا الگوها، روندها و ارتباطات خاص را شناسایی نمود. یکی از چالش‌های پردازش داده‌های جراحی این است که روش‌های سنتی پردازش داده قادر به مدیریت این حجم وسیع از اطلاعات نیستند. اصطلاح "هوش مصنوعی" برای توصیف مطالعه الگوریتم‌هایی استفاده می‌شود که قادر به یادگیری، پیش‌بینی و انجام وظایف شناختی مانند یادگیری، حل مسئله و تصمیم‌گیری هستند. اخیراً هوش مصنوعی وارد اتاق عمل شده است، که به‌ویژه در محیط‌های پرریسک مانند جراحی حائز اهمیت است. استفاده از سیستم‌های مبتنی بر هوش مصنوعی ممکن است به بهبود دقت جراحی، پشتیبانی از تصمیم‌گیری، پیش‌بینی وضعیت بیمار و نظارت بر روند جراحی کمک کند. این مقاله برخی از کاربردهای فعلی هوش مصنوعی در جراحی را بررسی می‌کند.

۱۳.منابع

[1] Al Hajj H, Lamard M, Conze P-H, Cochener B. Quellec G. Monitoring tool usage in surgery videos using boosted convolutional and recurrent neural networks. Med Image Anal. 2018:47:203-218.

[2] Hashimoto DA, Rosman G, Rus D, Meireles OR. Artificial intelligence in surgery: Promises and perils. Ann Surg. 2018; 268(1):70-76. doi:10.1097/sla.0000000000002693

[3] Malpani A, Lea C, Chen CCG, Hager GD. System events: readily accessible features for surgical phase detection. Int J Comput Assist Radiol Surg. 2016;11(6):1201-1209.

[4] Languages OL. Definition of big data. Available from https://www.lexico.com/definition/big_data. accessed July05, 2020.

[5] Alderson D. The future of surgery. BJS. 2019;106(1):9-10. doi:10.1002/bjs.11086

[6] Loftus TJ, Upchurch GR Jr, Bihorac A. Use of artificial intelligence to represent emergent systems and augment surgical secision-making. JAMA Surgery. 2019;154(9): 791-792. doi:10.1001/jamasurg.2019.1510.

[7] Panesar S, Cagle Y, Chander D, Morey J, Femandez- Miranda J. Kliot M. Artificial intelligence and the future of surgical robotics. Ann Surg. 2019;270(2):223-226. doi:10.1097/sla.0000000000003262

[8] Yu K-H, Kohane IS. Framing the challenges of artificial intelligence in medicine. BMJ Qual Saf. 2019;28(3): 238-241. doi: 10.1136/bmjqs-2018-008551

[9] Murdoch TB, Detsky AS. The inevitable application of big data to health care. JAMA. 2013;309(13):1351-1352. doi: 10.1001/jama.2013.393

[10] Russell SJ, Norvig P. Artificial Intelligence: A Modern Approach. Malaysia: Pearson Education Limited; 2016.

[11] Loftus TJ, Tighe PJ, Filiberto AC, et al. Artificial in- telligence and surgical decision-making. JAMA Surg. 2020; 155(2):148-158. doi:10.1001/jamasurg.2019.4917

[12] WHO. Safe. Available from https://www.who.int/patientsafety/ safesurgery/faq_introduction/en/. accessed May 23, 2020.

ارتباط با کهربا

متخصصان و مهندسین گران‌قدر می‌توانند از طریق آدرس سایت مجله www.kahrobaonline.ir سایر اطلاعات مجله ازجمله نحوه ارسال مقالات جهت انتشار در نشریه و نیز فرم اشتراک مجله را دریافت کنند. همچنین به اطلاع می‌رسانیم طی توافق صورت گرفته بین پایگاه علمی‌سیویلیکا و مجله کهربا ازاین‌پس به مقاله برتر هر شماره یک کارت اشتراک رایگان دانلود از این پایگاه هدیه داده می‌شود.

ایمیل مجله kahroba@noandishaan.com پل ارتباطی ما با مهندسین و متخصصین می‌باشد، لطفاً ما را از پیشنهادها و انتقادات ارزشمند خود بهره‌مند سازید. جهت حمایت‌های مالی و معنوی از نشریه و یا معرفی محصولات خود نیز می‌توانید از طریق همین ایمیل با ما در ارتباط باشید.

A study on subway power supply systems

Alireza Mahmoodi Fard* — Visiting Lecturer, National University of Skills-Enghelab-e Eslami Technical and Vocational University, Tehran, Iran, alireza10.m10@gmail.com

Taha Ghafouri — Associate Student, Department of Electrical Engineering, National University of Skills-Enghelab-e Eslami Technical and Vocational University, Tehran, Iran, Taha.Ghafouri.2005@gmail.com

Abstract: This article reviews the electrification systems used in metro railways, emphasizing the different energy supply methods and their operating mechanisms. The electrification systems include overhead line electrification (OLE), third rail system, and on-board energy storage systems (OESS). The OLE system, which is mainly used in high-speed and long-distance rail networks, has higher energy efficiency, reduced greenhouse gas emissions, and lower maintenance costs. The third rail system, which is suitable for urban metro services, has a more compact infrastructure, but faces safety and voltage limitations. On-board energy storage systems, such as advanced batteries and supercapacitors, increase energy efficiency by allowing for brake energy recovery and enable mobility in non-electrical sectors. Hybrid electrification systems optimize costs and energy consumption by combining different energy sources. This article reviews the advantages and limitations of each system and emphasizes their role in the development of sustainable transportation; also, a comparison between direct current (DC) and alternating current (AC) systems is presented and the evolution of electric traction technologies is discussed; finally, the article highlights the importance of technological advances in achieving efficient and environmentally friendly rail systems.

Keywords: Subway, Maglev, Electrification, Train, System, Energy Supply

The impact of solar energy perspective on electricity generation

Alireza Joshan

Master of Science in Electrical Power Engineering,Specialization in Power Electronics and Electric Machines,University of Guilan,Guilan,Iran

Alireza.joshan.guilan@gmail.com

Abstract

In the global energy ecosystem, human progress in the ever-increasing energy production and consumption has created major challenges for energy management and environmental protection. This trend of increasing global energy consumption has led to two major environmental and economic challenges: environmental pollution caused by burning fossil fuels and the increasing need for energy sources. This exposure has provided an incentive for researchers and investors in the field of energy to use renewable and clean resources. Solar energy, as a sustainable and completely renewable energy source, has the ability to attract special attention from researchers and industrialists.

In this article, by reviewing and analyzing recent researches and authoritative articles of the country, the importance of solar energy and the stated benefits of this energy source compared to fossil energies are examined.This article emphasizes the necessity of a detailed and comprehensive study of solar energy and the need to adopt policies based on data and sufficient information in the field of new and sustainable energies. Finally, innovative solutions for connecting to the electric grid using advanced technologies and optimizing solar power transmission and distribution systems are examined.

Keywords: Solar energy, electricity generation, renewable energy sources, sustainability, environmental pollution

Factors causing dispersion in optical fiber and how to compensate

Seyedeh Mahsa Sarai

PhD student in Electrical and Telecommunications Engineering, Shahid Beheshti University Square

Msaraee72@yahoo.com

Abstract: Fiber optic communication networks have become a key technology today and can play an important role in wireless communications in the future. Fiber optic networks are implemented in both analog and digital forms, where the analog form is affected by noise and linearity, and the digital form is affected by dispersion and nonlinearity due to high transmission rates.

For dispersion and nonlinearity, compensation is required, which in this article refers to cases such as DCF, FBG, OPC, etc. For example, DCF has dispersion characteristics opposite to the dispersion of the main link and thus compensates for the effects of dispersion. Or in FBG, due to its periodic structure, it creates a delay in the time it takes to reach the output by reflecting a specific wavelength.

Keywords: Dispersion, Compensation, Optical fiber, Telecommunications

Smart Grid Electricity Distribution: Technologies, Benefits, and Challenges

Mahdi Aref Khiabani

Graduated from Amirkabir University of Technology, Electrical and Electronics,Tehran,Iran

Abstarct:

Smart grids are a new generation of electrical networks that use digital technologies, wireless communications, and the Internet of Things (IoT) to optimize the generation, distribution, and consumption of electrical energy. These networks play an important role in increasing efficiency, reducing energy losses, and improving the reliability and flexibility of the distribution system.In this article, the architecture, main components, technologies used, advantages and challenges of smart distribution networks are reviewed and solutions for its development are presented.

Keywords: Smart grid, energy storage systems, metering equipment, Internet of Things, artificial intelligence, cybersecurity

The impact of smartization on employee job satisfaction

Mohammad Rostami

Lecturer and researcher at Imam Hussein (AS) Guards Officer and Training University
mohammadrostamiy@chmail.ir

Abstract

The smartization of organizations, utilizing advanced technologies such as artificial intelligence, data mining, automation, and cloud systems, is increasingly changing the way organizations work and are more productive. This process can not only improve working conditions and reduce psychological stress, but also increase transparency and facilitate decision-making processes. Global research shows that 70% of organizations that have implemented smart work report that their employees' job satisfaction has increased significantly.

This article examines the effects of smartization on employee job satisfaction in Iranian and international organizations and provides solutions to overcome challenges and optimize the smartization process. The results of this research show that smartization can act as an effective tool to increase efficiency, employee job satisfaction, and the overall success of organizations.

Keywords: Organizational intelligence, employee job satisfaction, advanced technologies, change management, digital transformation

An overview of artificial intelligence applications in the operating room

Mehran Karimian Rizi — Master of Medical Engineering, Tabriz University, Iran, mehrankarimian97@ms.tabrizu.ac.ir

Maryam Farivar — Instructor at the Technical and Vocational Education Organization of the country, Shahin Shahr, Iran, farivar.maryam@yahoo.com

Abstract: Artificial intelligence (AI) is becoming an emerging tool in medicine and more recently in the operating room. Existing research mainly focuses on the possibilities and future expectations of AI in surgery. The aim of this study is to provide a systematic review of current applications of AI to support processes within the operating room. Articles describing applications of AI in surgery were reviewed. Several applications of AI in the operating room were reviewed, including surgery duration prediction, gesture recognition, intraoperative cancer detection, intraoperative video analysis, surgical nodule detection, and automated bone registration in orthopedic surgery. Current applications of AI are still in their early stages but have great potential to improve surgical accuracy, provide guidance in decision-making, and increase surgical safety. However, the integration of AI in the operating room faces several challenges, including regulatory issues, ethical considerations, and the need for clinical approval. Future research should focus on clinical validation, legal considerations, and pathways for implementing AI in the operating room.

Keywords: Artificial Intelligence, Surgery, Operating Room, Innovation, Neural Networks, Computer Vision