ارایه راه‌کارهایی جهت احداث پست‌های انتقال و فوق‌توزیع به‌صورت زیرزمینی در ایران (مطالعه مداری پست میدان شهدا مشهد)

رضا سبزواری/ شرکت برق منطقه‌ای خراسان

هومن سبزواری / شرکت منیران

مهدی ستوده/ شرکت منیران

حسین اسفرقی/ دانشگاه آزاد اسلامی واحد قائنات

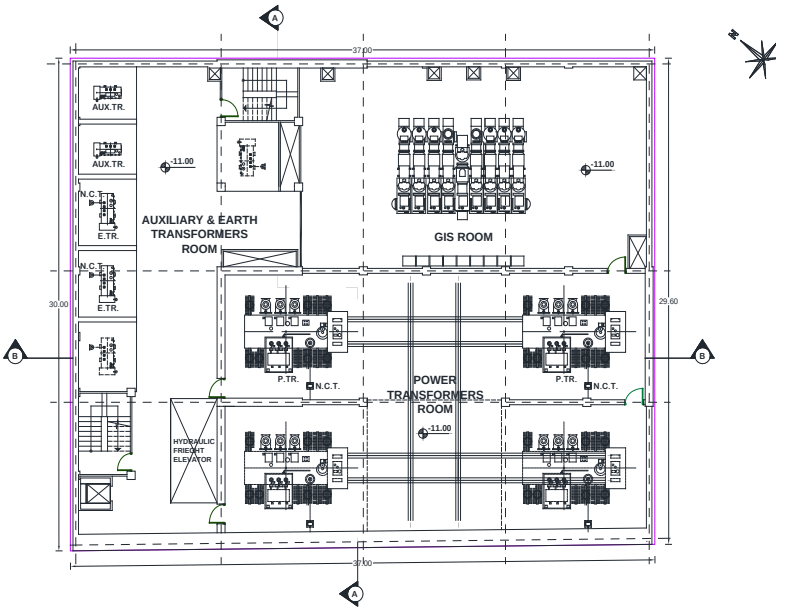
چکیده

با توجه بـه افزایش نیاز به انرژی الکتریکـی در مناطق مرکزی شهرها، انتقال برق با سطح ولتاژ بالا به درون شهر اجتناب‌ناپذیر اسـت؛ اما به دلیل بافت شهری متراکم این مناطق، تامین زمین با ابعاد مناسب برای احداث پست‌های فوق‌توزیع و انتقال جدید به سختی میسر بوده و مستلزم صرف هزینه‌های هنگفتی است. در چنین شـرایطی انتقال این پسـت‌ها به زیر سـطح زمین، با توجه به امکان اسـتفاده از فضای روی آن برای سایر کاربردها، از هزینـه کلی احداث پسـت به شـکل قابل توجهی کاسـته و محدودیـت در جایابی آن را نیز کاهش می‌دهد. اما پسـت‌های فوق‌توزیـع و انتقال زیرزمینی در مقایسـه با انـواع متداول، با چالش‌های تکنیکـی جدید و متفاوتی روبه‌رو هسـتند. در این مقاله جنبه‌های مختلف این چالش‌ها بررسی شده و ضمن توجه به تجربیات جهانی، با در نظر گرفتن شرایط کشور راهکارهایی برای رفع آن‌ها پیشـنهاد گردیده است. این راهکارها به‌منظور استفاده در طراحی بخش‌های ساختمانی، الکتریکی و مکانیکی پسـت زیرزمینی 132/20kV میدان شـهدا مشـهد تطبیق داده شده‌اند.

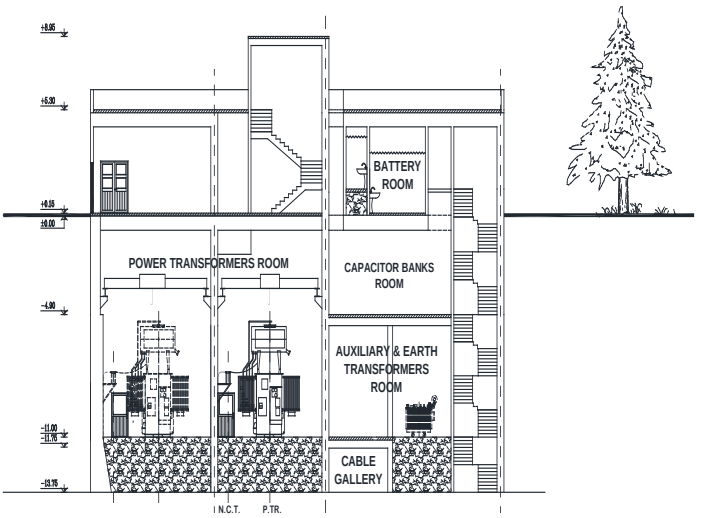
۱- مقدمه

با افزایش روزافزون تراکم جمعیت در شـهرها و اسـتفاده بیشـتر از تجهیـزات و سیسـتم‌های برقی، نیاز به انـرژی الکتریکی در مناطق شـهری پیوسـته افزایش می‌یابد؛ بهترین راه برای تامین این نیاز، به صورت مطمئن و با هزینه قابل قبول، برق‌رسانی با استفاده از سطوح ولتاژی بالاتر بوده که مستلزم احداث خطوط و پست‌های فوق‌توزیع و انتقال است. اما به علت تراکم بافت شهری، تامین زمین برای احداث پست‌های جدید در مراکز شهرها به‌سختی میسر است، چرا که زمین مورد نیاز برای پسـت‌های فوق‌توزیـع و انتقال (حتی به‌صورت GIS) مسـاحت قابل توجهی دارد، ضمن اینکه بایـد مجموعه‌ای از الزامات فنی را برآورده سـازد. یافتن چنین زمینی در کلان‌شهرها به سادگی میسـر نیسـت، علاوه بر آن با توجه به قیمت بالای زمین، تملک آن هزینـه زیادی در بر دارد که بخـش قابل‌توجهی از کل هزینه احداث پست را تشـکیل می‌دهد. با توجه به موارد فوق چنانچه بتوان پست فوق‌توزیع یا انتقال را به زیر سطح زمین منتقل کرد امکان استفاده از فضای بالای سطح برای سایر کاربری‌های شهری (فضای سبز، تقاطع ترافیکی و ...) یا ادغام پست با مجتمع‌های مسکونی، اداری و تجاری، پارکینگ‌های طبقاتی، ورزشگاه‌ها و ... فراهم می‌گردد. این روش ضمن حذف یا کاهش هزینه تملک زمین، از محدودیت‌های جایابی پسـت نیز می‌کاهد، در نتیجه می‌توان پست فوق‌توزیع را نزدیک‌تر به مراکز بار احداث کرد که منجر به کاهش طول شبکه فشار متوسط و تلفات برق‌رسانی می‌شـود. علاوه بر موارد فوق با احداث پست در زیرزمین از تبعـات محیطی آن (تاثیر نامطلوب بصری، سـروصدا، میدان‌های الکترومغناطیسی، تاثیرات انفجار یا آتش‌سوزی احتمالی و ...) به شکل قابل توجهی کاسـته شـده و سـطح حفاظت امنیتی آن، چه از نظر پدافند غیرعامل و چه از نظر ورود افراد غیرمجاز، افزایش می‌یابد.

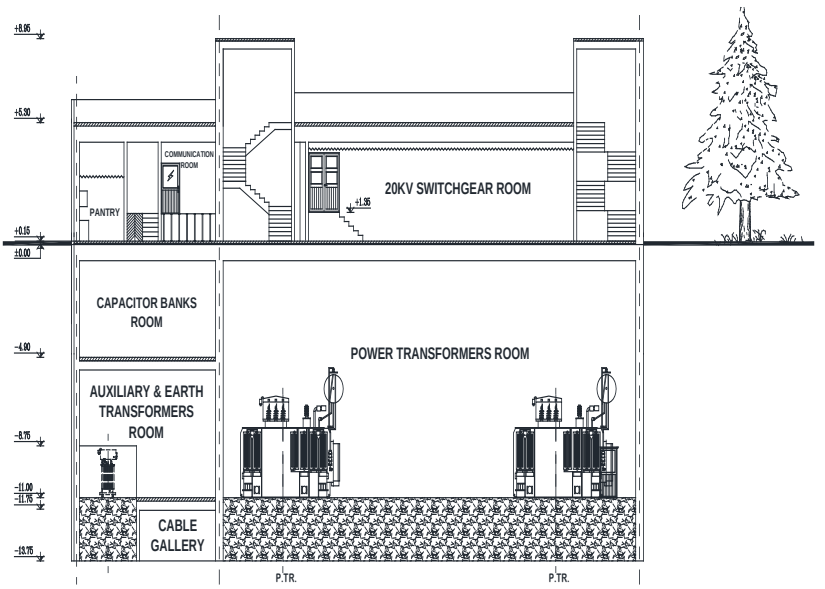
با وجود مزایای پیش‌گفته، احداث پسـت‌های فوق‌توزیع و انتقال در زیر سـطح زمین با چالش‌های تکنیکی متعددی روبروست. در این مقاله چالش‌های مذکور و راهکارهای غلبه بر آن‌ها مورد بررسی قرار گرفته و برای استفاده در پسـت زیرزمینی 132/20kv میدان شهدا مشـهد، که در حال احداث می‌باشـد، تطبیق داده می‌شوند. جهت آشـنایی با سـاختار این پست، نقشـه‌های پلان طبقه ۲- و مقاطع عرضـی و طولی آن به ترتیب در شـکل‌های (۱)، (۲) و (۳) نشـان داده شده‌اند.



شکل ۱: پلان طبقه ۲- پست 132/20kV میدان شهدا مشهد (۲ ترانس قدرت و ۲ ترانس زمین به‌صورت توسعه در نظر گرفته شده‌اند)



شکل ۲: مقطع عرضی (A-A) پست 132/20kV میدان شهدا مشهد



شکل ۳: مقطع طولی (B-B) پست 132/20kV میدان شهدا مشهد

۲- چالش‌های فنی پست‌های زیرزمینی و راه‌کارهای غلبه بر آن‌ها

با توجه به تفاوت ساختار پست‌های فوق‌توزیع و انتقال زیرزمینی با انواع متداول، مسایل و مشکلات جدید و متفاوتی در احداث و بهره‌برداری آن‌ها مطرح می‌شوند که باید در مرحله طراحی و اجرای بخش‌های ساختمانی، الکتریکی و مکانیکی پست، تمهیداتی برای رفع این مشکلات اندیشیده شوند.

۲-۱- حفاظت غیرفعال و ایمنی در برابر حریق

نخستین گام برای حفاظت در برابر آتش‌سوزی، استفاده از تجهیزات با سطح ایمنی بالاتر است. در بین تجهیزات متداول در پست‌های فوق‌توزیع و انتقال بیشترین خطر آتش‌سوزی ناشی از ترانسفورماتورهای قدرت، کمکی، زمین روغنی و سپس کابل‌های مورد استفاده در پست است.

برای کاهش خطر آتش‌سوزی و انفجار ناشی از ترانس‌ها در برخی پست‌های زیرزمینی مانند پست Haymarket 330kV در سیدنی استرالیا از ترانسفورماتورهای گازی استفاده شده، که با توجه به تراکم‌پذیری و غیرقابل اشتعال بودن گاز SF_6 عملا امکان انفجار و اشتعال آن‌ها وجود ندارد [۱]، در بعضی از پست‌های زیرزمینی ترانسفورماتور با روغن کمتر اشتعال‌پذیر (با نقطه آتش بالاتر از 300°C) به کار رفته و در برخی دیگر مانند پست Cathedral Square در ونکوور کانادا نیز کل ترانس قدرت درون محفظه CO_2 تحت فشار قرار گرفته است [۳].

با توجه به خاص بودن تکنولوژی ساخت ترانسفورماتورهای قدرت گازی، تولید آن‌ها در سطح جهان در انحصار چند شرکت محدود است، ضمن اینکه بسیار گران‌تر از ترانس‌های روغنی هستند. ترانس‌های با روغن کمتر اشتعال‌پذیر در مقایسه با ترانس‌های گازی قیمت مناسب‌تری دارند، هرچند که با توجه به قیمت روغن‌های کمتر اشتعال‌پذیر که چند برابر روغن معدنی معمولی است کماکان از ترانس‌های روغنی معمولی گران‌ترند. علی‌رغم تفاوت‌های فیزیکی، شیمیایی و الکتریکی روغن‌های کمتر اشتعال‌پذیر با روغن معدنی معمولی، تکنولوژی ساخت ترانس‌های حاوی آن‌ها تا حد زیادی مشابه ترانس‌های روغنی معمولی است از این رو امکان ساخت آن‌ها در داخل کشور در آینده نزدیک وجود دارد. روغن‌های کمتر اشتعال‌پذیر خود شامل چند گروه: استرهای مصنوعی، استرهای طبیعی، روغن سیلیکون، هیدروکربن‌های با وزن مولکولی بالای طبیعی و مصنوعی هستند.

با توجه به اینکه در حال حاضر ترانسفورماتورهای قدرت گازی و با روغن کمتر اشتعال‌پذیر در کشور تولید نمی‌شوند، با در نظر گرفتن زمان‌بندی پروژه پست میدان شهدا مشهد، دو ترانس قدرت فعلی (و ترانس‌های کمکی و زمین آن‌ها) از نوع روغنی معمولی، به همراه حفاظت‌های تکمیلی (سیستم‌های پایش برخط گاز و رطوبت محلول در روغن و ...)، در نظر گرفته شده‌اند ولی دو ترانس قدرت بعدی (و ترانس‌های زمین آن‌ها) که در آینده تامین خواهند شد از نوع کمتر اشتعال‌پذیر با استر مصنوعی پیش‌بینی شده‌اند که برای این کاربرد مشخصات فنی آن (گران‌روی، مقاومت در برابر اکسیداسیون، تجزیه‌پذیری زیستی و ...) در مقایسه با سایر انواع روغن‌های کمتر اشتعال‌پذیر مناسب‌تر است.

برای کابل‌های پست می‌توان از انواع متداول یا LSZH استفاده کرد که نوع اخیر فاقد ترکیبات هالوژنه بوده و در هنگام آتش‌سوزی دود و گازهای سمی کمتری تولید می‌کنند. با توجه به اینکه قیمت کابل‌های LSZH چند برابر کابل‌های متداول است، استفاده از آن‌ها منحصر به فضاهای عمومی بسته، با تهویه ضعیف و مسیرهای فرار محدود می‌باشد. با در نظر گرفتن اینکه در فضاهای زیرزمینی پست میدان شهدا در شرایط عادی کسی حضور ندارد و حضور افراد در هنگام تعمیر و نگهداری نیز محدود و کنترل شده است، استفاده از کابل‌های LSZH در این پست از نظر فنی- اقتصادی توجیه‌پذیر نبوده و کلیه کابل‌ها از نوع متداول در نظر گرفته شده‌اند.

به منظور محدود کردن آتش‌سوزی و تاثیرات آن بر کارکنان و تجهیزات پست زیرزمینی، فضاهای داخلی آن باید به مناطق حریق جداگانه تفکیک گردند. در پست میدان شهدا این مناطق شامل اتاق هر یک از ترانسفورماتورهای قدرت، اتاق مشترک ترانسفورماتورهای کمکی و زمین، اتاق بانک‌های خازنی، اتاق GIS، گالری کابل، اتاق کنترل و اتاق مخابرات، اتاق سویچ‌گیر 20kV، باتری‌خانه و راه‌پله‌هاست. در این پست علاوه بر در نظر گرفتن حوضچه روغن با پوشش سنگ‌ریزه برای کلیه ترانسفورماتورهای قدرت، کمکی و زمین، یک لبه چند سانتی‌متری در کف پیرامون فضای استقرار بانک‌های خازنی به‌منظور محدود کردن روغنی که احتمال نشت آن از واحدهای خازنی وجود دارد، در نظر گرفته شده است. ضمناً با توجه به فاصله اندک ترانسفورماتورهای قدرت، کمکی و زمین (و همچنین بانک‌های خازنی و کابل‌ها) از سازه و دیوارهای ساختمان پست، اعضای باربر بنا با استفاده از پوشش ضدحریق با ضخامت مناسب در برابر آتش‌سوزی محافظت می‌شوند.

پست‌های فوق‌توزیع و انتقال زیرزمینی در تمام طبقات باید دارای مسیرهای فرار مضاعف باشند [۵]، برای این منظور در پست میدان شهدا مشهد دو راه پله مجزا (با حداکثر فاصله ممکن بر مبنای طرح جانمایی) در نظر گرفته شده است که از کلیه سطوح زیرزمین امکان دسترسی به هر دوی آن‌ها وجود دارد؛ علاوه بر آن به منظور حذف بن‌بست‌های به وجود آمده از دریچه‌ها و نردبان‌های فرار استفاده شده؛ ضمناً کلیه فضاهای زیر سطح زمین دارای دو در خروجی با حداکثر فاصله از هم هستند.

در پست‌های فوق‌توزیع و انتقال زیرزمینی باید برای خارج کردن موج اضافه فشار ناشی از وقوع انفجار یا قوس داخلی، دریچه‌های تخلیه فشار تعبیه شوند که در حالت عادی بسته بوده (برای جلوگیری از رسیدن اکسیژن به حریق احتمالی در داخل پست، نفوذ برف و باران و سیل، وارد شدن حیوانات کوچک و ...)، به ازای اضافه فشار حداکثر 10 mbar باز شده و موج اضافه فشار را به صورت ایمن به محلی از فضای بیرون پست که معمولا افراد حضور ندارند تخلیه نموده و مجددا بسته شوند [۵]. در پست میدان شهدا دریچه‌های تخلیه فشار اتاق‌های ترانس‌های قدرت بر روی در اصلی آن‌ها و نیز دریچه انتقال راهروی مشترک در نظر گرفته می‌شوند و برای تعبیه دریچه‌های تخلیه فشار اتاق مشترک ترانس‌های کمکی و زمین و اتاق بانک‌های خازنی، از بازشوهای در نظر گرفته شده برای بالابر صنعتی در سقف طبقات استفاده می‌گردد.

۲-۲- حفاظت فعال در برابر حریق

پست‌های فوق‌توزیع و انتقال زیرزمینی، با توجه به مخاطرات موجود در آن‌ها، علاوه بر کپسول‌های آتش‌نشانی دستی باید به سیستم اعلام و اطفا حریق خودکار نیز مجهز باشند. در پست Cathedral Square ونکوور از آشکارسازهای حریق یونیزاسیون، استنشاقی و

فروسرخ استفاده شده است [۴] و اطفا حریق هم توسط ترکیبی از سیستم‌های خودکار آب‌فشان، CO_2 و گاز هالون 1301 انجام می‌گیرد [۲]، در حالی که در پست Hiawatha West 115kV در میناپولیس ایالات متحده [۶] صرفا سیستم‌های اطفا حریق آب‌فشان و CO_2 در نظر گرفته شده‌اند.

از بین انواع سیستم‌های اعلام حریق (متعارف، آدرس‌پذیر و هوشمند) برای پست میدان شهدا مشهد با توجه به حساسیت آن، سیستم هوشمند در نظر گرفته شده است. در این پست با توجه به نوع حریق احتمالی، ارتفاع سقف، فضای تحت پوشش، سطح آلودگی محیطی و ... ، برای اتاق‌های ترانس‌های قدرت، راهروی مشترک آن‌ها و اتاق GIS آشکارساز پرتوافکن و برای اتاق مشترک ترانس‌های کمکی و زمین، اتاق بانک‌های خازنی و گالری کابل آشکارساز دودی نوری (نقطه‌ای) پیش‌بینی شده و برای سایر فضاها که مشابه پست‌های متداول هستند، به تناسب آشکارسازهای دودی، حرارتی و گاز (نقطه‌ای) در نظر گرفته شده‌اند. علاوه بر آن توصیه می‌شود که برای کلیه مسیرهای کابل در داخل پست از آشکارساز حرارتی خطی استفاده گردد.

سیستم اطفا حریق این پست با توجه به نوع حریق احتمالی و با در نظر گرفتن شرایط خاص آن مانند بسته بودن فضا، قرار گرفتن در زیر سطح زمین، احتمال حضور افراد، مشکل تخلیه آب و با مقایسه سیستم‌های اطفا حریق مختلف از نظر قدرت خاموش‌کنندگی، سمی بودن، تاثیرات زیست‌محیطی، نیاز به لوله‌کشی و کپسول‌های تحت فشار و ... از نوع سیلندرهای نصب ثابت ایروسل در نظر گرفته شده است.

۲-۳- خنک‌سازی و تهویه

منشاء اصلی تولید حرارت در پست‌های فوق‌توزیع و انتقال زیرزمینی ترانسفورماتورهای قدرت هستند، انتقال این حرارت به فضای آزاد می‌تواند به دو صورت مستقیم یا غیرمستقیم (به وسیله مبدل‌های حرارتی و از طریق مایع واسط) انجام پذیرد. در بسیاری از پست‌های زیرزمینی مانند: Haymarket سیدنی [۱] و Cathedral Square ونکوور [۲] سیستم خنک‌کننده ترانسفورماتورهای قدرت از نوع غیرمستقیم است هرچند که در برخی دیگر مانند پست Hiawatha West میناپولیس [۶] از روش انتقال مستقیم استفاده شده است.

با توجه به پیچیدگی، هزینه بالاتر و عدم وجود سابقه بهره‌برداری از سیستم خنک‌کننده غیرمستقیم در برق منطقه‌ای خراسان، از روش انتقال مستقیم برای ترانسفورماتورهای قدرت (و کمکی و زمین) پست میدان شهدا مشهد استفاده شده که حرارت تولیدی توسط ترانس را به هوای اطراف آن منتقل می‌کند. در این پست خارج کردن حرارت ناشی از ترانسفورماتورها، کابل‌ها و سایر تجهیزات مستقر در زیرزمین با استفاده از تهویه این فضاها انجام می‌شود، برای این منظور کانال‌ها و فن‌هایی در نظر گرفته شده که هوای خنک‌تر را از بیرون پست به پایین‌ترین سطح فضای مورد نظر دمیده و هوای گرم شده را از بالاترین سطح می‌مکند و از پست خارج می‌کنند. برای جلوگیری از گسترش حریق و اطفا موثرتر آن و همچنین کاهش تاثیر بروز آتش‌سوزی در یک منطقه بر روی مناطق مجاور، سیستم تهویه مناطق حریق مختلف پست به طور مستقل و مجزا از هم پیش‌بینی شده‌اند. سیستم تهویه در هر منطقه مجهز به دمپرهای آتش بوده که در صورت بروز آتش‌سوزی تهویه آن منطقه را قطع می‌کند.

با توجه به سنگین‌تر بودن گاز SF_6 موجود در محفظه‌های GIS نسبت به هوا و قرارگیری پست در زیر سطح زمین، برای اجتناب از خفگی افراد حاضر در آن، برای اتاق GIS و گالری کابل زیر آن حس‌گرهای SF_6 و سیستم تهویه اضطراری در نظر گرفته شده تا در صورت نشت گاز SF_6 ضمن اعلام هشدار، از پایین‌ترین سطح اقدام به تهویه فضا نماید. با توجه به اهمیت این تهویه، تغذیه الکتریکی آن باید از منبع قابل اطمینانی که در همه شرایط در دسترس است، انجام پذیرد.

۲-۴- حمل و نقل تجهیزات

با توجه به پایین‌تر بودن سطح نصب تجهیزات نسبت به جاده دسترسی بیرونی، حمل و نقل تجهیزات در پست‌های فوق‌توزیع و انتقال زیرزمینی مستلزم چندین متر جابجایی در ارتفاع است. این مساله به ویژه برای ترانسفورماتورهای قدرت که بیشترین وزن جابجایی را در بین تجهیزات پست دارند اهمیت مضاعفی پیدا می‌کند، برای این منظور در بعضی پست‌های زیرزمینی مانند پست Cathedral Square ونکوور، که در آن امکان استفاده ایمن از جرثقیل متحرک بیرونی وجود نداشته، از بالابر هیدرولیک فوق سنگین استفاده شده [۲] ولی در برخی دیگر مانند پست Hiawatha West میناپولیس [۶] و پست Expo 500kV در شانگهای چین [۷] این امر با استفاده از جرثقیل متحرک بیرونی و از طریق دریچه انتقال تعبیه شده در سقف انجام می‌گردد. برای انتقال سایر تجهیزات در اکثر پست‌های زیرزمینی آسانسور باری و دریچه انتقال در نظر گرفته شده است. با توجه به اینکه تعبیه سطح شیب‌دار نیاز به فضای قابل توجهی دارد در هیچ یک از پست‌های زیرزمینی بررسی شده از این روش برای انتقال تجهیزات استفاده نشده است.

با توجه به طرح پست میدان شهدا مشهد که در آن طول مسیر انتقال ترانسفورماتورهای قدرت حدود ۱۱ متر بوده که در ۳ طرف فاقد دیواره است و همین طور به دلیل عدم ساخت بالابر هیدرولیک فوق سنگین در ایران و هزینه بالای تامین آن و با در نظر گرفتن تعداد دفعات اندک انتقال ترانسفورماتورهای قدرت در طول عمر پست، استفاده از جرثقیل متحرک بیرونی با ظرفیت ۳۰۰ تن و دریچه انتقال با ابعاد ۸/۵×۷/۵ مترمربع (مشترک برای هر ۴ ترانس) پیش‌بینی شده و برای انتقال بی‌های GIS، ترانسفورماتورهای کمکی و زمین و تجهیزات بانک‌های خازنی نیز یک بالابر کششی - هیدرولیک ۵ تن با طول مسیر حرکت ۱۱ متر و ۳ توقف در نظر گرفته شده است. در این پست به‌منظور تسهیل در جابه‌جایی ترانسفورماتورهای قدرت در زیرزمین، در طول اتاق‌های ترانس‌های قدرت و راهروی مشترک آن‌ها به صورت متقاطع ریل‌گذاری می‌شود.

۲-۵- مونتاژ تجهیزات

تجهیزاتی که مونتاژ آن‌ها در محل پست انجام می‌گیرد شامل ترانسفورماتورهای قدرت، بی‌های GIS و بانک‌های خازنی هستند. برای این منظور در برخی پست‌های زیرزمینی مانند پست Cathedral Square ونکوور علاوه بر اتاق GIS برای هر یک از ترانسفورماتورهای قدرت نیز جرثقیل سقفی دروازه‌ای مستقل در نظر گرفته شده [۱] ولی در برخی دیگر مانند پست Hiawatha West میناپولیس از جرثقیل سقفی صرفا در اتاق GIS استفاده شده و برای مونتاژ ترانسفورماتورهای قدرت در زیر سقف اتاق هر یک از آن‌ها یک تیر I شکل پیش‌بینی شده است [۴].

در پست میدان شهدا مشهد، با توجه به نحوه چیدمان ترانسفورماتورهای قدرت، برای هر دو ترانسی که روبروی هم قرار می‌گیرند یک جرثقیل

سقفی دروازه‌ای در نظر گرفته شده (با احتساب اتاق GIS مجموعاً ۳ جرثقیل) و برای تسهیل مونتاژ بانک‌های خازنی، که تجهیزات سبک‌تری داشته و سقف اتاق آن‌ها نیز کوتاه‌تر است، صرفا قلاب‌هایی در زیر سقف تعبیه می‌شود.

۲-۶- جلوگیری از نفوذ آب و تخلیه آن

با توجه به پایین‌تر بودن کد ارتفاعی پست‌های زیرزمینی نسبت به محیط اطراف و احاطه شدن آن‌ها توسط خاک طبیعی، این پست‌ها به شدت در معرض هجوم و نفوذ آب قرار دارند.

در پست Cathedral Square ونکوور برای جلوگیری از نفوذ آب کلیه دیوارهای خارجی پست با بتن ضد آب اجرا شده‌اند ولی با توجه به ضخامت این دیوارها و لایه شاتکریت سازه نگهبان پشت آن‌ها، ترکیب خاص بتن مورد استفاده و تعبیه یک سیستم زهکشی دائمی در اطراف پست که آب‌های زیرزمینی را از پشت دیوارها جمع‌آوری می‌کند و به منظور صرفه‌جویی اقتصادی و زمانی، از اجرای لایه ضدآب صرف نظر شده است. علاوه بر آن در این پست تعدادی مخزن تعبیه شده‌اند که آب وارد شده از طرق مختلف و همچنین آب ناشی از عملکرد سیستم اطفا حریق آب‌فشان را جمع‌آوری کرده و به سیستم فاضلاب ترکیبی شهر ونکوور منتقل می‌کنند [۱].

در پست میدان شهدا مشهد، با توجه به محدودیت‌های تکنولوژیک موجود و همچنین عدم امکان اجرای سیستم زهکش دائمی بیرونی، علاوه بر اجرای کف و دیوارهای خارجی با بتن ضدآب، یک لایه عایق رطوبتی نیز برای آن‌ها در نظر گرفته شده است. با توجه به بالا بودن سطح آب‌های زیرزمینی و نوع خاک محل پست، هیچ نوع چاه جذبی یا منفذی در کف آن تعبیه نشده و بجای آن در پایین‌ترین سطح پست یک مخزن در نظر گرفته می‌شود که آب وارد شده از تمام طبقات زیرزمین به درون آن هدایت شده و سپس به نزدیک‌ترین کانال جمع‌آوری آب‌های سطحی میدان شهدا پمپاژ می‌گردد. علاوه بر موارد فوق به منظور کاهش حجم آب ورودی به پست کلیه بازشوهای خارجی تعبیه شده در آن و همه مسیرهای منتهی به زیرزمین مجهز به دریچه‌ها، درپوش‌ها و درهای ضدآب می‌گردند که در حالت عادی بسته هستند، ضمن اینکه کد ارتفاعی همکف حدود 15cm بالاتر از سطح پیاده‌روی مجاور در نظر گرفته شده تا یک حاشیه اطمینان در برابر سیل‌گرفتگی ایجاد نماید، بدون اینکه برای تردد افراد یا انتقال تجهیزات به پست مشکلی به وجود آورد. ضمناً با توجه به بالاتر بودن کد ارتفاعی بخش اصلی تونل خطوط کابلی 132kV نسبت به پایین‌ترین سطح پست، قبل از شروع شیب منفی تونل به سمت پست، برای آن دیواره جداکننده مجهز به در ضدآب پیش‌بینی شده است.

۲-۷- کنترل نویز و ارتعاشات

منابع اصلی ایجاد سر و صدا و ارتعاشات در پست میدان شهدا مشهد ترانسفورماتورهای قدرت و فن‌های تهویه هستند. به منظور محدود کردن انتشار ارتعاشات ناشی از ترانس‌های قدرت، بین مخزن و فونداسیون آن‌ها پدهای لاستیکی لرزه‌گیر پیش‌بینی شده است. برای کاهش سر و صدای فن‌های تهویه، که بر روی بام ساختمان نصب می‌شوند، این فن‌ها از نوع کم صدا تامین می‌شوند؛ ضمن اینکه می‌توان آن‌ها را درون محفظه‌های جاذب صدا و مجهز به صداگیر نصب کرد. علاوه بر آن با نصب دیواره‌های جاذب صوت بر روی بام امکان محصور کردن فضای قرارگیری فن‌های تهویه نیز وجود دارد.

۳- نتیجه‌گیری

احداث پست‌های انتقال و فوق‌توزیع به صورت زیرزمینی راه‌حل مناسبی برای کاهش هزینه کلی و محدودیت جایابی این پست‌ها در مناطق مرکزی کلان‌شهرهاست، با این وجود پست‌های زیرزمینی در مقایسه با انواع متداول با چالش‌های تکنیکی جدید و متفاوتی مانند حفاظت و ایمنی در برابر حریق، خنک‌سازی و تهویه، حمل و نقل و مونتاژ تجهیزات، جلوگیری از آب‌گرفتگی و کنترل نویز و ارتعاشات روبه‌رو هستند. در این مقاله جنبه‌های مختلف این چالش‌ها بررسی شده و ضمن توجه به تجربیات جهانی، با در نظر گرفتن شرایط کشور راهکارهایی برای رفع آن‌ها پیشنهاد گردیده که در طراحی و اجرای بخش‌های ساختمانی، الکتریکی و مکانیکی پست زیرزمینی 132/20kV میدان شهدا مشهد اعمال شده‌اند.

***

منابع

[1] Fitzgerald, C. & others, “A compact, high capacity 330kV substation for the sydney central business district”, CIGRÉ Session 2004, B3-203

[2] Dos Remedios, C.A., Hahn, J., Trousdell, R.B. and LO, K.K., “Cathedral square: a major 230/12 kV urban underground substation. Part 1: civil and mechanical design”, IEE proc. C, Gen. Trans. & distrib., 1987, 134, (1), pp. 52-60

[3] Peelo, D.F. & others, “Cathedral square: a major 230/12 kV urban underground substation. Part 2: 230 kV electrical design features”, IEE proc. C, Gen. Trans. & distrib., 1987, 134, (1), pp. 61-67

[4] Peelo, D.F. & others, “Cathedral square: a major 230/12 kV urban underground substation. Part 3: 12 kV electrical and other general design features”, IEE proc. C, Gen. Trans. & distrib., 1987, 134, (1), pp. 68-74

[5] Liang, X., Da-yong, T., Zhi-fu, L., “Research on large scale equipment hoisting for underground substation”, Journal of Electric Power Science and Technology, 2010-02

[6] Sargent & Lundy LLC, “Final Hiawatha underground substation study paper”, 2009

[7] Perrier, C., Beroual, A., “Experimental investigations on insulating liquids for power transformers: mineral, ester, and silicone oils”, IEEE Electrical Insulation Magazine, 2009

[8] ABB, Doble, “Life of a transformer”, Seminar February 7, 2012

[9] Nynas, “Transformer Oil Handbook”, Nynas Naphthenics AB, Sweden, 2004

[10] CIGRE, Working Group A2-35, “Experiences in service with new insulating liquids”, October 2010

[11] Wang, Z.D. & others, “Ester insulating liquids for power transformers”, CIGRE 2012, A2-209

[12] Lashbrook, M., Kuhn, M., “The use of ester transformer fluids for increased fire safety and reduced costs”, CIGRE 2012, A2-210

[13] Hellebuyck, D., “Functional performance criteria for comparison of less flammable transformer oils with respect to fire and explosion risk”, 2013, Lund

[14] Pawel, R. , “Properties of new environmentally friendly biodegradable insulating fluids for power transformers”, 1st Annual International Interdisciplinary Conference, AIIC 2013, 24-26 April, Azores, Portugal

[15] Martin, D., Khan, I., Dai, J., Wang, Z.D., “An overview of the suitability vegetable oil dielectrics for use in large power transformers”, Euro TechCon 2006

[16] IEEE Std C57.155, “IEEE guide for interpretation of gases generated in natural ester and synthetic ester-immersed transformers”, 2014

[17] Toshiba, “Solution against various substation requirement with gas insulation technologies”, CIGRE Romania, April, 2008

[18] ABB, “Switchgear Manual”, Edition 12, 2012, ABB Calor Emag Schaltanlagen AG, Mannheim

[19] Siemens, “Power Engineering Guide”, Edition 7.1, 2014, Siemens Aktiengesellschaft, Munich and Berlin

[20] IEC 61936-1, “Power installations exceeding 1 kV a.c. - Part 1: common rules”, Edition 2.0, 2010

[21] IEEE Std 979, “IEEE guide for substation fire protection”, 2012

[۲۲] سلطان‌دوست، محمدرضا، ((سیستم‌های اعلام حریق))، چاپ اول، ۱۳۸۵، پورزند وکیل، تهران