



جغرافیا و روابط انسانی، پاییز ۱۴۰۵، دوره ۹ شماره ۳، صص ۱۶-۱

کاهش انرژی مصرفی در شبکه‌های حسگر بی سیم با استفاده از الگوریتم مسیریابی در جمع‌آوری داده به کمک سینک متحرک

سولماز صمدیان کلی^۱، سهیل افراز^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی کامپیوتر، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اردبیل، اردبیل، ایران.

۲- استادیار، مهندسی کامپیوتر، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اردبیل، اردبیل، ایران.

ایمیل نویسنده مسئول: soheilafarz@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۲۴

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۴/۰۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۲۹

چکیده

زمینه و هدف: تحول دیجیتال و گسترش اینترنت اشیا موجب تغییر رویکرد سازمان‌ها نسبت به مدیریت منابع انسانی و حرکت از مدیریت مبتنی بر گزارش‌های دوره‌ای به سمت مدیریت داده‌محور و هوشمند شده است. در این رویکرد، داده‌های مرتبط با کارکنان و محیط کار به صورت مستمر جمع‌آوری و تحلیل شده و می‌توانند مبنایی برای تصمیم‌گیری دقیق‌تر مدیران قرار گیرند. در این میان، شبکه‌های حسگر بی سیم می‌توانند به عنوان زیرساختی برای جمع‌آوری مستمر اطلاعات مرتبط با کارکنان و محیط کار مورد استفاده قرار گرفته شده و امکان پایش شرایط محیطی، حضور و فعالیت کارکنان و وضعیت تجهیزات را فراهم کنند. بدین ترتیب، استفاده از این فناوری‌ها می‌تواند به افزایش سرعت دسترسی به اطلاعات، بهبود نظارت و ارتقای کارایی فرایندهای مدیریت منابع انسانی کمک کند.

روش‌شناسی: با وجود این، محدودیت انرژی گره‌های حسگر و هزینه انتقال داده از مهم‌ترین چالش‌های چنین سامانه‌هایی محسوب می‌شود. پژوهش حاضر با هدف توسعه و بازتعریف یک الگوریتم مسیریابی مبتنی بر سینک متحرک برای کاربرد در مدیریت هوشمند منابع انسانی انجام شده است. مبنای الگوریتم از روش مسیریابی در شبکه‌های حسگر بی سیم گرفته شده است که در آن گره‌ها بر اساس سطح انرژی و چگالی خوشه‌بندی شده و گره دارای انرژی بیشتر به عنوان سرخوشه انتخاب شده و سپس سرخوشه با عملیات جستجو به شناسایی نزدیک‌ترین بخش از مسیر حرکت سینک، داده‌ها را با حداقل فاصله به سینک منتقل می‌کند. این رویکرد در مطالعه مبنا توانسته است مصرف انرژی را در مقایسه با روش‌های مورد مقایسه کاهش دهد. در مقاله حاضر، این سازوکار به محیط سازمانی تعمیم داده شده و داده‌هایی مانند حضور و غیاب، موقعیت کارکنان، تراکم نیروی انسانی، وضعیت محیط کاری و اطلاعات عملیاتی کارکنان به عنوان داده‌های قابل جمع‌آوری در نظر گرفته شده است.

یافته‌ها: یافته‌های پژوهش نشان داد که اینترنت اشیا می‌تواند فناوری‌ها، فعالیت‌ها و نقش‌های منابع انسانی را تحت تأثیر قرار داده و زمینه شکل‌گیری مدیریت هوشمند منابع انسانی را فراهم سازد. همچنین، ترکیب شبکه‌های حسگر بی سیم و سینک متحرک با سامانه‌های مدیریت منابع انسانی می‌تواند ضمن کاهش مصرف انرژی، تداوم و کیفیت دسترسی به داده‌های کارکنان را بهبود بخشیده و زمینه را برای تصمیم‌گیری داده‌محور در مدیریت منابع انسانی فراهم کند.

نتیجه‌گیری: در مجموع، نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که بهره‌گیری از اینترنت اشیا و شبکه‌های حسگر بی سیم، در کنار استفاده از سینک متحرک، می‌تواند بستر مناسبی برای توسعه مدیریت هوشمند و داده‌محور منابع انسانی فراهم سازد. این ترکیب با بهبود نحوه جمع‌آوری و انتقال داده‌ها، کاهش مصرف انرژی و افزایش تداوم دسترسی به اطلاعات، امکان پایش بهتر فرایندهای کاری و اتخاذ تصمیمات دقیق‌تر را برای مدیران فراهم می‌کند. بنابراین، استفاده هدفمند از این فناوری‌ها می‌تواند گامی مؤثر در جهت افزایش کارایی و هوشمندسازی فرایندهای مدیریت منابع انسانی باشد.

کلیدواژه‌ها: شبکه‌های حسگر بی سیم، کاهش انرژی مصرفی، مدیریت هوشمند منابع انسانی، مدیریت داده‌محور، تصمیم‌گیری داده‌محور.

مدیریت منابع انسانی (Strohmeier, S. 2020) در سازمان‌های معاصر از یک فعالیت اداری و اجرایی به یکی از حوزه‌های مهم تصمیم‌گیری راهبردی تبدیل شده است. افزایش حجم داده‌های مربوط به کارکنان، گسترش فناوری‌های دیجیتال و توسعه اینترنت اشیا موجب شده است سازمان‌ها بتوانند اطلاعات مربوط به نیروی انسانی و محیط کار را با سرعت و دقت بیشتری جمع‌آوری کنند. به این منظور، فناوری‌های متصل و اشیای هوشمند می‌توانند داده‌های جدید و مستمری را برای پشتیبانی از فعالیت‌های منابع انسانی فراهم کنند و امکان استفاده گسترده از اطلاعات در فرایندهای مدیریتی را به وجود آورند. اینترنت اشیا با اتصال تجهیزات و اشیای فیزیکی به شبکه، زمینه جمع‌آوری و تبادل داده‌های مرتبط با کارکنان و محیط کار را فراهم می‌کند و از این طریق می‌تواند فناوری‌ها و فعالیت‌های منابع انسانی را تحت تأثیر قرار دهد. علاوه بر این، گسترش کاربرد این فناوری‌ها موجب تغییر در وظایف و مهارت‌های مورد نیاز متخصصان منابع انسانی شده و حرکت از مدیریت سنتی به سمت مدیریت هوشمند و داده‌محور را تقویت می‌کند.

از جهتی دیگر، اینترنت اشیا با اتصال اشیای فیزیکی، تجهیزات و ابزارهای هوشمند به شبکه، امکان جمع‌آوری، انتقال و پردازش مستمر داده‌ها را فراهم می‌کند. این قابلیت می‌تواند در حوزه منابع انسانی برای بهبود فرایندهایی مانند مدیریت کارکنان، برنامه‌ریزی نیروی انسانی، نظارت بر محیط کار و سایر فعالیت‌های مرتبط مورد استفاده قرار گیرد. در واقع، دسترسی به داده‌های جدید و قابل اتکا می‌تواند موجب افزایش سرعت و دقت فرایندهای منابع انسانی و فراهم شدن زمینه تصمیم‌گیری مبتنی بر اطلاعات شود. پژوهش‌های انجام‌شده نیز بر ظرفیت اینترنت اشیا برای بهبود رویه‌های منابع انسانی و تغییر نحوه انجام برخی فعالیت‌های این حوزه تأکید دارند

(Kremer, K. 2022).

یکی از فناوری‌های مناسب برای تحقق این هدف، شبکه‌های حسگر بی‌سیم (WSN) است. شبکه حسگر بی‌سیم مجموعه‌ای از گره‌های کوچک و هوشمند تشکیل شده است که در محیط موردنظر توزیع شده و با استفاده از قابلیت‌های حسگری و ارتباطی خود، اطلاعات مربوط به پدیده یا شرایط محیطی را جمع‌آوری و از طریق ارتباط بی‌سیم به سینک یا ایستگاه جمع‌آوری منتقل می‌کنند. این ویژگی موجب می‌شود شبکه‌های حسگر بی‌سیم بتوانند برای پایش مستمر محیط، جمع‌آوری اطلاعات و انتقال داده در کاربردهای مختلف مورد استفاده قرار گیرند (Rawat et al., 2014). از جهت دیگر، محدودیت منابع گره‌های حسگر، به‌ویژه ظرفیت محدود انرژی، یکی از چالش‌های اساسی این شبکه‌ها محسوب می‌شود، زیرا مصرف بیش از حد انرژی می‌تواند موجب کاهش طول عمر گره‌ها و در نهایت کاهش طول عمر و کارایی کل شبکه شود. به این منظور، طراحی روش‌های مناسب برای مسیریابی و انتقال داده با مصرف انرژی کمتر، نقش مهمی در افزایش پایداری و کارایی شبکه‌های حسگر بی‌سیم دارد. در مقاله مبنا نیز

¹ Wireless Sensor Network

این مسئله مورد توجه قرار گرفته و تلاش شده است با استفاده از سازوکارهای مناسب مسیریابی و انتخاب مسیر انتقال داده، مصرف انرژی گره‌ها کاهش یافته و طول عمر شبکه افزایش یابد.

محدودیت انرژی موجب شده تا طراحی الگوریتم‌ها و پروتکل‌های مسیریابی انرژی اهمیت زیادی پیدا کند. زیرا گره‌های حسگر از منابع انرژی محدودی برخوردار هستند و بخش قابل توجهی از انرژی آن‌ها در فرایند ارتباط و انتقال داده مصرف می‌شود. در چنین شرایطی، انتخاب مسیر مناسب برای انتقال داده می‌تواند نقش مهمی در کاهش مصرف انرژی و جلوگیری از اتمام زودهنگام انرژی گره‌ها داشته باشد. به همین دلیل، پروتکل‌های مسیریابی باید علاوه بر تضمین انتقال مناسب داده‌ها، موجب کاهش انرژی مصرفی گره‌ها و افزایش طول عمر شبکه نیز می‌شود. در حوزه کاهش انرژی مصرفی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم تحقیقات زیادی انجام گرفته شده است. بطور نمونه در پژوهش (Pantazis et al. 2012) نویسندگان نیز مصرف انرژی و افزایش طول عمر شبکه را از مهم‌ترین عوامل طراحی پروتکل‌های مسیریابی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم معرفی کرده و پروتکل‌های مسیریابی داده در جهت کاهش انرژی مصرفی را بر اساس عواملی مانند ساختار شبکه، الگوی ارتباطی، توپولوژی و قابلیت اطمینان مورد بررسی قرار داده‌اند. بنابراین، طراحی الگوریتم‌های مسیریابی با هدف کاهش هزینه انتقال داده و متعادل‌سازی مصرف انرژی می‌تواند نقش اساسی در افزایش پایداری و کارایی شبکه‌های حسگر بی‌سیم داشته باشد.

یکی از راهکارهای مطرح برای کاهش این مشکل، استفاده از سینک متحرک است. در این ساختار، سینک به جای قرار گرفتن در یک نقطه ثابت، در مسیر مشخصی در محدوده شبکه حرکت کرده و در نقاط مناسب، داده‌ها را از گره‌ها یا سرخوشه‌ها دریافت می‌کند. با نزدیک شدن سینک به سرخوشه‌ها، فاصله ارتباطی کاهش یافته و در نتیجه، انرژی کمتری برای انتقال داده مورد نیاز خواهد بود. این رویکرد همچنین می‌تواند از تمرکز بار ارتباطی بر گره‌های خاص جلوگیری کرده و به اتمام انرژی مصرفی گره‌ها در شبکه کمک شایانی کند. پژوهش‌های انجام‌شده در زمینه سینک متحرک نیز نشان می‌دهند که کاهش فاصله انتقال و بهینه‌سازی مسیر حرکت سینک می‌تواند در کاهش مصرف انرژی و افزایش طول عمر شبکه موثر باشد.

این مقاله نیز بر همین ایده استوار بوده و با نزدیک کردن سینک به سرخوشه‌ها، تلاش می‌کند فاصله انتقال داده و در نتیجه هزینه ارتباطی گره‌ها را کاهش دهد. پژوهش حاضر با بهره‌گیری از این ایده، کاربرد الگوریتم سینک متحرک را از محیط متعارف شبکه‌های حسگر بی‌سیم به حوزه مدیریت منابع انسانی گسترش می‌دهد. در این رویکرد، داده‌های مرتبط با کارکنان، مانند حضور و غیاب، موقعیت و تراکم نیروی انسانی، شرایط محیط کاری و برخی اطلاعات عملیاتی، به عنوان داده‌های سازمانی قابل جمع‌آوری از طریق حسگرهای بی‌سیم در نظر گرفته می‌شوند. در ادامه، سینک متحرک با حرکت در مسیر تعیین‌شده و نزدیک شدن به نقاط جمع‌آوری داده، وظیفه دریافت و انتقال کارآمد اطلاعات را بر عهده می‌گیرد. از این منظر، استفاده از سینک متحرک می‌تواند ضمن بهره‌گیری از مزایای شبکه‌های حسگر بی‌سیم، زمینه‌ای برای جمع‌آوری مستمر و کم‌هزینه‌تر داده‌های منابع انسانی و پشتیبانی از تصمیم‌گیری داده‌محور در سازمان فراهم سازد.

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

با گسترش اینترنت اشیا و توسعه سامانه‌های هوشمند، شبکه‌های حسگر بی‌سیم به یکی از فناوری‌های مهم برای جمع‌آوری و انتقال داده در محیط‌های مختلف تبدیل شده‌اند. این شبکه‌ها با استفاده از مجموعه‌ای از گره‌های حسگر، امکان پایش مستمر محیط و انتقال اطلاعات به نقاط جمع‌آوری داده را فراهم می‌کنند و به همین دلیل در طیف گسترده‌ای از کاربردهای هوشمند مورد استفاده قرار گرفته شده است. با این حال، محدودیت منابع انرژی گره‌های حسگر، همچنان یکی از چالش‌های اساسی در بهره‌برداری از این شبکه‌ها محسوب می‌شود و می‌تواند بر طول عمر و پایداری شبکه اثر مستقیم داشته باشد. به این منظور، نحوه مسیریابی و انتقال داده نقش مهمی در مدیریت مصرف انرژی شبکه‌های حسگر بی‌سیم دارد. مطالعات مختلف در این زمینه نشان داده شده است که انتخاب مسیر مناسب، خوشه‌بندی گره‌ها و توزیع متعادل بار ارتباطی می‌تواند از اتمام سریع انرژی گره‌ها جلوگیری کرده و طول عمر شبکه را افزایش دهد. به همین دلیل، بخش قابل توجهی از پژوهش‌های این حوزه بر طراحی و توسعه الگوریتم‌های مسیریابی انرژی‌کارا متمرکز شده است.

یکی از رویکردهای مورد توجه در این زمینه، استفاده از سینک متحرک (Mobile Sink) است. برخلاف ساختارهای رایج که در آن سینک در یک موقعیت ثابت قرار دارد، در این رویکرد سینک می‌تواند در محدوده شبکه حرکت کرده و در نقاط مناسب داده‌ها را از گره‌ها یا سرخوشه‌ها دریافت کند. این جابه‌جایی می‌تواند با کاهش فاصله انتقال و جلوگیری از ایجاد نقاط تمرکز انرژی، به بهبود کارایی شبکه و افزایش طول عمر آن کمک کند.

با وجود توسعه قابل توجه الگوریتم‌های مسیریابی و سینک متحرک، بخش زیادی از مطالعات موجود بر کاربردهای فنی و متعارف شبکه‌های حسگر متمرکز هستند. به همین دلیل، بررسی ظرفیت این فناوری‌ها در حوزه‌های سازمانی و به‌ویژه مدیریت منابع انسانی می‌تواند زمینه جدیدی برای توسعه کاربردهای اینترنت اشیا فراهم کند. در این راستا، پژوهش حاضر با تمرکز بر الگوریتم Mobile Sink، تلاش می‌کند سازوکارهای کاهش مصرف انرژی و انتقال کارآمد داده را از محیط شبکه‌های حسگر به حوزه مدیریت هوشمند منابع انسانی تعمیم دهد. در این چارچوب، داده‌های مرتبط با کارکنان و محیط کار به عنوان داده‌های قابل جمع‌آوری در نظر گرفته شده و امکان بهره‌گیری از زیرساخت‌های حسگری و ارتباطی برای پشتیبانی از تصمیم‌گیری داده‌محور مورد توجه قرار می‌گیرد. در ادامه این بخش پژوهش‌های مورد مطالعه در این زمینه مورد بررسی قرار گرفته شده است. پژوهشگران رویکردهای متنوعی را برای بهینه‌سازی عملیات مسیریابی مطرح کرده‌اند و هر یک از این رویکردها ابعاد متفاوتی از این مسئله را مورد بررسی قرار داده‌اند. در ادامه، چند نمونه از مهم‌ترین مطالعات انجام‌شده در زمینه مسیریابی کارا و کم‌مصرف در شبکه‌های حسگر بی‌سیم مرور می‌شود.

در پژوهش مرتبط (Al-Mahdi, H. et al, 2024)، رویکردی برای مسیریابی داده در شبکه‌های حسگر بی‌سیم ارائه شده است که با بهره‌گیری از سینک‌های سیار (MS)، به دنبال بهبود کارایی مصرف انرژی و ایجاد توازن در

¹ Mobile sink

توزیع انرژی میان گره‌ها است. این روش با استفاده از حرکت کنترل‌شده سینک، ساختاری هوشمند برای جمع‌آوری داده فراهم می‌کند و در نتیجه، پایداری و تعادل مصرف انرژی در توپولوژی شبکه را افزایش می‌دهد.

در یکی از مطالعات اخیر، پژوهشگران (Wang, J., et al.) رویکردی مبتنی بر زمان‌بندی مسیر برای گره‌های چندسینکی ارائه کرده‌اند که هسته اصلی آن یک نسخه بهبودیافته از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات است. در این روش، سطح مورد پوشش شبکه به مجموعه‌ای از شش ضلعی‌های منظم تقسیم می‌شود و برای هر شش ضلعی، نقطه مرکزی به‌عنوان مکان بالقوه توقف سینک سیار در نظر گرفته می‌شود. سپس با بهره‌گیری از یک الگوریتم ترکیبی شامل بهینه‌سازی ازدحام ذرات با سازوکارهای مثبت و منفی، مسیر حرکت سینک‌ها و نقاط استقرار مناسب آنها تعیین و برنامه‌ریزی می‌شود.

در پژوهش (Yadav, R. K., & Mahapatra, R. P. 2021) استفاده از CH^۱ در شبکه‌های حسگر بی‌سیم این امکان را فراهم می‌کند که داده‌های غیرضروری یا خطاهای احتمالی نادیده گرفته شوند و اطلاعات جمع‌آوری‌شده از طریق الگوریتم‌های تجمیع داده به شکل بینش‌های مفید و معنادار مورد استفاده قرار گیرند. الگوریتم‌های خوشه‌بندی موثر با کاهش حجم ترافیک شبکه و بهینه‌سازی ساختار توپولوژی، مصرف انرژی گره‌ها را به میزان قابل توجهی کاهش می‌دهند. به همین دلیل، پروتکل‌های مسیریابی مبتنی بر خوشه‌بندی نه تنها بهره‌وری انرژی را افزایش می‌دهند، بلکه قابلیت مقیاس‌پذیری شبکه و تحویل مطمئن داده‌ها را نیز بهبود می‌بخشند و بدین ترتیب بسیاری از چالش‌های اصلی در طراحی WSN را برطرف می‌کنند.

در یکی از پژوهش‌های برجسته (Ketshabetswe, L. K., et al, 2024)، الگوریتمی برای مسیریابی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم با ساختار چندزنجیره‌ای و توزیع‌شده معرفی شد که بر اساس حسگرهای فشرده طراحی شده بود. این الگوریتم با بهره‌گیری از فرآیندهای تجمیع و فشرده‌سازی داده‌ها، مصرف انرژی را به صورت متعادل مدیریت می‌کرد و در نتیجه طول عمر شبکه به طور قابل توجهی افزایش یافت. همچنین، الگوریتم مذکور انعطاف‌پذیری مناسبی در مواجهه با خرابی گره‌ها نشان داد و استفاده از حسگرهای فشرده در مسیریابی، کارایی شبکه را بهبود بخشید. با این حال، این روش فاقد مکانیزم بهینه‌سازی برای شبکه‌های حسگر سیار بود. یکی از نوآوری‌های کلیدی این تحقیق، تحلیل اثر انتخاب ماتریس ضرایب بر کیفیت داده‌ها بود که منجر به طراحی سبکی با پیچیدگی پایین شد و قابلیت اعمال مؤثر در کاربردهای مختلف WSN را فراهم می‌کرد.

نویسندگان (Strohmeier, S. 2020) Smart HRM به استفاده از فناوری‌های دیجیتال و هوشمند برای تغییر، بهبود و هوشمندسازی فعالیت‌های مدیریت منابع انسانی اشاره دارد. در این رویکرد، فناوری تنها برای خودکارسازی فعالیت‌های اداری مورد استفاده قرار نمی‌گیرد، بلکه با ایجاد قابلیت جمع‌آوری، اتصال، پردازش و تحلیل داده‌ها، زمینه را برای تصمیم‌گیری سریع‌تر و داده‌محور در حوزه منابع انسانی فراهم می‌کند. (Strohmeier, S. 2020) در تبیین مفهوم مدیریت دیجیتال منابع انسانی بیان می‌کند که دیجیتالی‌شدن منابع انسانی مجموعه‌ای از تغییرات مرتبط با فناوری، فرایندها، فعالیت‌های مدیریتی و شیوه تعامل سازمان با کارکنان را دربر می‌گیرد. بنابراین، حرکت از HRM

^۱ Cluster Head

سنتی به سمت Smart HRM را می‌توان بخشی از تحول گسترده سازمان‌ها به سمت ساختارهای داده‌محور و هوشمند دانست.

در این میان، اینترنت اشیا (IoT) یکی از فناوری‌هایی است که می‌تواند نقش مهمی در توسعه Smart HRM ایفا کند (Strohmeier, S. 2020). بر اساس یک مطالعه دلفی با مشارکت ۴۰ متخصص IoT نشان داد که به‌کارگیری اینترنت اشیا در مدیریت منابع انسانی می‌تواند ابتدا فناوری‌های منابع انسانی، شامل سخت‌افزار، نرم‌افزار و داده‌ها، و سپس فعالیت‌ها و وظایف منابع انسانی را تحت تأثیر قرار دهد. این پژوهش همچنین نشان می‌دهد که گسترش IoT می‌تواند وظایف و صلاحیت‌های موردنیاز متخصصان منابع انسانی را نیز تغییر دهد و HRM را به سمت یک ساختار هوشمندتر سوق دهد.

۳. یافته‌های تحقیق

روش کار

در این پژوهش با هدف ایجاد یک سازوکار هوشمند برای جمع‌آوری و انتقال داده‌های منابع انسانی در سازمان‌های هوشمند، یک الگوریتم مسیریابی مبتنی بر سینک متحرک در شبکه‌های حسگر بی‌سیم ارائه شده است. ایده اصلی الگوریتم بر این اساس است که داده‌های مرتبط با کارکنان و محیط سازمان توسط مجموعه‌ای از گره‌های حسگر جمع‌آوری شده و به‌جای ارسال مستقیم داده‌ها از هر گره به یک سینک ثابت، گره‌ها از خوشه‌بندی شده و در هر خوشه گره‌ای با میزان انرژی بالا بعنوان سرخوشه انتخاب می‌شود و انتقال داده از جانب سرخوشه به سینک انجام می‌گیرد. مراحل انجام انتقال داده از گره‌ها به سینک به شرح ذیل می‌باشد:

در مرحله نخست، گره‌های حسگر موجود در محیط سازمان شناسایی و با توجه به موقعیت، تراکم و میزان انرژی آنها در قالب خوشه‌های مختلف سازمان‌دهی می‌شوند. در این مرحله، انرژی باقی‌مانده گره‌ها و تراکم گره‌ها به‌عنوان دو معیار اصلی در فرایند خوشه‌بندی مورد استفاده قرار گرفتند. استفاده هم‌زمان از این دو معیار موجب شده تا ساختار خوشه‌ها فقط بر مبنای فاصله مکانی شکل نگیرد، بلکه وضعیت انرژی و توزیع گره‌ها نیز در نظر گرفته شود. بعد از خوشه‌بندی گره‌ها، در هر خوشه گره‌ای که میزان انرژی بیشتری نسبت به بقیه دارد بعنوان سرخوشه انتخاب می‌شود. در مرحله دوم، گره‌های عضو اطلاعات موردنظر را به سرخوشه ارسال می‌کنند. داده‌های موردنظر در کاربرد منابع انسانی می‌توانند شامل اطلاعات حضور و غیاب، وضعیت حضور کارکنان در واحدهای مختلف، تراکم نیروی انسانی، برخی داده‌های محیطی و سایر اطلاعات عملیاتی باشند. سرخوشه پس از دریافت داده‌ها، آنها را جمع‌بندی کرده و از ارسال جداگانه تمام داده‌های خام جلوگیری می‌کند. در نتیجه، تعداد انتقال‌های بی‌ضروری که می‌تواند منجر به افزایش مصرف انرژی شود کاهش می‌یابد و داده‌ها در قالبی فشرده برای انتقال آماده می‌شوند.

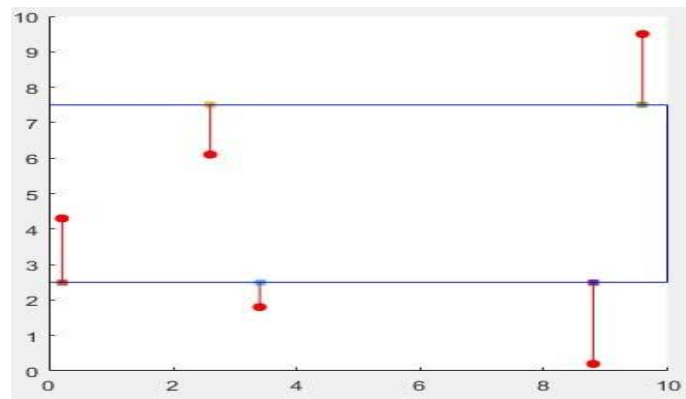
در مرحله سوم، سینک متحرک در یک مسیر از پیش تعیین‌شده در محدوده سازمان حرکت می‌کند. برخلاف معماری‌های مبتنی بر سینک ثابت، سینک در این روش تلاش می‌کند به نواحی مختلف شبکه نزدیک شود و در

¹ Internet of Things

موقعیت‌هایی که فاصله آن با سرخوشه‌ها کمتر است، فرایند دریافت داده را انجام دهد. مسیر حرکت سینک در هر محیط بشرح ذیل می‌باشد:

- مسیر ۱: در این مسیر، نقطه‌ی ورود سینک در مختصات $(0, n/4)$ قرار دارد. سینک پس از ورود به محیط از این نقطه، بدون هیچ‌گونه انحراف، به‌صورت خطی تا مختصات $(n, n/4)$ حرکت می‌کند.
- مسیر ۲: حرکت سینک از $(n, n/4)$ تا $(n, 3n/4)$.
- مسیر ۳: سینک از $(n, 3n/4)$ تا $(0, 3n/4)$.

هر سرخوشه نزدیک‌ترین بخش از مسیر حرکت سینک را شناسایی کرده و داده‌های تجمیع‌شده خود را در زمان مناسب به سینک ارسال می‌کند. بنابراین، مسیر انتقال داده از سرخوشه تا سینک کوتاه‌تر شده و نیاز به ارسال اطلاعات در فواصل طولانی کاهش می‌یابد. بطور نمونه در شکل ۱ هر سرخوشه فاصله خود را با مسیرهای ممکن مقایسه کرده و نزدیک‌ترین مسیر به خود را برای انتقال داده انتخاب می‌کند. برای نمونه، سرخوشه‌ای در مختصات $(0.2, 4.3)$ فاصله خود با مسیر ۱ و مسیر ۲ را می‌سنجد: فاصله با مسیر ۱ برابر ۱٫۸ متر و با مسیر ۲ برابر ۳٫۲ متر است؛ بنابراین مسیر ۱ برای انتقال داده انتخاب می‌شود انتقال داده از هر سرخوشه به سینک نشان داده شده است.



شکل ۱: شمائی از انتقال داده

در مرحله چهارم، سینک متحرک داده‌های جمع‌آوری‌شده را به ایستگاه پردازش یا سامانه مدیریت منابع انسانی منتقل می‌کند. این سامانه می‌تواند داده‌های دریافتی را برای پایش وضعیت کارکنان، تحلیل حضور و غیاب، شناسایی تغییرات تراکم نیروی انسانی، برنامه‌ریزی شیفت‌ها، تخصیص کارکنان به واحدهای مختلف و پشتیبانی از تصمیم‌های مدیریتی مورد استفاده قرار دهد. بنابراین، الگوریتم پیشنهادی تنها یک روش مسیریابی برای کاهش مصرف انرژی نیست، بلکه یک سازوکار ارتباطی برای انتقال داده‌های حاصل از محیط هوشمند سازمان به لایه مدیریت منابع انسانی محسوب می‌شود.

برای ارزیابی عملکرد روش پیشنهادی نیز مجموعه‌ای از شاخص‌های فنی و مدیریتی در نظر گرفته شد. در بعد فنی، میزان مصرف انرژی، طول عمر شبکه، مجموع مسافت انتقال داده، تعداد گره‌های فعال، تاخیر انتقال، میزان موفقیت دریافت داده و پایداری ارتباطات مورد توجه قرار گرفته شده است. در بعد مدیریتی نیز معیارهایی مانند به موقع بودن اطلاعات کارکنان، تداوم دسترسی به داده‌ها، کیفیت داده‌های حضور و غیاب و قابلیت استفاده از اطلاعات برای

تصمیم‌گیری منابع انسانی در نظر گرفته شده است. این رویکرد امکان بررسی هم‌زمان کارایی شبکه و ارزش مدیریتی حاصل از آن را فراهم می‌کند.

یافته‌های پژوهش

یافته‌های پژوهش نشان داد که استفاده از سینک متحرک و انتخاب مسیر بهینه برای انتقال داده، موجب کاهش قابل توجه مسافت ارتباطی و در نتیجه کاهش مصرف انرژی در شبکه حسگر بی‌سیم می‌شود. در حوزه مسیریابی در شبکه‌ها بی‌سیم تحقیقات زیادی انجام گرفته شده است. روش پیشنهادی را با روش‌های EESRA و (Etebari, & Sadeghzadeh, 2024) مورد مقایسه قرار داده شده است که جزئیات آن بشرح ذیل می‌باشد.

برای ارزیابی عملکرد، شبیه‌سازی‌ها در پنج تکرار مجزا انجام شد و در هر تکرار، میزان انرژی مصرفی روش پیشنهادی با دو روش مقایسه‌ای یعنی EESRA و روش ارائه‌شده (Etebari, & Sadeghzadeh, 2024) مورد مقایسه قرار گرفت. اطلاعات اولیه مربوط به پارامترهای شبیه‌سازی در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱. اطلاعات اولیه

ابعاد	۱۰۰*۱۰۰
تعداد گره‌ها	۱۳۵
تعداد دورها	۵
تعداد خوشه‌ها در هر دور	۵

برای ارسال داده با اندازه K بیت در فاصله d ، انرژی مصرفی فرستنده بر اساس روابط ارائه‌شده در مرجع محاسبه می‌شود.

✓ انرژی مصرف شده در انتقال داده برای فضای آزاد:

$$E_{Tx} = K * E_{elec} + K E_{fs} * d^2 \quad \text{if } d < d_0 \quad (۱)$$

✓ انرژی مصرف شده در انتقال داده برای چند مسیری:

$$E_{Tx} = K * E_{elec} + K E_{amp} * d^2 \quad \text{if } d \geq d_0 \quad (۲)$$

✓ برای دریافت پیغام K بیتی، انرژی مصرف شده توسط گیرنده:

$$E_{Rx} = K * E_{elec} \quad (۳)$$

نکته: در صورتی که فاصله بین فرستنده و گیرنده از فاصله آستانه d_0 بزرگ‌تر باشد، مدل انتشار چندمسیری برای محاسبه اتلاف انرژی به کار گرفته می‌شود؛ در غیر این صورت، مدل فضای آزاد مورد استفاده قرار می‌گیرد. پارامترهای

به کاررفته در روابط مربوط به مصرف انرژی، که بر اساس مقالات معتبر به صورت ثابت بوده، در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲. پارامترهای ثابت

E_{elec}	50nj/bit
ξ_{sf}	10pj/bit/m ²
ξ_{amp}	0.0013pj/bit/m ⁴
K	4000 bit

مختصات گره‌ها و سینک در هر سه روش برای دور اول در جدول ۳ آورده شده است.
جدول ۳-۴ مختصات گره‌ها و سینک در روش پیشنهادی، روش (Etebari, & Sadeghzadeh. 2024) و EESRA

جدول ۳. مختصات گره‌ها

(8.6 , 6.8)	سینک
(0.2 , 4.3)	سرخوشه ۱
(2.6 , 6.1)	سرخوشه ۲
(8.8 , 0.2)	سرخوشه ۳
(9.6 , 9.5)	سرخوشه ۴
(3.4 , 1.8)	سرخوشه ۵

نتایج عملکرد میزان مصرف انرژی ۵ دور انتقال داده در روش‌های (Etebari, & Sadeghzadeh. 2024) و EESRA در جدول ۴ آورده شده است.

جدول ۴. نتایج عملکرد میزان مصرف انرژی

دور	EESRA	Etebari, & Sadeghzadeh. 2024	پیشنهادی
۱	100.7492×10^{-5}	100.342×10^{-5}	$100.02 \times 10^{-5}j$
۲	100.594×10^{-5}	$100.226 \times 10^{-5}j$	$100.04 \times 10^{-5}j$
۳	100.9416×10^{-5}	$100.3596 \times 10^{-5}j$	$100.02 \times 10^{-5}j$
۴	$101.0752 \times 10^{-5}j$	$100.3256 \times 10^{-5}j$	$100.03 \times 10^{-5}j$
۵	$100.4924 \times 10^{-5}j$	$100.2376 \times 10^{-5}j$	$100.02 \times 10^{-5}j$

با توجه به اینکه $10^{-5} \times 10$ در همه نتایج بطور ثابت وجود دارد از همه انرژی‌ها این عدد را فاکتور می‌گیریم تا میزان مصرف انرژی در هر دور بین روش‌های (Etebari, & Sadeghzadeh. 2024) و EESRA بهتر دیده شود. اعداد ساده‌سازی شده در جدول ۵ آورده شده است.

جدول ۵ اعداد ساده‌سازی شده

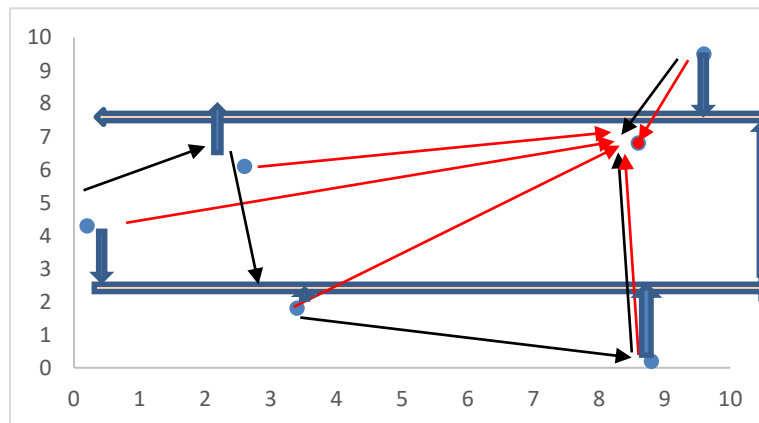
پیشنهادی	(& Etebari, Sadeghzadeh. 2024)	EESRA	دور
0.02j	0.34j	0.74j	۱
0.04j	0.22j	0.59j	۲
0.02j	0.35j	0.94j	۳
0.03j	0.32j	1.07j	۴
0.02j	0.23j	0.49j	۵
0.13j	1.46j	3.83j	مجموع

شکل ۲ نحوه انتقال داده در روش پیشنهادی، روش‌های (Etebari, & Sadeghzadeh. 2024) و EESRA را نشان می‌دهد. در این شکل مسیر انتقال داده اولین دور از ۵ دور را مشاهده می‌کنید. ابتدا محل قرارگیری سرخوشه‌ها و سپس مسیر انتقال داده برای هر سرخوشه در هر روش مشخص شده است. همانطور که در این شکل مشاهده می‌کنید در روش‌های (Etebari, & Sadeghzadeh. 2024) و EESRA سینک به مختصات (6.8 , 8.6) ثابت است که در روش EEARA همه سرخوشه‌ها داده‌ها را مستقیم به سینک ارسال می‌کنند اما در (Etebari, & Sadeghzadeh. 2024) هر سرخوشه داده‌ها را به نزدیکترین سرخوشه ارسال می‌نماید در روش (Etebari, & Sadeghzadeh. 2024) قبل از ارسال داده توسط سرخوشه‌ها کوتاه‌ترین مسیر بین نزدیکترین سرخوشه و سینک برای ارسال داده‌ها انتخاب می‌شود. بدین ترتیب سرخوشه‌ای که در دورترین نقطه از سینک قرار دارد لازم به ارسال داده‌ها در یک مسیر طولانی برای سینک نبوده و با ارسال داده‌ها به نزدیکترین سرخوشه موجب کاهش انرژی مصرفی می‌شود.

سومین مسیریابی، مسیریابی پیشنهادی است که برخلاف دو روش قبلی سینک سیار است و در یک مسیر مشخص شده با سرعت ثابت حرکت کرده و در طول مسیر داده‌ها را از هر سرخوشه دریافت می‌کند. در این شکل ابتدا مسیر حرکت سینک مشخص شده است. مسیر حرکت سینک شامل سه مسیر است که اولین مسیر از نقطه (2.5 , 0) شروع و در نقطه (2.5 , 10) پایان می‌یابد دومین مسیر حرکت سینک از نقطه (2.5 , 10) شروع و در نقطه (7.5 , 10) به پایان می‌رسد سومین مسیر حرکت سینک از نقطه (7.5 , 10) شروع و در نهایت در نقطه (7.5 , 0) به اتمام می‌رسد. سینک در این مسیر ثابت با سرعت ثابت حرکت می‌کند. سپس هر سرخوشه عمل جستجو را برای پیدا کردن نزدیکترین مسیر به خود را انجام می‌دهند تا داده را به سینک انتقال دهند. در این شکل سرخوشه ۱ بعد از عمل جستجو در جهت پیدا کردن نزدیکترین مسیر، مسیر شماره ۱ را پیدا می‌کند که فاصله‌اش با این مسیر 1.8m است.

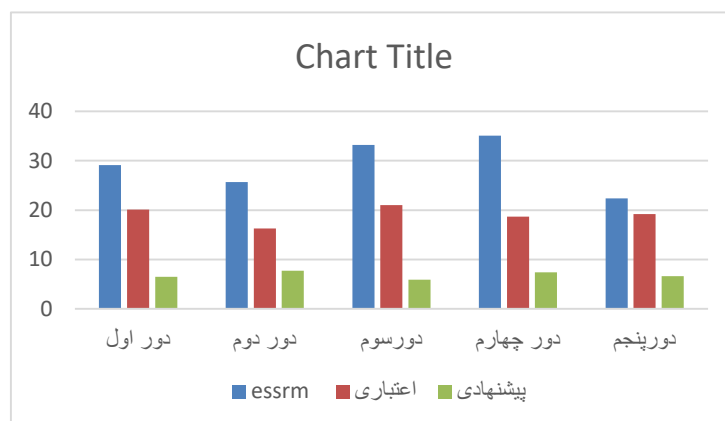
نزدیکترین مسیر برای سرخوشه شماره ۲ نیز بعد از عمل جستجو در جهت پیدا کردن نزدیکترین مسیر، مسیر شماره ۳ را پیدا می‌کند که فاصله‌اش با این مسیر ۱.۴m می‌باشد. همچنین سرخوشه شماره ۳ نیز بعد از عمل جستجو برای پیدا کردن نزدیکتر مسیر جهت انتقال داده، مسیر شماره ۱ را پیدا می‌کند که فاصله این سرخوشه با این مسیر برابر ۲.۱m است. سرخوشه شماره ۴ نیز بعد از عمل جستجو برای پیدا کردن نزدیکترین مسیر جهت انتقال داده، مسیر شماره ۳ را پیدا می‌کند که فاصله این سرخوشه با این مسیر برابر ۰.۷m است. در نهایت سرخوشه شماره ۵ نیز بعد از عمل جستجو برای پیدا کردن نزدیکترین مسیر جهت انتقال داده، مسیر شماره ۱ را پیدا می‌کند که فاصله این سرخوشه با این مسیر برابر ۰.۵m است.

شکل ۲. نحوه انتقال داده در روش پیشنهادی، (Etebari, & Sadeghzadeh. 2024) و EESRA

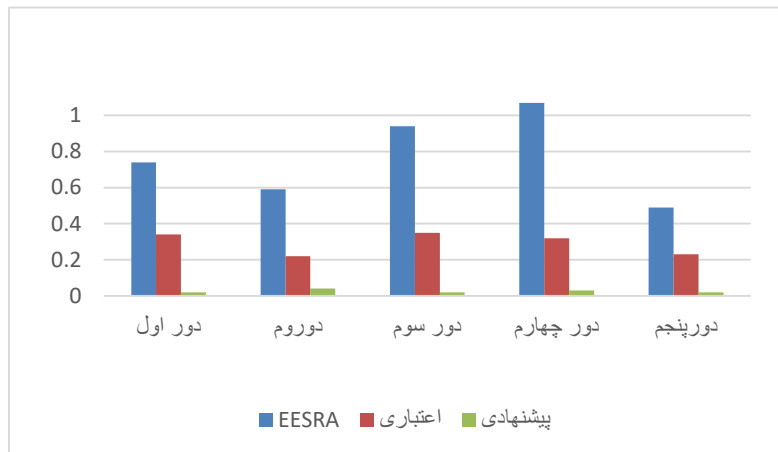


در شکل ۲ مجموع فاصله‌های طی شده در هر دور برای هر دو روش آورده شده است. این شکل مشخص می‌کند که در هر دور سرخوشه‌ها در مجموع در روش پیشنهادی، (Etebari, & Sadeghzadeh. 2024) و EESRA چه میزان مسافتی را پیموده‌اند. همچنین این شکل نشانگر این است که مجموع فاصله پیموده شده توسط سرخوشه‌ها در هر دور در روش پیشنهادی نسبت به (Etebari, & Sadeghzadeh. 2024) و EESRA کمتر است و با توجه به این موضوع میزان انرژی مصرفی در هر دور برای روش پیشنهادی نسبت به روش EESRA کمتر است.

شکل ۳. مقایسه مسافت طی شده در روش پیشنهادی، (Etebari, & Sadeghzadeh. 2024) و EESRA



شکل ۴. مقایسه انرژی روش پیشنهادی، (Etebari, & Sadeghzadeh. 2024) و EESRA



در جدول ۶ مقایسه‌های کلی را بین روش پیشنهادی، (Etebari, & Sadeghzadeh. 2024) و EESRA از لحاظ خوشه‌بندی، انتخاب سرخوشه، میزان مسافت طی شده در هر دور توسط خوشه‌ها، الگوریتم مسیریابی، میزان انرژی مصرفی و احتمال خرابی شبکه انجام دادیم که این مقایسه نشان می‌دهد روش پیشنهادی در هر زمینه مورد بررسی نسبت به روش‌های (Etebari, & Sadeghzadeh. 2024) و EESRA عملکرد بهتری داشته است.

جدول ۶. مقایسه روش پیشنهادی، (Etebari, & Sadeghzadeh. 2024) و EESRA

موارد مقایسه	روش پیشنهادی	Etebari, & (Sadeghzadeh. 2024)	EESRA
خوشه‌بندی	براساس انرژی و چگالی	براساس انرژی، مرکزیت و چگالی گره‌ها	هر گره به نزدیکترین سرخوشه وصل می‌شود
انتخاب سرخوشه	گره‌ای که بیشترین انرژی را دارد	گره‌ای که بیشترین انرژی را دارد	تصادفی
مسافت پیموده شده در هر دور توسط هر سرخوشه	نزدیکترین فاصله ممکن به مسیر حرکت سینک	کوتاه‌ترین مسافت ممکن	فاصله بین سرخوشه و سینک
الگوریتم مسیریابی	پیدا کردن نزدیکترین مسیر از سرخوشه به مسیر سینک	نزدیکترین سرخوشه	مستقیم به سینک
انرژی مصرفی هر سرخوشه	انرژی لازم جهت حمل داده‌ها از سرخوشه‌ها به نزدیکترین مسیر	انرژی لازم جهت رساندن داده به نزدیکترین سرخوشه	بستگی به فاصله بین سرخوشه و سینک
احتمال خرابی شبکه	خیلی کم	کم	زیاد

مصرف انرژی طی پنج دور برابر با ۱۳/۰ ژول به دست آمد، در حالی که این مقدار برای روش ارائه شده در مرجع (Etebari, & Sadeghzadeh. 2024) برابر با ۶۷/۱ ژول و برای EESRA برابر با ۸۳/۳ ژول بود. همچنین، کاهش مصرف انرژی روش پیشنهادی نسبت به روش (Etebari, & Sadeghzadeh. 2024) حدود ۳/۳ درصد و نسبت به EESRA حدود ۸/۹ درصد گزارش شد. این یافته بیانگر آن است که انتخاب صحیح فناوری و طراحی مناسب فرآیندهای عملیاتی می تواند نقش تعیین کننده ای در افزایش کارایی منابع و کاهش اتلاف داشته باشد.

از منظر منابع انسانی، اهمیت این یافته در این است که بهره گیری اثربخش از فناوری های هوشمند تنها به در اختیار داشتن زیرساخت فنی وابسته نیست، بلکه توانایی نیروی انسانی برای شناخت، استفاده و بهره برداری صحیح از فناوری نیز اهمیت دارد. پژوهش های جدید در زمینه آمادگی دیجیتال کارکنان نشان می دهند که مهارت های دیجیتال، آگاهی، رهبری حمایتی و آمادگی کارکنان از عوامل مهم در موفقیت تحول دیجیتال هستند. بنابراین، همان گونه که در شبکه حسگر انتخاب مسیر مناسب موجب کاهش مصرف انرژی می شود، در سطح سازمان نیز انتخاب و به کارگیری صحیح فناوری توسط کارکنان توانمند می تواند موجب کاهش اتلاف منابع، افزایش بهره وری و بهبود عملکرد عملیاتی شود. از سوی دیگر، نتایج این پژوهش نشان می دهد که بهینه سازی فناوری باید همراه با توجه به قابلیت های انسانی باشد. در سازمان هایی که فناوری های هوشمند در فرآیندهای عملیاتی و توزیعی به کار گرفته می شوند، کارکنان باید از دانش و مهارت لازم برای کار با سامانه های دیجیتال برخوردار باشند. مطالعات حوزه عوامل انسانی نیز تأکید می کنند که نادیده گرفتن مهارت نیروی کار، پذیرش فناوری و مقاومت در برابر تغییر می تواند اثربخشی اجرای فناوری های دیجیتال را کاهش دهد.

بنابراین، یافته های این پژوهش را می توان در چارچوب آمادگی فناوری چنین تفسیر کرد که آمادگی فناورانه یک پدیده صرفاً فنی نیست، بلکه حاصل تعامل میان زیرساخت فناوری، فرآیندهای عملیاتی و قابلیت های انسانی سازمان است. به عبارت دیگر، حتی اگر فناوری از نظر فنی قابلیت کاهش مصرف انرژی و افزایش کارایی را داشته باشد، تحقق این مزایا در محیط واقعی نیازمند کارکنانی است که از مهارت دیجیتال، آمادگی پذیرش فناوری و توانایی استفاده صحیح از سامانه های هوشمند برخوردار باشند. این دیدگاه با پژوهش های جدید درباره آمادگی سازمانی برای فناوری های هوشمند نیز همخوان است که بر آموزش، قابلیت کارکنان، منابع سازمانی و فرهنگ نوآوری به عنوان عوامل مؤثر بر آمادگی تأکید دارند.

بحث و نتیجه گیری

یافته های حاصل از طراحی و بررسی الگوریتم نشان می دهد که استفاده از سینک متحرک می تواند یکی از راهکارهای مناسب برای کاهش مشکلات ناشی از انتقال داده به یک نقطه ثابت در شبکه های حسگر بی سیم باشد. در معماری سینک ثابت، با افزایش فاصله گره ها از سینک، گره های دورتر ناچار به استفاده از مسیرهای ارتباطی طولانی یا چندگامی هستند که می تواند مصرف انرژی آنها را افزایش داده و احتمال کاهش عمر شبکه را بیشتر کند. در مقابل، حرکت سینک در محدوده شبکه امکان نزدیک شدن آن به سرخوشه های مختلف را فراهم می کند و در نتیجه، فاصله ارتباطی بین منبع داده و سینک کاهش می یابد.

یکی از یافته‌های مهم این رویکرد، توزیع متعادل مصرف انرژی در سطح شبکه است. هنگامی که سینک متحرک تنها به یک نقطه خاص برای دریافت داده وابسته نباشد، بار ارتباطی شبکه در نواحی مختلف بهتر توزیع می‌شود. این مسئله می‌تواند از تمرکز بیش از حد ترافیک در اطراف یک سینک ثابت جلوگیری کند و احتمال تخلیه سریع انرژی گره‌های نزدیک به مرکز جمع‌آوری داده را کاهش دهد. همچنین، انتخاب سرخوشه بر اساس سطح انرژی باقی‌مانده باعث می‌شود گره‌هایی که توان بیشتری برای ایفای نقش سرخوشه دارند، مسئولیت انتقال و تجمیع داده را بر عهده بگیرند.

یافته دیگر مربوط به کاهش مسافت انتقال داده است. از آنجا که سینک متحرک در بخش‌های مختلف شبکه حضور پیدا می‌کند، سرخوشه‌ها می‌توانند داده‌های خود را در نزدیک‌ترین نقطه از مسیر حرکت سینک منتقل کنند. این امر به‌ویژه در شبکه‌هایی با گستردگی مکانی بالا اهمیت دارد، زیرا ارسال داده در فاصله‌های طولانی معمولاً به انرژی بیشتری نیاز دارد. بنابراین، کاهش فاصله انتقال می‌تواند به کاهش مصرف انرژی ارتباطی و در نتیجه افزایش زمان فعالیت موثر گره‌ها کمک کند.

از نظر عملکرد شبکه، استفاده از سینک متحرک همچنین می‌تواند به افزایش طول عمر شبکه منجر شود. طول عمر شبکه در WSN تا حد زیادی به زمان فعال‌بودن گره‌های حیاتی و میزان مصرف انرژی آنها وابسته است. هنگامی که مصرف انرژی میان گره‌ها متعادل شود و انتقال‌های بسیار طولانی کاهش یابد، احتمال باقی‌ماندن تعداد بیشتری از گره‌ها در وضعیت فعال افزایش پیدا می‌کند. در نتیجه، شبکه می‌تواند برای مدت بیشتری به جمع‌آوری اطلاعات ادامه دهد.

از منظر کاربرد منابع انسانی، یکی از مهم‌ترین یافته‌های این روش، افزایش دسترسی به داده‌های به موقع و پیوسته است. هنگامی که حسگرهای مستقر در سازمان بتوانند اطلاعات کارکنان و محیط را در فواصل کوتاه‌تر به سینک منتقل کنند، داده‌های مربوط به حضور، تراکم نیروی انسانی و وضعیت محیط کاری سریع‌تر به سامانه می‌رسد. این ویژگی می‌تواند فاصله زمانی میان رخداد یک رویداد در محیط سازمان و ثبت آن در سامانه مدیریتی را کاهش دهد و ظرفیت تصمیم‌گیری سریع را افزایش دهد.

همچنین، این معماری می‌تواند کیفیت فرایند برنامه‌ریزی و تخصیص نیروی انسانی را بهبود دهد. برای مثال، اطلاعات لحظه‌ای درباره میزان حضور کارکنان در واحدهای مختلف یا تراکم نیروی انسانی می‌تواند در تصمیم‌گیری درباره توزیع کارکنان، برنامه‌ریزی شیفت‌ها و پاسخ به تغییرات ناگهانی در نیاز نیروی انسانی مورد استفاده قرار گیرد. در چنین شرایطی، ارزش الگوریتم پیشنهادی از سطح فنی فراتر رفته و به یک ابزار پشتیبان برای مدیریت داده‌محور منابع انسانی تبدیل می‌شود.

یافته دیگر، کاهش وابستگی به ثبت و انتقال دستی اطلاعات است. هنگامی که جمع‌آوری اطلاعات حضور و برخی داده‌های محیط سازمان از طریق حسگرها و انتقال آنها از طریق شبکه انجام شود، بخش قابل توجهی از فرایند ثبت اطلاعات می‌تواند به صورت خودکار انجام گیرد. این امر علاوه بر کاهش خطاهای ناشی از ورود دستی داده، امکان ثبت مستمرتر اطلاعات و دسترسی سریع‌تر مدیران به وضعیت موجود را فراهم می‌کند.

در مجموع، نتایج مفهومی و فنی پژوهش نشان می‌دهد که ترکیب WSN، خوشه‌بندی مبتنی بر انرژی و تراکم، Mobile Sink و Smart HRM می‌تواند یک معماری یکپارچه برای جمع‌آوری هوشمند داده‌های منابع انسانی

ایجاد کند. در این معماری، بهبود شاخص‌های شبکه‌ای مانند مصرف انرژی، مسافت انتقال و طول عمر شبکه، مستقیم به فراهم‌شدن بستر مناسب برای تولید و انتقال داده‌های مدیریتی منجر می‌شود. از این جهت، نوآوری اصلی رویکرد پیشنهادی را می‌توان در پیوند دادن بهینه‌سازی مسیریابی در شبکه حسگر بی‌سیم با نیازهای داده‌ای مدیریت هوشمند منابع انسانی دانست، به‌گونه‌ای که خروجی فنی شبکه در نهایت به ایجاد ارزش در فرایندهای مدیریتی سازمان منتهی شود.

منابع

References

- Strohmeier, S. (2020). Smart HRM—a Delphi study on the application and consequences of the Internet of Things in Human Resource Management. *The International Journal of Human Resource Management*, 31(18), 2289-2318. **[In Persian]**.
Doi: <https://doi.org/10.1080/09585192.2018.1443963>.
- Kremer, K. (2022). HR practices in the context of the Internet of Things. *Strategic Management-International Journal of Strategic Management and Decision Support Systems in Strategic Management*, 27(1) **[In Persian]**.
Doi: <https://orcid.org/0000-0002-9051-9038>.
- Rawat, P., Singh, K. D., Chaouchi, H., & Bonnin, J. M. (2014). Wireless sensor networks: a survey on recent developments and potential synergies. *The Journal of supercomputing*, 68(1), 1-48 **[In Persian]**.
Doi: <https://doi.org/10.1007/s11227-013-1021-9>.
- Al-Mahdi, H., Elshrkawey, M., Saad, S., & Abdelaziz, S. (2024). An Intelligent Energy-Efficient Data Routing Scheme for Wireless Sensor Networks Utilizing Mobile Sink. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2024(1), 7384537.
Doi: <https://doi.org/10.1155/2024/7384537>.
- Wang, J., Gao, Y., Zhou, C., Sherratt, S., & Wang, L. (2020). Optimal coverage multi-path scheduling scheme with multiple mobile sinks for WSNs. *Computers, Materials & Continua*, 62(2), 695-711.
- Ding, Q., Zhu, R., Liu, H., & Ma, M. (2021). An overview of machine learning-based energy-efficient routing algorithms in wireless sensor networks. *Electronics*, 10(13), 1539.
Doi: <https://doi.org/10.32604/cmc.2020.08674>.

- Yadav, R. K., & Mahapatra, R. P. (2021). Energy aware optimized clustering for hierarchical routing in wireless sensor network. *Computer Science Review*, 41, 100417.
Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2021.100417>.
- Ketshabetswe, L. K., Zungeru, A. M., Lebekwe, C. K., & Mtengi, B. (2024). A compression-based routing strategy for energy saving in wireless sensor networks. *Results in Engineering*, 23, 102616.
Doi: <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102616>.
- Strohmeier, S. (2020). Smart HRM—a Delphi study on the application and consequences of the Internet of Things in Human Resource Management. *The International Journal of Human Resource Management*, 31(18), 2289-2318.
Doi: <https://doi.org/10.1080/09585192.2018.1443963>.
- Strohmeier, S. (2020). Digital human resource management: A conceptual clarification. *German Journal of Human Resource Management*, 34(3), 345-365.
- Elsmany, E. F. A., Omar, M. A., Wan, T. C., & Altahir, A. A. (2019). EESRA: Energy efficient scalable routing algorithm for wireless sensor networks. *IEEE Access*, 7, 96974-96983
- Etebari, & Sadeghzadeh. (2024). A hierarchical routing algorithm for data collection to reduce energy consumption in wireless sensor networks with mobile sink. *Iranian Journal of Electrical Industry Quality and Productivity*, 13(3), 0-0.
Doi: <http://dx.doi.org/10.61186/iejqp.13.3.2>.