نقش خدمات اجرای تأسیسات برق در ارتقای ایمنی، بهره‌وری انرژی و حکمرانی فنی ساختمان

نسترن سلطانی
کارشناسی ارشد برق الکترونیک، دانشگاه آزاد ملایر، عضو سازمان نظام مهندسی ساختمان استان همدان
Soltani.2000@yahoo.com

صنعت ساخت‌وساز با چالش‌های پیچیده‌ای نظیر افزایش تقاضا، پیچیدگی سیستم‌های برقی، کمبود نیروی متخصص و فشار کاهش مصرف انرژی مواجه است.

۱- چکیده

تأسیسات برقی نقش حیاتی در عملکرد، ایمنی و پایداری ساختمان‌ها دارند. این مقاله با بررسی سه محور ایمنی الکتریکی، بهره‌وری انرژی و حکمرانی فنی، نشان می‌دهد که ۸۰٪ آتش‌سوزی‌ها ناشی از اتصالات کوتاه است و تنها ۴۲٪ نقشه‌های برقی مناسب‌اند. راهکارهای ارائه‌شده شامل استانداردسازی تجهیزات، کاربرد فناوری BIM۱، مشارکت زودهنگام پیمانکاران و تقویت نظارت سازمان نظام‌مهندسی ساختمان است. با اجرای این استراتژی‌ها، می‌توان انتشار کربن را تا ۴۸٪ کاهش داده و کیفیت، ایمنی و بهره‌وری پروژه‌های ساختمانی را به‌طور چشمگیری ارتقا بخشید.

۲- مقدمه

صنعت ساخت‌وساز با چالش‌های پیچیده‌ای نظیر افزایش تقاضا، پیچیدگی سیستم‌های برقی، کمبود نیروی متخصص و فشار کاهش مصرف انرژی مواجه است. تأسیسات برقی به‌عنوان زیرسیستمی حیاتی، نقش کلیدی در عملکرد و ایمنی ساختمان‌ها دارد، اما اجرای صحیح آن با موانعی چون نقص طراحی و ضعف کیفیت مواد روبروست[۱].

نظرسنجی از ۲۳۰ متخصص نشان می‌دهد که تنها ۴۲٪ از نقشه‌های برق مناسب هستند و ۸۰٪ حوادث آتش‌سوزی ناشی از اتصالات کوتاه الکتریکی است. این آمار ضرورت بهبود استانداردها و نظارت را برجسته می‌سازد[۳،۲].

این مقاله با رویکردی جامع، سه محور ایمنی الکتریکی، بهره‌وری انرژی و حکمرانی فنی را بررسی می‌کند. نوآوری این مطلب در ارائه چهارچوبی یکپارچه میان خدمات اجرای تأسیسات، استانداردسازی، BIM و حکمرانی است که با بهره‌گیری از شواهد بین‌المللی، راهکارهای عملی برای ارتقای کیفیت و نقش سازمان نظام مهندسی را مورد تأکید قرار می‌دهد.

۳- ایمنی الکتریکی و پیشگیری از حوادث

۳-۱- اتصالات کوتاه و خطرات آتش‌سوزی

اتصال کوتاه با ایجاد مسیر کم‌مقاومت، جریان عظیم و گرمای مفرط تولید می‌کند. اتصالات سست هادی‌ها از دلایل اصلی قوس الکتریکی است. طراحی تأسیسات برقی باید ضریب ایمنی کافی برای پیشگیری از آتش‌سوزی داشته باشد. چالش اساسی، عدم توجه کدهای ملی به تأثیر دمای محیط است. در دماهای بالاتر از ۳۳ درجه سانتی‌گراد، ریسک آتش‌سوزی به‌دلیل کاهش ظرفیت تجهیزات افزایش می‌یابد. این خلأ در کد ملی ساختمان هند ۲۰۱۶ شناسایی شده است. انتخاب نادرست تجهیزات در مرحله طراحی، علت اصلی نقص است. طراحی الکتریکی باید کیفیت برق، دما، رطوبت و ارتفاع را لحاظ کند. با تشدید گرمایش جهانی، محاسبه دقیق جریان و انتخاب تجهیزات با رتبه‌بندی دمای بالاتر ضروری است[۳].

۳-۲- کنترل کیفیت نصب تجهیزات

مشکلات رایج در نصب تجهیزات برقی شامل نصب نادرست جعبه‌های توزیع، اجرای ناکافی سیستم‌های زمین و استفاده از مواد غیراستاندارد است. چارچوب جامع کنترل کیفیت شامل آماده‌سازی، بازرسی، تست و مستندسازی می‌تواند خطاهای رایج را کاهش و ایمنی سیستم برقی را افزایش دهد[۴]. دو مشکل اساسی در این زمینه شناسایی شده است: فرآیند نصب نامنظم و استفاده از ابزارهای غیراستاندارد. عدم رعایت استانداردها باعث حوادث ناایمن و ضررهای جانی و مالی می‌شود. برخی پرسنل نصب با اتکا به تجربه، مراحل عملیاتی رسمی را نادیده گرفته و دلبخواهی عمل می‌کنند. در بازارهای بدون استانداردسازی مناسب، ابزارهای نصب فاقد دقت کافی بوده و وجود محصولات تقلبی کیفیت پروژه‌ها را تهدید می‌کند[۵].

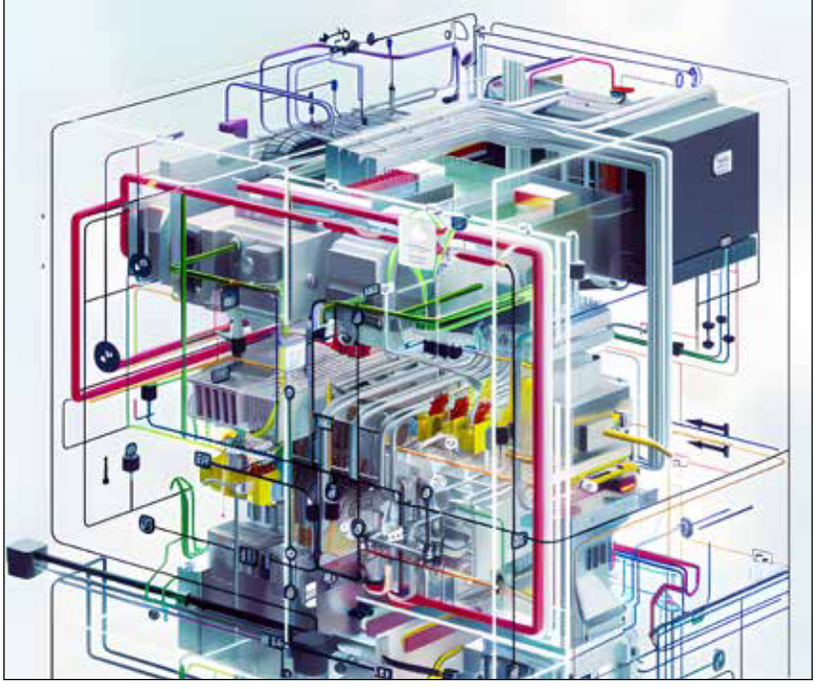
۳-۳- نصب ایمن در ساختمان‌های مسکونی

عوامل کلیدی موفقیت در نصب ایمن تأسیسات برقی عبارتند از: انتخاب قطعات استاندارد، برنامه‌ریزی صحیح بار، اجرای مناسب سیستم‌های زمین و نصب کلیدهای محافظ[۶]. تضمین ایمنی الکتریکی مسکونی نیازمند رویکرد جامعی است که استانداردسازی تجهیزات، آموزش نصابان و نظارت بر اجرا را شامل می‌شود[۵،۷]. پیچیدگی پروژه‌های نصب تجهیزات مکانیکال و برقی ایجاب می‌کند که پرسنل ساخت‌وساز به روندهای توسعه آینده توجه ویژه داشته و با دقت و مسئولیت‌پذیری عمل کنند. تسلط بر فناوری ساخت‌وساز علمی و روش‌های کنترل کیفیت، سازگاری با محیط ساخت‌وساز و تعریف دقیق مسئولیت‌ها از الزامات اساسی است[۵].

۴- بهره‌وری انرژی و کیفیت برق

۴-۱- مدیریت تعادل بار و کیفیت برق

کیفیت برق تمام جنبه‌های مهندسی از انتقال تا مشکلات کاربر نهایی را شامل می‌شود. طراحان سیستم‌ها را با در نظر گرفتن تعامل تأسیسات مشتری و شبکه برق می‌سازند. تحلیل یک مرکز تجاری نشان داد عدم تعادل بار از ۲۸٪ به ۳.۳٪ کاهش یافت. این عدم تعادل موجب اتلاف انرژی، گرمای مفرط، کاهش عمر تجهیزات و افزایش هزینه‌های نگهداری می‌شود. در سیستم‌های سه‌فاز، عدم تعادل با تفاوت مقادیر یا زوایای فاز رخ می‌دهد. نتایج با روش‌های IEC۲ و NEMA۳ نشان داد عدم تعادل ولتاژ کمتر از حد مجاز ۲٪ بود. اما حتی ۱٪ عدم تعادل ولتاژ می‌تواند ۶ تا ۱۰٪ عدم تعادل جریان ایجاد کند که منجر به نوسان گشتاور، ارتعاش و گرمای مفرط موتور و ترانسفورماتور می‌گردد.



طراحی تأسیسات برقی باید ضریب ایمنی کافی برای پیشگیری از آتش‌سوزی داشته باشد

۴-۲- هارمونیک‌ها و فیلترهای فعال

با افزایش استفاده از الکترونیک قدرت، هارمونیک‌ها به چالش اصلی کیفیت برق تبدیل شده‌اند. هارمونیک‌های سه‌گانه مشکل‌ساز هستند زیرا در هادی خنثی جمع می‌شوند. در مطالعه انجام‌شده، هارمونیک‌های سه‌گانه بیش از ۱۰٪ توصیه‌شده توسط استانداردهای IEC بود، بنابراین فیلتر هارمونیک فعال ۲۰۰ آمپر در تابلوی اصلی نصب شد. محدودیت‌های اعوجاج برای سیستم‌های ولتاژپایین شامل عمق ناچ ۱۰ تا ۵۰٪، THD۴ ولتاژ ۳ تا ۱۰٪ است [۸].

۴-۳- پتانسیل کاهش انتشار کربن

پتانسیل قابل توجهی برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای از طریق بهبود بهره‌وری انرژی در سیستم‌های برقی وجود دارد. با اجرای استراتژی‌های بهره‌وری انرژی، می‌توان انتشار دی‌اکسید کربن را تا سال ۲۰۳۵ به میزان ۴۸٪ کاهش داد که اهمیت نقش مهندسان برق در دستیابی به اهداف پایداری محیط‌زیستی را برجسته می‌سازد [۹].

۵- حکمرانی فنی و مدیریت پروژه

۵-۱- مشارکت زودهنگام پیمانکاران برق

نظرسنجی از ۸۲ متخصص نشان داد مزایای مشارکت زودهنگام پیمانکاران برق بر موانع آن غلبه دارد. صرفه‌جویی در هزینه مهم‌ترین مزیت و نیاز به همکاری و شفافیت بالا چالش اصلی است. روش سنتی طراحی-مناقصه-ساخت مراحل را متوالی اجرا می‌کند و پیمانکاران تا بعد از طراحی انتخاب نمی‌شوند. این جداسازی مانع از ادغام دانش ساخت در طراحی می‌شود. مشارکت زودهنگام منجر به صرفه‌جویی هزینه، بهبود کیفیت طراحی و کاهش دستورات تغییر می‌شود. این رویکرد امکان شناسایی زودهنگام مشکلات، بهینه‌سازی سیستم‌های برقی و کاهش تعارضات بین‌رشته‌ای را فراهم می‌کند، اما نیازمند سطح بالایی از همکاری، شفافیت و اعتماد میان ذینفعان است [۱].

۵-۲- عوامل تعارض و هماهنگی

تحلیل عوامل تعارض در پروژه‌های ساختمانی بر ارتباطات ناکارآمد به‌عنوان عامل کلیدی تأکید دارد. بسیاری از تعارضات ناشی از عدم هماهنگی بین ذینفعان، انتظارات نامشخص و مسئولیت‌های تعریف‌نشده است. شناسایی و مدیریت صحیح این عوامل برای موفقیت پروژه‌های ساختمانی ضروری است [۱۰]. حاکمیت مؤثر پروژه از دیدگاه بین‌سازمانی نیازمند ساختارهای مدیریتی واضح، تعریف دقیق مسئولیت‌ها و مکانیزم‌های تصمیم‌گیری شفاف است. درک حاکمیت از منظر بین‌سازمانی اهمیت زیادی دارد زیرا پروژه‌های ساختمانی معمولاً شامل چندین سازمان با منافع و اهداف متفاوت هستند [۱۱].

۵-۳- چالش‌های قانونی و مجوزها

مطالعه موردی توسعه پست برق ۵۰۰ کیلوولت موارا انیم در سوماترای جنوبی نشان داد که تأخیرات درصدور مجوز ناشی از هماهنگی ضعیف بین ذینفعان، تطبیق با چهار تغییر در مقررات و عوامل غیرقانونی مانند تملک زمین بود [۱۲]. این پست برق که تاریخ بهره‌برداری آن برای سال ۲۰۱۸ برنامه‌ریزی شده بود، به دلیل موانع قابل توجه در تملک ۶۴ هکتار زمین با تأخیر مواجه شد. ساخت‌وساز در ۲۲ آوریل ۲-۱۹ آغاز و پست برق در ۲۷ ژوئن ۲۰۲۳ عملیاتی شد که انحراف تقریباً پنج‌ساله از هدف اولیه را نشان می‌دهد [۱۲].

۶- نقش فناوری BIM در بهینه‌سازی طراحی برقی

۶-۱- سیستم طراحی تفصیلی مهندسی برق

سیستم جامعی برای طراحی تفصیلی مهندسی برق مبتنی بر مدل‌سازی اطلاعات ساختمان توسعه یافته که شامل مراحل کلیدی است: اتصال سریع مدل، بررسی ساده شده نقشه‌ها و بهینه‌سازی پیشرفته کابل. یک افزونه Revit۵ ایجاد شده که نتایج بهینه را بدون نیاز به مدل‌های با دقت بالا تولید می‌کند. یکی از چالش‌های اساسی، پیچیدگی نقشه‌های برقی است که نیاز به منابع انسانی قابل توجهی دارد. مشکلاتی مانند طراحی‌های اولیه ناقص، تغییرات مکرر بین‌رشته‌ای و عمق ناکافی طراحی نیاز به مهندسان با تجربه برای اعتبارسنجی دارد. این سیستم چالش‌ها را با ارائه راهکارهای خودکار برای بهینه‌سازی مسیر کابل، کاهش خریدهای اضافی و بهبود هماهنگی بین طراحی و اجرا حل می‌کند. چالش‌های حیاتی در نصب کابل شامل عدم تطابق سینی کابل، قرارگیری دلبخواه کابل‌ها و خرید بیش از حد مواد است که کیفیت نصب را به خطر انداخته و کنترل هزینه را دشوار می‌سازد. نتایج پروژه‌های واقعی نشان داد که این سیستم کارایی طراحی و ساخت را بهبود می‌بخشد، کیفیت نصب کابل را افزایش می‌دهد و صرفه‌جویی قابل توجهی در هزینه‌ها ایجاد می‌کند [۱۳].

۶-۲- استراتژی‌های کنترل کیفیت مبتنی بر BIM

استراتژی‌های مبتنی بر BIM برای کنترل کیفیت ساخت‌وساز در مهندسی ساختمان در پنج دسته طبقه‌بندی شده است: عوامل انسانی که به‌عنوان مهم‌ترین عامل شناسایی شده و بر فناوری ساخت‌وساز تأثیرگذار است؛ عوامل مواد که کیفیت فناوری را تعیین می‌کند و استفاده از مواد نامناسب منجر به مشکلات کیفی می‌شود؛ عوامل محیطی مانند آب و هوا، زمین‌شناسی و هیدروژئولوژی که عدم قطعیت در ساخت‌وساز را افزایش می‌دهند؛ عوامل مکانیکی که نقص تجهیزات مکانیکی کیفیت کلی را تحت تأثیر قرار می‌دهد؛ و عوامل فرایندی که پیچیدگی فرایندها

خدمات مهندسان برق واجد صلاحیت برای تهیه نقشه‌های استاندارد خدمات برق ضروری است.

و عدم پوشش استانداردها کیفیت فنی را تهدید می‌کند[۱۴].

۶-۳- مزایای کاربرد BIM در کنترل کیفیت

کاربرد علمی BIM در مدیریت ساخت‌وساز ساختمان‌های پیش‌ساخته، ارائه داده‌های اطلاعاتی را کارآمدتر، هوشمندتر و الکترونیکی‌تر می‌سازد. پلتفرم داده بصری به مدیران امکان می‌دهد کیفیت ساخت‌وساز را علمی‌تر مدیریت کنند و کاستی‌های روش‌های سنتی کاغذی را با ذخیره‌سازی ایمن‌تر اطلاعات، مدیریت کارآمدتر و کنترل دقیق‌تر پارامترها جبران کنند. قابلیت شبیه‌سازی BIM مدل سه‌بعدی را با زمان مرتبط کرده و پلتفرم چهاربعدی و پنج‌بعدی توسعه می‌دهد. با کمک اینترنت اشیا و دستگاه‌های موبایل، مربیان می‌توانند به کنترل از راه دور و نظارت بلادرنگ دست یابند. شاخص‌ها و پارامترهای ساخت‌وساز به ابر بارگذاری می‌شوند تا کارکنان بتوانند وضعیت واقعی را کامل و به‌موقع ارزیابی کنند. قبل از نصب خط لوله و الکترومکانیکی، BIM تعارضات احتمالی را شناسایی می‌کند تا اقدامات بهینه‌سازی انجام شود. تعیین مشکلات در مرحله طراحی از بروز آن‌ها در مرحله اجرا جلوگیری کرده و به کاهش خطاها، بهبود کیفیت و افزایش کارایی پروژه کمک می‌کند[۱۴].

۷- نقش استانداردسازی و نظارت

۷-۱- اهمیت نقشه‌های استاندارد خدمات برق

خدمات مهندسان برق واجد صلاحیت برای تهیه نقشه‌های استاندارد خدمات برق ضروری است. این نقشه‌ها باید اطلاعات دقیقی درباره روش سیم‌کشی، اندازه و نوع مناسب توزیع و طرح حفاظت برای نصب‌های روشنایی و برق مطابق استانداردها ارائه دهند. عدم وجود نقشه‌های استاندارد خطر جدی برای ایمنی ساختمان‌ها، تجهیزات و ساکنان محسوب می‌شود. نظرسنجی از ۲۳۰ متخصص ساخت‌وساز نشان داد که ۲۰٪ از عدم وجود نقشه‌های خدمات برق، ۳۸٪ از عدم کاربردی بودن نقشه‌های ارائه شده و تنها ۴۲٪ از دسترسی به نقشه‌های مناسب گزارش دادند. این آمارنگران‌کننده ضرورت حضور مهندسان برق واجد صلاحیت در تمام مراحل پروژه را برجسته می‌سازد[۲].

۷-۲- کنترل کیفیت در مرحله آماده‌سازی

پس از امضای قرارداد، پیمانکار و مالک باید نقشه‌های ساختمانی، طرح‌های برنامه‌ریزی و مواد فنی را به مدیر پروژه تحویل دهند. مدیر پروژه امکان‌سنجی طرح برنامه‌ریزی پرسنل را بررسی و پس از تأیید پیش‌بینی ایمنی و کیفیت و بازرسی مکرر، ساخت‌وساز محل را بازرسی می‌کند. مشکلات و حفره‌های شناسایی‌شده باید به‌موقع به مدیر پروژه گزارش شده و از طریق ارتباط مؤثر با طراحی هماهنگ شوند. مدیر پروژه باید مطابق قرارداد و الزامات طراحی عمل کرده و اقدامات اضطراری لازم را اتخاذ کند. تدوین طرح کنترل کیفیت با درجه بالایی از امکان‌سنجی ضروری است که توسط بخش مدیریت بازرسی می‌شود. رهبران واحدهای ساختمانی باید آموزش فنی گاه‌به‌گاه برای کارکنان برگزار کنند، روان‌شناسی توجه به کیفیت آن‌ها را تقویت نمایند و اطمینان حاصل کنند که هر مرحله به‌درستی اجرا می‌شود[۵].

۷-۳- کنترل کیفیت در مرحله نصب

اجرای ساخت‌وساز میدانی باید طبق نمودار طراحی، طرح برنامه‌ریزی و اسناد بررسی‌شده انجام شود. پرسنل ساخت‌وساز نباید نقشه‌های طراحی اصلی را به‌صورت دلبخواهی پردازش یا تغییر دهند. در فرایند ساخت‌وساز باید پست نظارت ایجاد شده و ناظر پیشرفت و دقت ساخت‌وساز را مداوماً بررسی کند. برنامه کنترل کیفیت نصب باید تدوین و داده‌های مهندسی نامرئی به‌طور عمیق ثبت شوند. سوابق ساخت‌وساز باید موازی با فرایند ساخت‌وساز پیش رفته و بخش بعدی بدون امضای پرسنل مربوطه انجام نشود[۵].

۷-۴- پذیرش و تحویل پروژه

پس از تکمیل، واحد ساختمانی باید ابتدا بازرسی داخلی انجام داده و سپس گزارش را به واحد ارگان مربوطه ارائه دهد. رهبر واحد باید تعهدات ساخت‌وساز را انجام دهد و در مواجهه با تنگناها یا مشکلات، ارتباط مؤثر برقرار کند. قبل از پذیرش نهایی، بخش بازرسی باید کارهای نصب را با دقت و مکرر بازرسی کند. محتویات اصلی شامل راه‌اندازی آزمایشی تک‌دستگاه، تنظیم تجهیزات و راه‌اندازی آزمایشی مشترک است. پرسنل مسئول باید فرایند و نتایج بازرسی را ثبت کنند. پس از تکمیل، اسناد پروژه شماره‌گذاری شده و برای بایگانی به مدیریت شرکت تحویل داده می‌شود[۵].

۸- جمع‌بندی

خدمات اجرای تأسیسات برق نقش کلیدی در ارتقای ایمنی، کارایی انرژی و حکمرانی فنی ساختمان‌ها دارد. یافته‌ها نشان می‌دهد که اتصالات کوتاه الکتریکی عامل ۸۰٪ آتش‌سوزی‌ها بوده و کیفیت نامناسب نقشه‌های برقی چالش اساسی است. راهکارهای عملی شامل انتخاب تجهیزات استاندارد با توجه به دمای محیط، کنترل کیفیت جامع در تمام مراحل، مدیریت عدم تعادل بار و هارمونیک‌ها، کاربرد BIM برای بهینه‌سازی طراحی و شناسایی زودهنگام تعارضات، مشارکت پیمانکاران از ابتدای پروژه و تقویت نظارت سازمان نظام‌مهندسی ساختمان است. اجرای این استراتژی‌ها می‌تواند انتشار کربن را تا ۴۸٪ کاهش داده و کیفیت، ایمنی و پایداری پروژه‌های ساختمانی را تضمین کند.

اجرای این استراتژی‌ها می‌تواند انتشار کربن را تا ۴۸٪ کاهش داده و کیفیت، ایمنی و پایداری پروژه‌های ساختمانی را تضمین کند.

۹- پی‌نوشت

۱- مدل‌سازی اطلاعات ساختمان

۲- کمیسیون بین‌المللی الکترونیک

۳- انجمن ملی سازندگان تجهیزات الکتریکی (آمریکا)

۴- اعوجاج هارمونیک کل ولتاژ

۵- افزونه یا ابزار اضافه‌شده به نرم‌افزار Revit

۱۰- مراجع

[۱] Koo H, Skvarce F. Benefits and challenges of early electrical contractors' involvement in construction projects. Buildings. 2025;15:637. Available from: doi:10.3390/buildings15040637

[۲] Adelakun N, Olajide M, Omolola S. Relevance of electrical services engineers in construction and building services. Design, Construction, Maintenance. 2022;2:255–260. Available from: doi:10.37394/232022.2022.2.34

[۳] Zhang B. BIM-based strategies for construction quality control in building engineering. Journal of World Architecture. 2022;6:37–42. Available from: doi:10.26689/jwa.v6i3.3969

[۴] Zhou Z. Discussion on installation quality control of building mechanical and electrical equipment. 2020. Available from: doi:10.2991/msie-19.2020.32

[۵] Worotikan L, Barens R, Tombokan D, Pondalos C, Supratpto S. Safe and efficient electrical installation for residential houses. Cerdika: Jurnal Ilmiah Indonesia. 2025;5:2662–2666. Available from: doi:10.59141/cerdika.v5i9.2846

[۶] Lhardit L, Dome B, Tissot O, Wachter B, De Keulenaer H. Residential electrical safety – How to ensure progress. 2020. Available from: doi:10.13140/RG.2.2.35494.78402

[7] Mayen A, Noer Syamsiana I, Nofvowan A. Power quality analysis of electrical installation at commercial center. Elposys: Jurnal Sistem Kelistrikan. 2024;11:162–167. Available from: doi:10.33795/elposys.v11i3.5587

[۸] Khatib H. Energy efficiency and electrical power generation. 2012. Available from: doi:10.5772/38173

[9] Jaffar N, Abdul Tharim AH, Shuib M. Factors of conflict in construction industry: A literature review. Procedia Eng. 2011;20:193–202. Available from: doi:10.1016/j.proeng.2011.11.156

[۱۰] Sha K. Understanding construction project governance: An inter-organizational perspective. Int J Archit Eng Constr. 2016;5:117–127. Available from: doi:10.7492/IJAEC.2016.012

[۱۱] Junaedi, J., Saputro, A., & Sami'an, S. (2025). Challenges in electrical infrastructure permitting: A case study of substation development in South Sumatra. SIGn Jurnal Hukum, 6, 313–327. https://doi.org/10.37276/sjh.v6i2.393

[۱۲] Yan Y, Wang C, Zhang F, Wu L, Zang J, Liu T, et al. Development and implementation of a system for electrical engineering BIM detailed design in construction projects. Buildings. 2025;15:2960. Available from: doi:10.3390/buildings15162960

[۱۳] Zhang H. Study on the quality control of electrical engineering. 2016. Available from: doi:10.2991/iceeecs-16.2016.195

[۱۴] Kumar KS, Kalappan KB. Fire risks in electrical installations: The review. E3S Web Conf. 2023;376:01113. Available from: doi:10.1051/e3sconf/202337601113