

نشریه علمی-تخصصی

پژوهش‌های نوین مهندسی

فصلنامه پژوهش‌های نوین علوم مهندسی، سال اول، شماره ۱، بهمن ۱۳۹۵

ارائه الگوی مدیریت کیفیت در پروژه‌های پل سازی

حسین صائمی، صفا خزایی

شناسایی پارامترهای موثر بر مطالعات مهندسی ارزش و ارائه راهکارهای اجرایی در پروژه‌های ساختمانی (مطالعه موردی پروژه آبیگ قزوین)

محمد میرزایی، وحید بدری

دستاوردهای ابزار دقیق و رفتارنگاری در تونل کاری مناطق خاص شهری، مطالعه موردی خط قطار شهری کرج و حومه

حسن یازرلو، فرزین هزارخوانی، ساعد خوشنواز رازلیقی، محمد صادق ضیاپور رازلیقی

بهبود تشخیص خطای سنسور در ماشین‌های القایی با تبدیل موجک و پیکربندی فیلتر کالمن توسعه یافته

حسن فاتحی مرج، سجاد باقری

پیاده‌سازی حمله الکترومغناطیس بر روی سیستم رمزنگاری □□□ با ساخت پروبی بهینه و با حساسیت بالا

فرهاد تقیان، رضا حق مرام، یعقوب قانع

پژوهش‌های نوین علوم مهندسی

نشریه پژوهش‌های نوین علوم مهندسی،
سال اول، بهمن ۱۳۹۵، شماره ۱

صاحب امتیاز و مدیر مسئول:

امیرحسین یوسفی

سر دبیر: میلاد فتاحی

مدیر داخلی: زهرا السادات چاوشی

هیئت تحریریه:

جناب آقای محمد فرهانی اسلامی

سرکار خانم مرضیه صمدی

جناب آقای نوید جیدی

سرکار خانم مرضیه ملائی

جناب آقای مهرداد فتاحی

نشانی تحریریه: تهران، افسریه، ۱۵ متری چهارم،
خیابان ۳۸، پلاک ۲۸، واحد ۲

☎ ۰۲۱ ۳۳۲۰ ۲۴۸۱ ☎ ۰۲۱ ۴۳۸۵ ۷۱۲۴ 📠

پژوهش‌های نوین مقدمه‌ساز

سال اول، شماره یک، بهمن ۱۳۹۵

فهرست مقالات

صفحه	عنوان مقاله
۱	ارائه الگوی مدیریت کیفیت در پروژه‌های پل سازی حسین صائمی، صفا خزایی
۱۱	شناسایی پارامترهای موثر بر مطالعات مهندسی ارزش و ارائه راهکارهای اجرایی در پروژه‌های ساختمانی (مطالعه موردی پروژه آبیگ قزوین) محمد میرزایی، وحید بدری
۲۱	دستاوردهای ابزار دقیق و رفتارنگاری در تونل کاری مناطق خاص شهری، مطالعه موردی خط ۲ قطار شهری کرج و حومه حسن یازرلو، فرزین هزارخوانی، ساعد خوشنواز رازلیقی، محمد صادق ضیاپور رازلیقی
۳۵	بهبود تشخیص خطای سنسور در ماشین‌های القایی با تبدیل موجک و پیکربندی فیلتر کالمن توسعه یافته حسن فاتحی مرج، سجاد باقری
۴۵	پیاده‌سازی حمله الکترومغناطیس بر روی سیستم رمزنگاری AES با ساخت پروبی بهینه و با حساسیت بالا فرهاد تقیان، رضا حق مرام، یعقوب قانع

ارائه الگوی مدیریت کیفیت در پروژه‌های پل سازی

حسین صائمی^{۱*}، صفا خزایی^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران - مهندسی و مدیریت ساخت - دانشگاه امام حسین (ع)

۲- استادیار گروه مهندسی عمران - دانشگاه امام حسین (ع)

saemi1261@gmail.com

چکیده

بدون تردید، اعمال مدیریت کیفیت در پروژه‌های پل سازی به منظور توانمندسازی هرچه بهتر نظام ساخت و ساز در شهرها، برآورده کردن نیازهای کارفرما و بهره برداران، و کاهش فعالیتهای دوباره کاری در اجرا در کنار افزایش مشارکت عوامل طراحی موجبات افزایش رضایت مندی و همچنین افزایش منافع اقتصادی را برای شهروندان و شهرداریها به همراه خواهد داشت. هدف این پژوهش، ارائه یک الگوی مناسب مدیریت کیفیت در پروژه‌های پل سازی به منظور برنامه ریزی صحیح در استفاده بهینه از منابع و زمان، جلوگیری از هزینه های بی مورد، ارتقاء سطح خدمات رسانی به منظور افزایش رضایت مندی شهروندان، و استفاده موثر از امکانات بالقوه سطح منطقه می باشد. این الگو برای مدیریت کیفیت پروژه پل تقاطع غیرهمسطح شیخ فضل الله و جناح که یکی از پروژه‌های بزرگ پل سازی شهری قرارگاه سازندگی خاتم الانبیاء است مورد استفاده قرار گرفته است.

واژه‌های کلیدی: الگو، مدیریت کیفیت، پروژه‌های پل سازی

۱- مقدمه

به طور کلی مدیریت کیفیت یعنی نظارت بر فرآیند ساخت و تولید محصول برای ایجاد اطمینان از مطابقت محصول با آنچه مورد نظر طراح یا کارفرما بوده است. از اینرو، مدیریت کیفیت طیف وسیعی از فعالیت ها، اعم از قابلیت دسترسی، راحتی حمل و نقل، مصرف کم انرژی، سهولت آموزش و بکارگیری محصول و همچنین تعمیر و نگهداری و بازیافت را در بر می گیرد [۱]. امروزه وجود برخی مشکلات در پروژه های عمرانی مانند استفاده از مصالح با کیفیت نامطلوب، کیفیت نامناسب اجرا، عدم توجه به محیط کار و نیروی انسانی و هزینه فعالیتهای دوباره کاری باعث توجه به ایجاد سیستم مدیریت کیفیت در این صنعت شده است [۲]. مشکلاتی مانند کیفیت پایین اجراء، عدم توجه به محیط کار و نیروی انسانی و هزینه های دوباره کاری باعث توجه به ایجاد سیستم مدیریت کیفیت در صنعت عمران شده است [۳]. صنایع عمرانی با توجه به اختصاص بخش عمده ای از بودجه کشورها به خود، از اهمیت فوق العاده ای برخوردار می باشند و اعمال مدیریت کیفیت بر آنها به منظور توانمندسازی مستمر، برآورده کردن نیازهای متقاضیان، کاهش دوباره کاری ها، افزایش مشارکت کارکنان و کارگروهی منجر به سودآوری قابل توجهی می گردد [۴].

پروژه‌های پل سازی با توجه به اختصاص بخش عمده‌ای از بودجه شهرها و شهرداری‌ها به خود، از اهمیت فوق العاده ای برخوردار می باشند. از این رو، اعمال مدیریت کیفیت در پروژه‌های پل سازی به منظور توانمندسازی هرچه بهتر نظام ساخت و ساز در شهرها، برآورده کردن نیازهای کارفرما و بهره برداران پروژه‌ها، کاهش فعالیتهای دوباره کاری در اجرا در کنار افزایش مشارکت عوامل طراحی، اجرا و بهره برداری، موجبات افزایش رضایتمندی و همچنین افزایش منافع اقتصادی را برای شهروندان و شهرداریها به همراه خواهد داشت [۵]. با توجه به اینکه اجرای با کیفیت پروژه‌های پل سازی و یا نظارت بر اجرا با کیفیت آنها، یکی از مهمترین نیازهای ذاتی شهرداری های کشور می باشد و

قرارگاه سازندگی خاتم الانبیا در این صنعت با توان بالایی در کشور درگیر شده است، مدیریت و هدایت کیفیت در پل سازی در کنار فرهنگ سازی در راستای ارتقاء کیفی پروژه ها می تواند یکی از راهکارهای رسیدن به این مهم باشد.

تعداد پروژه ها (مقالات، پایان نامه و پژوهشهای مرتبط با این موضوع) و مطالبی که به طور اخص به مبحث مدیریت کیفیت در پلسازی پرداخته باشند محدود است و تعداد زیادی مرجع معتبر در این زمینه وجود ندارد. از جمله پایان نامه ثامتی (۱۳۸۲) که به مبحث برنامه ریزی و کنترل پروژه مبتنی بر بانک اطلاعاتی (در پروژه های پل سازی) پرداخته است [۶]. ثامتی در پایان نامه کارشناسی ارشد خود ضمن اشاره به این که فرایند مدیریت پروژه مستلزم یک کار گروهی میان سه رکن اساسی دست اندرکار هر پروژه یعنی "کارفرما"، مشاور" و "پیمانکار" است، الگوریتمی را برای سیستم مدیریت اطلاعات پروژه های پل سازی پیشنهاد میدهد که که گرد آوری اطلاعات عمومی پروژه (تعریف مشخصات اصلی سیستم های سازه ای پروژه، تعریف موقعیت اجرایی و شرایط کاری پروژه و تعریف اقلام اصلی و هزینه های پیش بینی پروژه) نقطه شروع این الگوریتم می باشد. علاوه بر آن وی به این موضوع می پردازد که برای طرح ریزی یک برنامه فراگیر، لازم است که پروژه به واحدهای کوچکتر و با تعریف واضح و روشن به گونه ای شکسته شود که قابلیت اندازه گیری و برنامه ریزی را داشته باشد. این فرایند به ساختار تجزیه کار معروف است، پس از آن می توان افراد تیم پروژه را متناسب با مهارتها و کارایی های مورد نیاز انتخاب کرد.

هدف اصلی این پژوهش، بررسی و تدوین مدیریت کیفیت در پروژه های پل سازی به منظور برنامه ریزی صحیح در استفاده بهینه از منابع و زمان، جلوگیری از هزینه های بی مورد (در استفاده از مصالح، نیرو، ماشین آلات و ...)، ارتقاء سطح خدمات رسانی به منظور افزایش رضایت مندی شهروندان، و استفاده موثر از امکانات بالقوه سطح منطقه می باشد. در این راستا، این تحقیق به بررسی و تحلیل پروژه پل تقاطع غیرهمسطح شیخ فضل الله و جناح در قالب یک مطالعه موردی می پردازد. تعداد پروژه های پل سازی شهری در حال ساخت در کشور رو به افزایش است اما متأسفانه اکثر این پروژه ها به لحاظ سیستم های کیفیتی مورد تجزیه و تحلیل قرار نگرفته اند. لذا با توجه به اینکه قرارگاه سازندگی خاتم الانبیا در زمینه احداث پروژه های پل سازی شهری نقشه بسزایی در کشور دارد نتایج حاصله از این پژوهش قابل استفاده در پروژه های مشابه بوده و در کیفیت مدیریت و ساخت و اجرای این پروژه ها می تواند مثرمتر واقع گردد.

۲- اهداف مدیریت کیفیت در پروژه های عمرانی

مدیریت کیفیت معمولاً به منظور دستیابی به اهداف ذیل اجرا می گردد:

۲-۱- مدیریت سازه

امن ترین و با دوام ترین سازه ها معمولاً آن هایی هستند که به خوبی مدیریت شده اند. ارزیابی و پایش نقشی ضروری در مدیریت ساخت دارند. داده های به دست آمده از برنامه کنترل و تضمین کیفیت به منظور بهینه سازی عملیات، نگهداری و تعمیر و جایگزینی سازه بر اساس داده های هدفدار و قابل اطمینان مورد استفاده قرار می گیرند. کشف آسیب های پیش رو می تواند جهت کشف انحرافات از عملکردهای طراحی مورد استفاده قرار گیرند. کنترل کیفیت می تواند در سیستم های مدیریت سازه یکپارچه شود و کیفیت تصمیم ها را بر اساس ایجاد اطلاعات نا اریب و قابل اطمینان افزایش داد. سازه های بسیاری در شرایطی بهتر از انتظار قرار دارند. در این موارد، مدیریت کیفیت جهت افزایش امنیت بیشتر بدون دخالت در سازه مورد استفاده قرار می گیرد. استفاده از مزیت مواد بهتر، تاثیر هم افزایی و طراحی بهتر، می تواند طول عمر و یا ظرفیت تحمل بار سازه را افزایش دهد. سرمایه گذاری کوچکی در ابتدای پروژه می تواند ذخیره بسیاری را با از بین بردن با کاهش طراحی های مجدد عناصر سازه به همراه داشته باشد. سازه های کمی ممکن است ناکارا باشند به نحوی که نتوان با بازرسی بصری یا مدل سازی تشخیص داد. در این موارد، می توان امنیت را افزایش داد و هزینه های مدیریت را با تصمیم گیری های درست قبل از آنکه خیلی دیر شود اصلاح نمود. تعمیرات اگر در زمان مناسب انجام شود، ارزان تر خواهد بود و باعث اختلال کمتری در استفاده از سازه می شود. همچنین، پایش می تواند هزینه های بیمه را کاهش دهد. تاثیر اقتصادی ناکارآمدی سازه دو جنبه دارد: مستقیم و غیر مستقیم. تاثیر مستقیم توسط هزینه های ساخت مجدد می شود در حالیکه تاثیرات غیر مستقیم شامل زیان های وارده بر بخش های دیگر اقتصاد می باشد.

۲-۲- افزایش امنیت

عیوب یا خرابی های سازه های عمرانی اغلب نتایج جدی را به همراه دارند. جدی ترین آن ها، تصادفات یا اتفاقات شامل قربانیان انسانی می باشد. حتی زمانی که زیان جانی در میان نباشد، خروج بخشی یا کل سازه زیربنایی از خدمت رسانی (سرویس) مردم را دچار مشکل می نماید. داشتن یک مدیریت کیفیت جامع و قابل اطمینان از سازه، می تواند به تضمین امنیت سازه و کاربرانش کمک نماید.

۲-۳- بهبود دانش

یادگیری چگونگی عملکرد سازه در واقعیت و یا شرایط آزمایشگاهی می تواند به طراحی بهتر سازه ها در آینده کمک نماید. این موضوع می تواند منجر به سازه های ارزان تر، امن تر و با دوام تر با قابلیت اطمینان بیشتر و عملکرد بهتر گردد. سازه ها به دلیل عواملی چون منطقه جغرافیایی، تاثیرات محیطی، ویژگی های خاک، بارها و غیره متنوع می باشند. ایجاد یک دانش رفتاری مطلق غیرممکن می باشد چرا که دو سازه مشابه وجود ندارد. یک راه مناسب جهت توسعه دانش عملکرد سازه پایش رفتار آن ها می باشد. این موضوع دلیل پایش در تمام طول دوره عمر سازه ها، از ساخت تا پایان دوره خدمت رسانی، از دیدگاه نظری و مدیریت سازه می باشد. نظریه ها نیاز به آزمون دارند و یک روش مناسب برای آزمون نظریه های سازه های عمرانی پایش می باشد. برای سازه های ساخته شده از مواد غیرمعمول (مانند سقف های شامل پوسته نازک پلاستیک) پایش یک راه کارا در درک رفتار واقعی و تعریف مجدد نظریه های رفتار می باشد.

رویکردهای متفاوتی می تواند برای مدیریت کیفیت سازه وجود داشته باشد که به طور کلی بسته به رفتار سازه و اهداف مورد نظر می تواند مورد استفاده قرار گیرد. به طور مثال، برنامه ریزی کیفیت می تواند در طول دوره ای کوتاه و یا بلند مدت در نظر گرفته شود. و یا ابزارهای بکار رفته در کنترل کیفیت می توانند، به صورت پیوسته و یا گسسته در طول زمان پارامترهای مهم و حساس را مورد پایش قرار دهند. زمان بندی و گام های پایش بسته به چگونگی سرعت تغییرات پارامترهای تحت پایش در طول زمان دارد. در برخی کاربردها، پایش گسسته نتایج رضایت بخشی را به همراه دارند، اما اطلاعات ثبت نشده در بین گام های بازرسی برای همیشه از دست می روند. تنها پایش پیوسته در طول دوره عمر سازه می تواند اطلاعات کامل را از سازه ثبت نماید و به درک رفتار واقعی سازه کمک می نماید. سرمایه گذاری در نگهداری و تعمیر سازه، با استفاده از بازرسی های دوره ای به عنوان ابزار کنترل، ممکن است از هزینه یک سازه جدید بیشتر شود.

۳- مدیریت کیفیت در پروژه های پل سازی

در ادامه، اهمیت استفاده از مدل کیفیت جامع در کلیه مراحل پل سازی بیان می شود:

۳-۱- کیفیت دوره ساخت پل جدید

مرحله ساخت در دوره عمر سازه بسیار حساس می باشد. برای سازه های بتنی، ویژگی های مواد در طول دوره تغییر می نماید. شناخت اینکه آیا ویژگی های مورد نیاز به دست آمده است یا خیر بسیار مهم است. عیوب (به طور مثال شکست زودرس) که در طول ساخت بوجود می آید ممکن است عواقب جدی را برای عملکرد سازه به همراه داشته باشد. کنترل کیفیت در این مرحله کمک می نماید، مهندس سازه رفتار واقعی سازه را درک نماید و این منجر به تخمین های بهتر از عملکرد واقعی و اقدامات اصلاحی مناسب می شود.

اطلاعات مهم به دست آمده در طول پایش دوره ساخت شامل موارد ذیل می باشد: تخمین زمان سفت شدن بتن به منظور تخمین زمانی است که تنش های شریکیج شروع به ایجاد شدن می نماید؛ معیارهای تغییر شکل در طول عمر ابتدایی بتن به منظور تخمین تنش درونی و ریسک شکست زودرس؛ زمانی که سازه ها در فازهای متوالی ساخته می شوند، ارزیابی می تواند به بهبود ترکیب بتن در صورت نیاز کمک نماید؛ در مورد سازه های پیش ساخته، حسگرها می تواند برای کنترل کیفیت مفید باشند؛ بهینه سازی بین فازهای متوالی بتن ریزی به دلیل ارزیابی سفت شدن بتن در فازهای قبلی؛ برای سازه مقاوم شده، پایش تغییر شکل کابل ها به تنظیم نیروهای مقاوم سازی و تعیین وارفتگی بتن؛ پایش محل ساخت به شناخت ریشه های تنش های درونی کمک می نماید؛ آسیب های بوجود آمده در اثر بارهای نامتعارف مانند توفان یا زلزله در طول ساخت می تواند عملکرد نهایی سازه را تحت تاثیر قرار دهد؛ تنظیمات بهینه وضعیت سازه در طول ساخت یا نصب؛ بهبود دانش و کالیبراسیون مجدد مدل ها.

ایجاد یک سیستم مدیریت کیفیت در طول مرحله ساخت کمک می نماید که اجرای آن در کل دوره عمر سازه صورت پذیرد. از آنجایی که اغلب سازه ها باید در طول دوره خدمت رسانی چندین بار بازرسی گردند، بهترین راه برای کاهش هزینه های پایش و بازرسی، نصب سیستم کنترل و تضمین کیفیت از آغاز دوره عمر سازه می باشد.

۳-۲- کیفیت پل پس از نوسازی، مقاوم سازی و یا توسعه

فرسایش مواد و یا آسیب، در اغلب موارد دلیل بازسازی سازه‌های موجود می‌باشند. همچنین، نیازمندی‌های عملکردی جدید برای پل‌ها (به عنوان مثال توسعه) منجر به نیازمندی مقاوم سازی می‌شود. اگر عناصر مقاوم سازی از بتن جدید تشکیل شده باشد، باید مطمئن شد که بر هم کنش خوبی بین بتن جدید و سازه موجود وجود داشته باشد. تغییر شکل سریع بتن جدید تنش‌های درونی را ایجاد می‌نماید و چسبندگی بد دلیل تورق (لایه لایه شدن) بتن جدید می‌باشد، این عیوب فعالیت‌های مقاوم سازی و یا تعمیر پل را از بین می‌برند.

۳-۳- کیفیت پل در طول دوره آزمون

پل‌ها به دلیل بررسی امنیت ملزم به آزمون قبل از خدمت رسانی می‌باشند. در این مرحله، می‌بایست سطح عملکرد مورد نیاز سازه به دست آید. پارامترهای متداول در کنترل کیفیت این مرحله (نظیر تغییر شکل فیزیکی سازه، تغییر شکل نسبی، جابجایی، گردش بخشی و ایجاد ترک) سنجیده می‌شوند. آزمون‌ها به منظور درک رفتار واقعی سازه و مقایسه با تخمین‌های نظری انجام می‌پذیرد. پایش در طول این فاز می‌تواند به منظور کالیبراسیون عددی مدل‌های تفسیر رفتار سازه مورد استفاده قرار گیرد.

۳-۴- کیفیت خدمت رسانی (سرویس) پل

فاز خدمت رسانی مهمترین دوره در چرخه حیات سازه می‌باشد. در طول این فاز، مواد تشکیل دهنده سازه در اثر کارکرد فرسایش می‌یابند. بتن ترک بر می‌دارد و دچار خزش می‌شود، فلزات اکسیده می‌شوند و ممکن است به دلیل حمل خستگی ترک بردارند. فرسایش مواد ممکن است بر اثر عوامل مکانیکی (بار بیش از حد تخمین زده شده در بررسی تئوری) و عوامل فیزیکی - شیمیایی (خوردگی فلز، نفوذ نمک و کلراید در بتن، خشک شدن بتن و غیره) باشد. به عنوان اثرات فرسایش مواد، ظرفیت، دوام و امنیت سازه کاهش می‌یابد. کنترل و تضمین کیفیت در طول دوره خدمت رسانی اطلاعاتی را درباره رفتار سازه تحت بار تخمین زده شده، و همچنین ثبت اثرات بار اضافی پیش بینی نشده ارائه می‌نماید. داده‌های به دست آمده توسط پایش جهت کشف آسیب‌ها، ارزیابی امنیت و تعیین ظرفیت تحمل سازه مفید می‌باشند. کشف آسیب سریع به طور ویژه مهم می‌باشد چرا که منجر به مداخله مناسب و به موقع خواهد شد. اگر آسیب کشف نشود، انتشار آسیب ادامه می‌یابد و سطح عملکرد مورد نیاز سازه دیگر قابل تضمین نمی‌باشد. کشف دیر هنگام آسیب همچنین منجر به هزینه‌های نوسازی به مراتب بالاتر و یا در برخی موارد، ناچار به اجرای مرحله تخریب سازه می‌شود. در مناطق لرزه خیز اهمیت کنترل کیفیت حساس تر و بحرانی تر خواهد بود.

۳-۵- کیفیت تخریب (پیاده سازی) پل

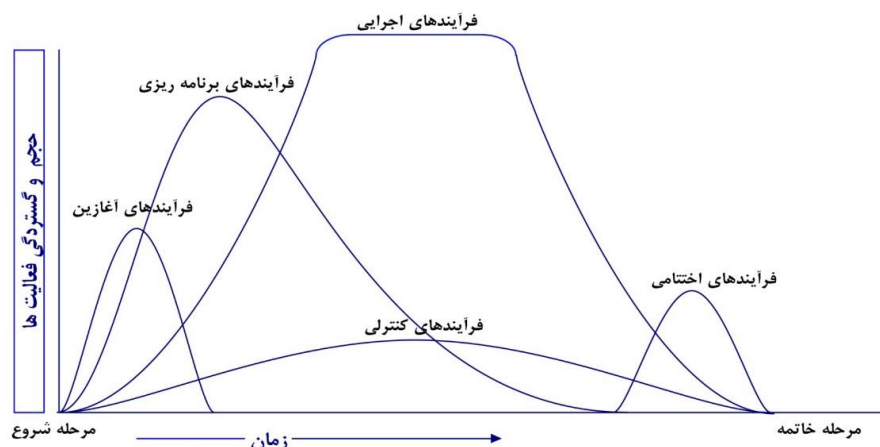
زمانی که سازه دیگر پاسخگوی عملکردهای مورد نیاز نمی‌باشد و هزینه‌های تعمیر و یا مقاوم سازی به شدت بالا می‌باشند، آخرین چرخه طول عمر سازه اجرا می‌شود و بهتر است که سازه پیاده سازی یا تخریب شود. تضمین کیفیت در این مرحله کمک می‌نماید تا تخریب سازه امن و با موفقیت انجام پذیرد.

در هر یک از مراحل دوره عمر پروژه‌های پل سازی فوق پارامترهای مهم جهت کنترل کیفیت و یا تضمین کیفیت پیشنهاد شده است. استفاده از ابزارهای مناسب کنترلی به عنوان طرح کنترل کیفیت و روش‌های اجرایی مناسب با نوع پروژه و همچنین فرم‌های بکار رفته در آن طرح تضمین کیفیت پروژه را شامل می‌گردند که بسته به نوع پروژه طراحی می‌گردد. در ادامه در بخش بعدی پروژه تقاطع غیرهمسطح شیخ فضل الله و جناح به عنوان یک مثال کاربردی معرفی می‌گردد.

۴- الگوی پیشنهادی مدیریت کیفیت در پروژه‌های پل سازی

۴-۱- چرخه حیات پروژه و مراحل استقرار مدیریت کیفیت

کنترل کیفیت جزء فرآیندهای نظارت و کنترل است و شامل فرآیندهایی که برای ردگیری و بازنگری در عملکرد پروژه و شناسایی حوزه‌هایی که در آن تغییرات مورد نیاز است می‌باشد به بیان دیگر کنترل کیفیت عملکرد پروژه را در راستای شناسایی انحراف از برنامه مدیریت پروژه به صورت مستمر و منظم زیر نظر می‌گیرد



نمودار ۱- چرخه حیات پروژه و مراحل استقرار مدیریت کیفیت

۵- مدیریت کیفیت پروژه

مدیریت کیفیت پروژه، شامل فرآیندها و فعالیت هایی از سازمان اجرایی است که مشخص کننده مسئولیتها، اهداف و سیاستهای کیفی در جهت تامین نیازهایی است که پروژه بدان منظور اجرا می شود. مدیریت کیفیت در پروژه های پل سازی از سه بخش ۱- برنامه ریزی کیفیت ۲- کنترل کیفیت و ۳- تضمین کیفیت تشکیل شده است.

۵-۱- برنامه ریزی کیفیت

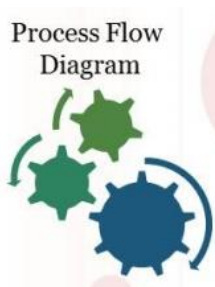
شناسایی الزامات کیفیت و یا استانداردها برای پروژه و محصول و مستند سازی اینکه چگونه پروژه این تطابق را نشان می دهد. برنامه ریزی کیفیت باید به موازات دیگر فرآیندهای برنامه ریزی پروژه انجام گردد. تغییر در محصول پروژه به منظور تامین استانداردها ممکن است تنظیمات هزینه یا زمانبندی یا یک تحلیل تفضیلی ریسک را به همراه داشته باشد. جهت برنامه ریزی کنترل کیفیت در پروژه پل سازی مراحل زیر لازم الاجرا می باشد.

الف- ورودی ها:

برنامه ریزی کیفیت در پروژه ها در ابتدا نیاز به یک سری اطلاعات ورودی شامل: مبنای محدوده- دینفعان- مبنای هزینه- مبنای زمانبندی- ریسک - عوامل محیطی و سرمایه های فرآیندی سازی می باشد که این عوامل مبنای برنامه ریزی در پروژه های پل سازی می باشند.

ب= ابزارها و تکنیک ها

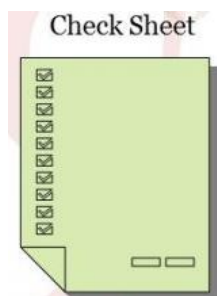
جهت برنامه ریزی کیفیت نیاز به یکسری ابزارها و تکنیک ها شامل: تحلیل هزینه ، فایده - هزینه فعالیت - نمودارهای کنترل - طراحی آزمایشات نمونه گیری آماری - نمودار جریان و سایر ابزارها می باشد.



شکل ۱- نمودار جریان فرآیند

ب-۱- نمودار جریان فرآیند:

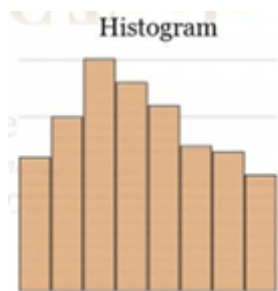
این نمودار به عنوان پایه طراحی سیستم کنترل فرآیند آماری محسوب می شود. در این نمودار کل فرآیند تحقق محصول ترسیم شده و نقاط کنترلی و فرآیندهای نیازمند کنترل آماری روی آن قید می گردد. در این نمودار باید ابزارهای اختصاص یافته در هر مرحله تعیین گردد.



شکل ۲- برگ ثبت داده ها

ب-۲- برگ ثبت داده ها:

چک لیست یک ابزار ساختار یافته و معمولاً متشکل از پارامترهایی است که تعیین می‌کند مجموعه‌ای از گامهای لازم جهت انجام یک فعالیت انجام شده است یا خیر. چک لیستها بسته به الزامات پروژه و راهکارها، ممکن است ساده یا پیچیده باشند.



شکل ۳- هیستوگرام

ب-۳- هیستوگرام:

نوعی نمودار میله‌ای است که به کمک آن می‌توان داده‌ها را تشریح کرد. هیستوگرام، تصویری از داده‌ها ارائه می‌کند که توسط آن می‌توان سه ویژگی زیر را ساده‌تر مشاهده کرد:

شکل توزیع فراوانی داده‌ها
مکان یا تمایل مرکزی توزیع
پراکندگی یا گسترش توزیع

ج- خروجی‌ها

خروجی‌هایی که از برنامه‌ریزی کنترل کیفیت به دست می‌آیند عبارتند از: برنامه مدیریت کیفیت-معیارهای متریک کیفیت- چک لیست‌های کیفیت - برنامه‌های بهبود فرآیند- بروزسانی اسناد پروژه

۶- کنترل کیفیت

فرآیند نظارت و ثبت نتایج اجرای فعالیتهای کیفیت در راستای ارزیابی عملکرد و پیشنهاد تغییرات لازم است. کنترل کیفیت در سراسر پروژه انجام می‌شود و دلایل ضعف یا کیفیت نامرغوب محصول را شناسایی و جهت پیشنهاد حذف آنها اقدام می‌کند از وظایف اصلی این مجموعه می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد:

- پیشگیری (خارج نگه داشتن خطاها از فرآیند)
- بازرسی (خارج نگه داشتن خطاها از دسترس مشتری)
- نمونه‌گیری ویژگی‌ها (نتیجه مطابقت دارد یا نه)
- نمونه‌گیری متغیرها (نتیجه در یک مقیاس پیوسته رتبه بندی می‌گردد یا نه)
- رواداری‌ها و حدود کنترل (آیا فرآیند خارج از کنترل است یا نه)

۶-۱- ساختار کنترل کیفیت در پروژه‌های مختلف

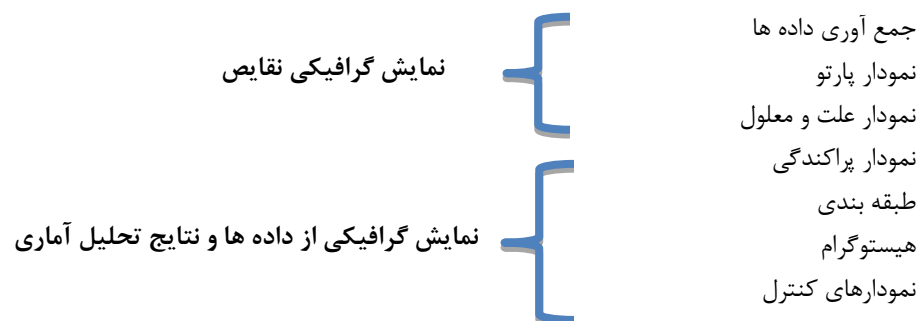
نقطه توقف کار: نقطه بازرسی تعریف شده‌ای متناظر با یک یا چند مرحله مهم و تأثیرگذار از فعالیت‌های اجرایی است که پیمانکار برای ادامه فعالیت‌های پروژه نیازمند بازرسی و تأییدیه است. سازنده و یا پیمانکار دست دوم نیز حق ادامه کار بدون تأییدیه کتبی مسئول کنترل کیفیت پیمانکار را نخواهد داشت.

نقطه شاهد: نقطه بازرسی متناظر با یک مرحله اصلی از فعالیت‌های پروژه است که نیازمند بازرسی شاهد کارفرما می‌باشد در صورت عدم حضور بازرس کارفرما در تاریخ و محل اعلام شده، پیمانکار سازنده و یا پیمانکار جزء در صورت اطلاع رسانی به موقع، محدودیتی برای ادامه کار نخواهد داشت.

نقطه شاهد اختیاری: یک نقطه بازرسی است که پیمانکار، سازنده و یا پیمانکار جزء، مستقلاً به انجام رسانیده و نتیجه را گزارش می‌نماید.

نقطه بررسی: یک نقطه بازرسی است که بازرس تنها گزارشات بازرسی پیمانکار، سازنده و یا پیمانکار جزء را بررسی می‌نماید.

۲-۶- ابزارهای کنترل کیفیت:

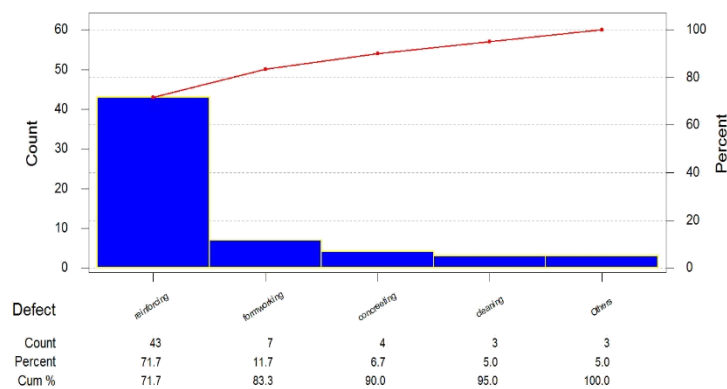


۳-۶- مثال هایی از ابزارهای کنترلی در پروژه

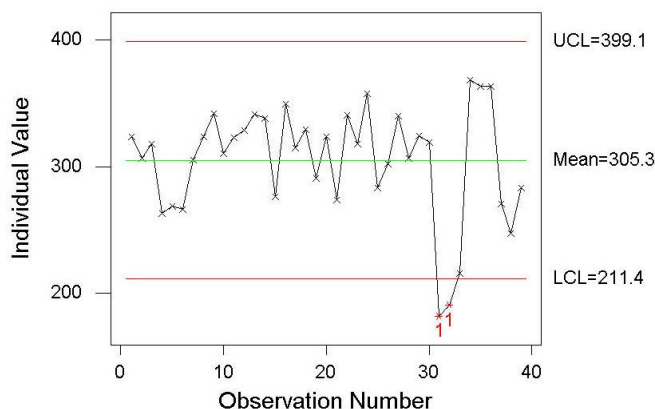
فرم جمع آوری داده ها

فرم جمع آوری اطلاعات			کد فرم
ردیف	نوع عیب	تعداد عیوب	درصد (%)
۱	عمل آوری	۱۸	۲۶
۲	کنترل تمیزکاری آرماتور، قالب و محل بتن ریزی	۱۳	۱۹
۳	ویبره	۱۲	۱۷
۴	مضرس کردن سطح بتن	۱۰	۱۴
۵	شکل : تعداد و فاصله آرماتورها	۷	۱۰
۶	پمپ و تجهیزات ذخیره	۴	۶
۷	آماده سازی سطوح	۴	۶
۸	کنترل اورلب آرماتور	۱	۱
تعداد کل عیوب		۶۹	۱۰۰

نمودار پارتو



نمودارهای کنترل



۶-۳- خروجی کنترل کیفیت

خروجی‌هایی که از کنترل کیفیت در یک پروژه حاصل می‌گردد عبارتند از:
 سنجش‌های کنترل کیفیت - تغییرات معتبر-تحویل شدنی‌های معتبر-به روز رسانی اسناد پروژه- بروز رسانی سرمایه‌های فرآیندی سازمان

۷- تضمین کیفیت

تضمین کیفیت یک فرآیند اجرایی است که از داده‌های ایجاد شده طی فرآیند کنترل کیفیت استفاده می‌کند. تضمین کیفیت موجب می‌شود فرآیندها در سطوح بالاتری از کارایی و اثر بخشی عمل کنند.

۷-۱- تضمین کیفیت در پروژه‌ها نیازمند یک سری ورودی شامل

برنامه تضمین کیفیت پروژه - معیارهای متریک کیفیت - اطلاعات عملکرد کاری - مبنای زمانبندی - سنجش‌های کنترل کیفیت می‌باشند.

برنامه تضمین کیفیت در پروژه:

چگونگی انجام تضمین کیفیت در پروژه را تشریح می‌کند.

برنامه بهبود فرآیند، گامهای تحلیل فرآیند را در راستای شناسایی فعالیت‌هایی که ارزش آنها را ارتقاء می‌دهد تفصیل می‌دهند.

۷-۲- تضمین کیفیت در پروژه‌ها نیازمند ابزارها و تکنیک‌هایی شامل

ابزارها و تکنیک‌های برنامه ریزی کیفیت و انجام کنترل کیفیت - حسابرسی‌های کیفیت - تحلیل فرآیند

به عنوان مثال: حسابرسی کیفیت

- یک بازیابی مستقل و ساختار یافته برای تعیین تطابق فعالیت‌های پروژه با رویه‌ها، فرآیندها و سیاست‌های پروژه و سازمان است.
- شناسایی راهکارهای خوب / برتر در حال اجرا
- شناسایی نارسایی‌ها و کاستی‌ها
- پیشنهاد در راستای بهبود اجرای فرآیندها جهت کمک به افزایش بهره‌وری
- برجسته‌سازی مشارکت حسابرسی در مخزن درس‌های آموختنی سازمان

۷-۳- تضمین کیفیت در پروژه‌ها شامل خروجی‌هایی از قبیل

به روز رسانی سرمایه‌های فرآیندی سازمان - درخواست‌های تغییر - به روز رسانی برنامه‌های مدیریت پروژه - به روز رسانی اسناد پروژه

به عنوان مثال: جدول ارزیابی نهایی تضمین کیفیت

چک لیست ارزیابی کیفیت نهایی محصول (مقاطع بتنی)						
نام مقطع:					تاریخ:	
شماره نقشه:					موقعیت:	
معیار						
0	0-25	25-50	50-80	80-100	ضرب اهمیت	ردیف
5.5<	(4.8-5.5)	(4.1-4.8)	(3.4-4.1)	3.4>	20%	1
نامناسب				نامناسب	25%	2
					45%	3
نامناسب				نامناسب	10%	4
کد فرم: شماره بازنگری: .						

۸- نتیجه گیری

مدل مدیریت جامع پیشنهادی اجازه ثبت کلیه پارامترهای ساختاری مرتبط را که شامل همه فازهای عمر سازه می باشد را می دهد. از مزایای مدل پیشنهادی می توان به در نظر گرفتن تمام طول عمر پل ها در این مقاله اشاره نمود. این روش مدیریت کیفیت کم هزینه تر و برنامه ریزی شده تر می باشد و افزایش امنیت و بهبود دانش مرتبط با رفتار واقعی سازه را به همراه دارد. پایش کل طول عمر به یک سیستم پایش پیچیده اطلاق می شود که عملکرد آن امنیت و جنبه های فنی و اقتصادی، سهولت در بهره برداری، سرعت در نصب، دوام، قابلیت اطمینان، پایداری، استقلال از دخالت های انسانی و عدم حساسیت به تاثیرات خارجی را برآورده می نماید.

منابع

- ۱- نجاتی فرد مهدی، بررسی نحوه استقرار سیستم های مدیریت کیفیت در صنعت ساخت با هدف عملکرد، پایان نامه، مدیریت مهندسی ساخت، دانشکده فنی دانشگاه تهران، ۱۳۸۷
- ۲- رحیمی آلوقره ایمان، مشتری دوست تورج، هریسچیان محمود، کاربرد مدیریت کیفیت جامع در بهبود عملکرد کیفی پروژه های عمرانی، سومین کنفرانس بین المللی مدیریت پروژه، ۱۳۸۵
- ۳- هروی تربتی امیرحسین، نیازسنجی بسترهای لازم جهت پیاده سازی سیستم مدیریت کیفیت جامع در شرکت های پیمانکاری بلندمرتبه ساز و شناسایی موانع اجرایی بالقوه، پایان نامه کارشناسی ارشد؛ ۸۸-۱۳۸۷.
- ۴- ظریف حسینیان سید سعید، نوری سیامک، ارائه الگویی برای مدیریت پروژه ارزش محور در طرح های عمرانی، مقاله، سومین کنفرانس ملی مهندسی ارزش، ۱۳۸۷
- ۵- امینی امین، ارزیابی پارامترهای موثر در اولویت بندی تعمیر و نگهداری پلهای سواره رو شهری با استفاده از منطق فازی مدیریت مهندسی ساخت، دانشکده فنی دانشگاه تهران، ۱۳۸۸
- ۶- ثامتی محمد، سیستم برنامه ریزی و کنترل پروژه مبتنی بر بانک اطلاعاتی راهنمای مدیریت و کاربرد آن در مدیریت پروژه های پل سازی، پایان نامه، مدیریت مهندسی ساخت، دانشکده فنی دانشگاه تهران، ۱۳۸۲

شناسایی پارامترهای موثر بر مطالعات مهندسی ارزش و ارائه راهکارهای اجرایی در پروژه‌های ساختمانی (مطالعه موردی پروژه آبیگ قزوین)

محمد میرزایی^{۱*}، وحید بدری^۲

۱- دکترای دانشوری و شهرسازی، عضو هیئت علمی دانشگاه امام حسین (ع)

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، مدیریت ساخت و پروژه، دانشگاه امام حسین (ع)

چکیده

تحقیق حاضر به بررسی راهکارهای اجرایی مهندسی ارزش در پروژه‌های ساختمانی پرداخته، که از نظر هدف کاربردی و روش آن توصیفی-پیمایشی است. جامعه آماری پژوهش را مهندسین عمران در زمینه نظارت، طراحی و اجرا و مهندسین تاسیساتی (مکانیک و برق) به تعداد ۴۴ نفر تشکیل می‌دادند. ابزار جمع آوری اطلاعات شامل پرسشنامه محقق ساخته بوده که روایی محتوای آن از نظر اساتید و کارشناسان مورد ارزیابی قرار گرفت. پایایی پرسشنامه نیز با استفاده از ضریب آلفای کرونباخ به میزان ۰/۸۲ محاسبه شد. با استفاده از آمار توصیفی و آزمون رتبه بندی فریدمن، به کمک نرم افزار آماری SPSS، اطلاعات تجزیه و تحلیل شدند. نتایج آزمون فریدمن نشان داد که فاکتور مربوط به دوره‌ی عمر پروژه (اجرا) با مقدار ۴/۴۰ به نسبت سایر فاکتورها در مهندسی ارزش از اولویت بالاتری برخوردار است. از سوی دیگر نتایج آمار توصیفی داده‌ها نشان داد، بالا بودن توان فنی پیمانکار و دانش اجرایی مشاور با میانگین ۴/۲۶ بالاترین مقدار را در بین تمامی فاکتورهای مهندسی ارزش در پروژه ساختمانی به خود اختصاص داده است. از اینرو محقق با انتخاب پیمانکاری با دانش و تجربه بالا موجب تغییر در اجزاء سازه‌ای پروژه مورد مطالعه خود گردید.

واژگان کلیدی: مهندسی ارزش، صرفه‌جویی، پروژه‌های عمرانی، پیمانکار، آبیگ، قزوین

۱- مقدمه

پروژه‌های عمرانی و صنعتی هر ساله بخش بزرگی از اعتبارات و منابع مالی کشور را جهت سرمایه‌گذاری به خود اختصاص می‌دهند. به طور متوسط این پروژه‌ها چه در بخش ملی و چه در بخش‌های استانی و منطقه‌ای، با بیش از ۵۰٪ تاخیر در پیشرفت کار مواجه هستند، تاخیر در پیشرفت کار موجب طولانی شدن زمان اجرا و صرف هزینه‌های قابل ملاحظه برای راه‌اندازی مجدد یا تکمیل آنها می‌شود. به عبارت دیگر، گذشت زمان و تحولات فن آوری و تغییر شرایط محیطی و اجتماعی، ممکن است طرح‌هایی را که در یک مقطع زمانی دارای توجیه فنی و اقتصادی بوده‌اند در شرایط جدید توجیه‌ناپذیر سازد. از سوی دیگر عدم بکارگیری توان علمی و تجربی کافی در مراحل اولیه بررسی طراحی نیز موجب تحمیل هزینه‌های سنگین بر پروژه‌ها می‌شود و در نتیجه تکمیل پروژه‌ها را با مشکلات جدی مواجه سازد (۱). مهندسی ارزش به عنوان چهارچوبی مطمئن برای تصمیم‌گیری که براساس توسعه فرهنگ کار تیمی استوار است یکی از روش‌های کارآمد برای بهبود فرآیند، توسعه محصول، رقابت در عرصه جهانی و ایجاد تعهد برای خلق ارزش و بغضاً ایجاد انگیزه و اعتماد متقابل نقش عمده‌ای در تعالی سازمان‌ها به عهده دارد. از سوی دیگر مهندسی ارزش به عنوان یکی از راهکارهای مناسب به منظور شناسایی فرصت‌های بهبود در طراحی و اجرای پروژه‌ها است. با به کارگیری تکنیک مهندسی ارزش این امکان فراهم می‌شود تا در قالبی نظام‌مند، متخصصان باتجربه در کنار یکدیگر جمع شوند و بصورت تیمی با یک دید خلاق و در محدوده زمانی کوتاه ابعاد مختلف پروژه را بررسی کنند که در نهایت ظرفیت‌های بهبود کیفیت، کاهش هزینه و کاهش زمان اجرا شناسایی شوند. عرصه ساخت و ساز پروژه‌های ساختمانی در حیطه‌های مسکونی، اداری، تجاری اعم از نوع دولتی، تعاونی و یا خصوصی آن، حجم قابل توجهی از اقتصاد ملی را شامل می‌گردد و با توجه به برنامه توسعه سوم و چهارم کشور که در آن به موضوع مهندسی ارزش پرداخته شده است و با اعمال مدیریت ارزش بر پروژه‌های عمرانی ساخت‌وساز و یا خصوصی ساخت مسکن، صرفه جویی عمده‌ای حاصل شده و در جهت ارتقاء و کیفیت پروژه‌ها، حرکت منطقی حاصل می‌گردد. مهندسی ارزش راهکاری مدیریتی و دیدگاهی خلاق است که با استفاده از رویکردی سیستمی بدنبال یافتن بهترین موازنه کارکردی بین هزینه، اعتبار و قابلیت اطمینان در محصولات یا

پروژه‌ها می‌باشد (۱۱). هدف مهندسی ارزش را می‌توان حصول به هزینه‌های کمینه بدون کمترین میزان کاهش در کیفیت، رضایتمندی، اعتبار و بهبود کیفی دانست (۳). موندن هسته مرکزی «هزینه‌یابی هدفمند» در جهت «کاهش هزینه در مرحله طراحی» و برنامه‌ریزی بلند مدت سود را هدف مهندسی ارزش تلقی می‌کند (۱۲).

گسترش کاربرد مهندسی ارزش در طراحی و اجرای پروژه‌های معماری خاصه مسکن نشان از توانمندی این رویکرد در کاهش هزینه افزایش و بهبود کیفی مسکن و ایجاد ارزش‌های افزوده دارد که می‌تواند در رویه طراحی و بعد از طراحی مورد استفاده قرار گیرد. بر این اساس می‌توان از این روش در طراحی و ساخت پروژه‌های مسکن استفاده کرد که ارتقا موثر کیفیت و کاهش هزینه را در پی دارد (۵).

۲- معرفی مهندسی ارزش

واژه مهندسی ارزش را نخستین بار در سال ۱۹۴۷ لاورنس دی مایلز برای تشریح تکنیکی به کار برد که در شرکت جنرال الکتریک، طی جنگ جهانی دوم استفاده کرده بود. در تعریف انجمن مهندسی ارزش آمریکا آمده است. مهندسی ارزش مجموعه تکنیک‌های نظام‌مند و کاربردی است که برای تشخیص کارکرد یک محصول یا خدمت و تولید ایجاد آن کارکرد با حداقل هزینه به کار می‌رود (۶). به عبارت دیگر مهندسی ارزش عبارت است از به کارگیری سیستماتیک روش‌های خلاقانه مبتنی بر کارگروهی که هدف از آن شناسایی و حذف هزینه‌های غیرضروری و افزایش کیفیت و کارایی محصول یا خدمت در طول عمر آن است. تفاوت مهندسی ارزش با سایر روش‌های بهینه‌سازی در نگرش ثانویه و خلاقانه به مسئله حل شده مبتنی بر کارگروهی و همراه با تحلیل هزینه فایده راحل‌های ممکن است (۱).

۳- برنامه کاری مهندسی ارزش

مهندسی ارزش دارای مراحل مشخص و انتظام یافته‌ای می‌باشد. امروز گروه‌های مهندسی ارزش پنج مرحله اصلی زیر را در فرآیند مهندسی ارزش دنبال می‌کنند که شامل (۱) مرحله اطلاعات (۲) مرحله نوآوری (۳) مرحله تجزیه و تحلیل و ارزیابی (۴) مرحله توسعه (برنامه‌ریزی برای اجرا) و (۵) مرحله ارائه گزارش و اجرا

الف: مرحله مطالعات مقدماتی:

هدف اصلی این بخش آشنایی و انتقال اطلاعات پروژه به گروه ارزش است تا با پروژه و اهداف آن بیشتر آشنا شوند. در این بخش اعضای گروه ارزش با روش کاری مهندسی ارزش بیشتر آشنا می‌شوند و اهداف و محدوده مطالعات مهندسی ارزش را مشخص می‌کنند.

ب: مرحله مطالعات ارزش

مرحله مطالعات ارزش طی شش مرحله به طور پیوسته به انجام می‌رسد. ابتدا اطلاعات و داده‌های مورد نیاز را برای بررسی عمیق پروژه مطالعه و اجزای آن را گردآوری می‌کنند. سپس بر مبنای اطلاعات کسب شده و از طریق تحلیل کارکرد، ضمن تحلیل اجزای پروژه و نقش آنها در مجموعه پروژه، اقلام و محدوده‌هایی با ظرفیت بالا را برای صرفه‌جویی و بهبود مشخص می‌کنند. در مرحله سوم یا خلاقیت، شمار زیادی از گزینه‌ها برای محقق کردن کارکردها را تولید و عرضه می‌کنند. در ادامه مرحله چهارم که مرحله ارزیابی پیشنهادها نام دارد، آغاز می‌شود. هدف از این مرحله ارزیابی ایده‌ها و مفاهیم ارائه شده در مرحله خلاقیت و انتخاب کارکردهای امکان‌پذیر، برای توسعه است. مرحله پنجم، مرحله توسعه پیشنهادهاست. طی این مرحله، بهترین گزینه‌ها برای بهبود ارزش، انتخاب و به تفصیل بررسی می‌شود. نهایتاً در آخرین مرحله، یعنی مرحله گزارش، نتایج مطالعات گروه مهندسی ارزش عرضه می‌شود، تا موافقت کارفرما و طراح و سایر عوامل موثر در پروژه را نسبت به گزینه پیشنهادی کسب کند (۶).

ج: مرحله مطالعات تکمیلی

هدف از این مرحله پیگیری و دریافت بازخورد از روند اجرایی نتایج کارگاه مهندسی ارزش است. در مرحله مطالعات تکمیلی، پیشنهادها را تایید می‌کنند و طراحی‌های صورت گرفته را پیگیری و پشتیبانی می‌کنند تا نتیجه و خروجی فرآیند مهندسی ارزش به صورت صحیح و درست محقق شود (۲).

۴- مهندسی ارزش طرح و اجرا

گسترش کاربرد مهندسی ارزش در طراحی و اجرای پروژه های معماری خاصه مسکن نشان از توانمندی این رویکرد در کاهش هزینه افزایش و بهبود کیفی مسکن و ایجاد ارزش های افزوده دارد که می تواند در رویه طراحی و بعد از طراحی مورد استفاده قرار گیرد. بر این اساس می توان از این روش در طراحی و ساخت پروژه های مسکن استفاده کرد که ارتقا موثر کیفیت و کاهش هزینه را در پی دارد. مرحله طراحی، توانمندی بالایی را در مطالعات ارزش به خود معطوف می دارد زیرا در حالیکه این مرحله در حدود ۱٪ از کل هزینه های دوره عمر یک پروژه ساختمانی را در بر می گیرد ولی بر روی ۷۰٪ از هزینه های دوره عمر ساختمان تأثیر می گذارد. شناخت این مرحله از آن جهت مهم می نماید که با شناخت فرآیند طراحی و بررسی دقیق تر روشی که معماران هنگام طراحی ساختمان ها بکار می گیرند کاستی های ارزشی این مرحله و نیز نقاط عطفی که این امکان را دارند تا با تدقیق آنها امکان ارزش افزوده را حاصل کرد، هویدا می گردد. شناخت اجزاء مرحله طراحی در رویکردی سیستمی یعنی طراحی شماتیک، توسعه طراحی، اسناد ساخت و جزئیات فعالیت هایی که در هر یک انجام می پذیرد، ادراک و تفاهمی از حوزه کار مهندسی ارزش در پایان هر یک از این زیرمراحل از نظر شکل گیری مرحله به مرحله و تدریجی تسهیلات مورد نظر و ثابت شدن پاره ای از ویژگی های طرح در هر زیرمرحله شکل می گیرد. اهمیت مرحله طراحی در رویکرد مهندسی ارزش از آن رو احساس می شود که از میان چهار مرحله: امکان سنجی، طراحی، ساخت و بهره برداری، مهم ترین مرحله یک پروژه ساختمانی در مقیاس ارزش مرحله طراحی می باشد که تنها با وجود مصرف یک درصد از هزینه های یک پروژه ساختمانی به میزان هفتاد درصد بر هزینه های کل دوره عمر پروژه تأثیر می گذارد. در رویکردی سیستمی مرحله طراحی به مثابه سیستمی انگاشت می شود که ورودی های مرحله طراحی را سفارش طراحی، مطالعات امکان سنجی و برداشت های معمار در بر می گیرد و خروجی های آن مشتمل بر نقشه ها و اسناد ساخت مربوط به پروژه می گردد.

برای اجرای پروژه ها بصورت قراردادهای دوعاملی مثل طرح و ساخت و یا طراحی، تأمین و اجرا، شرایطی نیاز است که در صورت برقراری این شرایط می توان قرارداد اجرای آن پروژه را به صورت دوعاملی تنظیم نمود. برای پرهیز از مشکلات ضمن کار، بهتر است کارفرما و حتی پیمانکاران به این مبانی آشنایی داشته باشند و توجه لازم را به این موارد مبذول نمایند و در صورت عدم برقراری بعضی از این موارد بهتر است ابتدا در جهت رفع مشکل موجود و برقراری شرایط لازم اقدام کنند و در صورت برقراری آن به پیمان دوعاملی مبادرت ورزند (۵) از ویژگی های اصلی که برای روش طراحی و ساخت توأم ذکر نموده اند، همکاری، هماهنگی و تلفیق بهینه سه فعالیت طراحی، تدارکات و اجرا می باشد که این سه عامل بصورت بهم پیوسته در ارتباط با یکدیگر عمل می کنند. در این مجموعه بخش طراحی نقش عامل واسطه بین دو عامل دیگر و درعین حال عامل متفکر و خط دهنده را ایفا می کند. تدارکات رابط میان بخش طراحی و صنعت، عامل اجرا نقش رابط بین طراحی و تجربه، فن آوری و توانایی های ساخت می باشد. فرایندهای طراحی، تدارکات و اجرا به همراه هم حرکت می کنند، لذا پروژه دارای قابلیت اجرایی بیشتر و انطباق بیشتر با زمان بندی و کیفیت بالاتر بوده و در نهایت به طور نسبی، با هزینه کمتر انجام می شود (۷).

در پروژه های طرح و اجرا، در مرحله طراحی پایه، باید وقت کافی صرف شود و مشخصات فنی کامل و روشنی بر اساس الزامات قراردادی و نیازهای واقعی پروژه تعیین گردد. در صورت ناقص بودن مطالعات فاز اول طراحی، توصیه می گردد قرارداد طرح و ساخت با پیمانکاران بسیار مجرب و براساس روش مبتنی بر ارزشیابی تنظیم شود. زیرا تغییر مبلغ قرارداد در مراحل بعدی به دلیل مشکلات مالی پیمانکار، ماهیت حسن قراردادهای طرح و ساخت را زیر سؤال خواهد برد (۸). در این راستا برگزاری کارگاه های مهندسی ارزش با حضور کارفرما و عوامل پیمانکار می تواند تا حدود زیادی نواقص مطالعات را در قالب الزامات کارفرمایی بر طرف نماید. پس از انتخاب پیمانکار، در چارچوب قرارداد، پیمانکار مجاز به انجام تغییراتی برای کاهش هزینه ها و زمان اجرا است و « طرح و اجرا » می توان چند مطالعه از این تیپ را در طول اجرا در موارد مختلف انجام داد. توصیه می شود اولین مطالعه ارزش از این نوع در زمان تجهیز کارگاه صورت گیرد. به علاوه از این نوع مطالعه می توان برای ایجاد هم افزایی و هماهنگی بیشتر بخش های طراحی، تأمین و اجرا استفاده نمود. برای بهره بردن بیشتر از ابتکارات پیمانکار در اجرای موضوع طرح بایستی در چارچوب قرارداد با تلفیق الزامات طراحی، تدارکات و اجرا، طرح را به صورت بهینه از نظر سه موضوع ذکر شده طراحی نماید. البته از طرف دیگر باید تسلط احتمالی خواسته های شخصی یا گروهی را به الزامات اصلی موضوع طرح حذف نماید (۹).

هماهنگی بین بخش طراحی و اجرا بسیار مهم می باشد. لازم است که دفتر فنی قوی و با تجربه در محل پروژه قبل از شروع کارهای اجرایی، نقشه ها و مدارک را دقیقاً مطالعه و بررسی نمایند و اشکالات و تناقضات را استخراج نمایند. لازم است که پیمانکاران دانش مهندسی خود را با جذب افراد شایسته و استفاده از تجارب پروژه های مشابه، جهت بهبود عملکرد خویش در پروژه ها ارتقا بخشند. در کشور ما طرح های بزرگ مختلف و متنوعی در حال اجرا است و اعتبارات زیادی به خود اختصاص داده و استفاده از روش مهندسی ارزش در مراحل مختلف طرح امری ضروری است با اینکه استفاده از تکنیک سیستم تحلیل کارکرد در روش مهندسی ارزش در مراحل، ساخت و اجرا در کشور به تدریج در حال گسترش است ولی هنوز از این تکنیک در مراحل طراحی مهندسی استفاده چندانی نمی شود. مهندسی ارزش به عنوان شیوه ای کارآمد

برای شناسایی و حذف هزینه‌های غیرضروری، کوتاه کردن زمان اجرا و بهینه‌سازی در مراحل مختلف طرح، شامل طراحی، ساخت، بهره برداری و نگهداری به کار گرفته می‌شود. تجربه جهانی نشان می‌دهد که هر واحد هزینه برای مهندسی ارزش ۱۵ تا ۳۵ واحد صرفه جویی در پی دارد (۱۰).

۵- روش اجرای تحقیق و نوع داده‌ها

روش اجرای تحقیق از نوع توصیفی و از نظر دست یازی به نتایج معطوف به اکتشاف می باشد. داده های این تحقیق از نوع کیفی بوده و از طریق کار میدانی و توزیع پرسشنامه بین خبرگان جمع آوری شده و از هر دو نوع داده های اولیه و ثانویه می باشند ابزارهای گردآوری داده ها در این تحقیق در مرحله مقدماتی، مصاحبه با خبرگان مهندسی ارزش فعال کشور می باشد. و در مراحل بعدی چند نوبت توزیع و جمع آوری پرسشنامه جهت شناخت عوامل موثر بر پویایی مهندسی ارزش و اولویت آنها می باشد، در انتها نیز جهت تحلیل و توسعه عوامل منتخب یک سری مصاحبه انجام گرفته است. یکی از ابزارهای اصلی برای جمع آوری اطلاعات مورد نیاز به منظور شناسایی عوامل مؤثر بر مطالعات مهندسی ارزش و پتانسیل‌های موجود در آن به منظور بهبود و جمع آوری نظرات کارشناسان ارزش در این خصوص، تهیه و توزیع پرسشنامه-هایی استاندارد میان جامعه آماری تحقیق می باشد. ساختار و سؤالات این پرسشنامه (روایی پرسشنامه محقق ساخته) بر اساس مطالعات کتابخانه‌ای، تجربیات مؤلف (مشکلاتی که مؤلف در بررسی کارگاه‌های مهندسی ارزش به آنها برخورد کرده) و همچنین یافته‌های سایر محققین طراحی شده است. نتیجه نهایی و اصلی این پرسشنامه‌ها، در شناسایی نقاط ضعف و پتانسیل‌هایی بهبود مهندسی ارزش مورد استفاده قرار گرفته است. این پرسشنامه دارای دو نوع سؤال می باشد. سؤالات نوع اول: سؤالاتی در خصوص مشخصات و تجربیات فردی پرسش شونده (جنسیت، رشته تحصیلی، تخصص، سن و سابقه کار) می‌باشد. سؤالات نوع دوم: سؤالات اصلی پرسشنامه (۱۶ سوال در قالب ۴ مولفه پارامترهای ارزیابی اولیه و مقدماتی، حمایتی، طراحی و دوره عمر پروژه (اجرا) می‌باشد که همگی بر مبنای پاسخ دهی (البته بصورت غیرمستقیم) طراحی شده‌اند. جهت پایایی پرسشنامه مذکور و صحت اعتبار بالای آن پس از مرحله توزیع پرسشنامه در بین جامعه تحقیق (۴۴ نفر) و وارد نمودن اطلاعات آن به نرم افزار آماری SPSS، به کمک ضریب آلفای کرونباخ اعتبار پرسشنامه مورد سنجش قرار گرفت که مقدار ۰/۸۲۲ برای پرسشنامه حاکی از اعتبار قابل قبول و بالای آن دارد. در ادامه به کمک آزمون های توصیفی و میانگین نمرات مولفه‌ها و آزمون فریدمن، محقق به دنبال شناسایی پارامترهای مهم تاثیرگذار مهندسی ارزش از دید کارشناسان، خبرگان و متخصصان طراحی و نظارت و اجرای پروژه های ساختمانی بررسی نموده و در مرحله دوم به مطالعه موردی خود یعنی استفاده از مهندسی ارزش در پروژه آبیک قزوین و ارائه راهکار اجرایی می‌پردازد.

۵-۱- تحلیل پرسشنامه‌های تکمیل شده

تمرکز سؤالات پرسشنامه محقق ساخته بر روی ۴ فاکتور اصلی بوده که در زیر تقسیم بندی شده است.

- گروه I: فاکتورهای ارزیابی اولیه و مقدماتی
- گروه II: فاکتورهای حمایتی
- گروه III: فاکتورهای طراحی
- گروه IV: فاکتورهای مربوط به دور هی عمر پروژه (اجرا)

از کل ۸۴ مورد پرسشنامه‌ای ارسال شده ۴۴ مورد دریافت شد که متأسفانه تعدادی از آنها شرایط تحلیل را نداشتند که برای بالا بردن اهمیت و صحت موضوع ۲۵ پاسخ مورد ارزیابی قرار گرفت، بنابراین پرسشنامه‌های قابل آنالیز نسبت به پرسشنامه‌های توزیع شده ۳۴٪ پرسشنامه های ارسالی را تشکیل م ی‌داد. برای هر پاسخ ۴ حالت در نظر گرفته شده است که عبارتند از: بسیار زیاد = ۴، زیاد = ۳، متوسط = ۲، نامحسوس = ۱ که با استفاده از این روش رتبه این پارامترها در جدول ۱ نشان داده شده است. با توجه به جدول اگر چند فاکتور دارای میانگین یکسان باشند انتخاب رتبه‌ی بالا بر اساس انحراف معیار پایین صورت گرفته است.

جدول ۱: دسته بندی پارامترهای موثر بر مطالعات مهندسی ارزش

رتبه	انحراف معیار استاندارد	میانگین نمرات	سوالات	گروه
۱	۱/۱۹	۴/۰۷	اجرای گام به گام مهندسی ارزش	پارامترهای ارزیابی اولیه و مقدماتی
۳	۱/۱۴	۳/۸۲	دقت در انتخاب اعضای گروه	
۵	۱/۰۲	۳/۵۵	آموزش مهندسين ارزش به کارفرمایان و مشاوران	
۲	۰/۹۶	۳/۹۵	دیدگاه خلاقانه پیمانکار به کمک مهندسی ارزش جهت سودآوری و کارایی در مناقصات	
۴	۰/۹۱	۳/۷۳	اجرای مهندسی ارزش با همکاری و مشارکت فعال افراد متعدد و متخصصان حرفه‌ای جهت غلبه بر موانع پیشرفت	
۲	۱/۲۱	۳/۶۳	مشارکت کارکنان واجد شرایط کارفرما به عنوان اعضای گروه پاسخ به پرسشهای «چرا» و «چگونه»	ارزانه‌های
۱	۰/۸۲	۳/۷۲	پرداخت حق الزحمه اعمال تغییرات به مشاور طرح	
۳	۱/۲۳	۳/۹	اختلاف مهندسی ارزش با ماهیت طراحی	پارامترهای ارزیابی میانی
۱	۰/۹۹	۴/۰۷	حضور پیمانکاران با سابقه اجرای کارگاهی در مرحله طراحی	
۲	۱/۰۷	۴/۰۷	تکمیل برآورد مالی پروژه در مرحله طراحی	
۴	۰/۹۸	۳/۸۴	امکان بررسی دقیق و دادن فرصت کافی به طراح برای یافتن طرح بهینه	
۵	۱/۳۱	۳/۶۹	نادیده گرفتن معیارهای فنی و الزامات مهندسی در طراحی شناسایی عوامل کاهش ارزش	
۱	۰/۷۰	۴/۲۶	بالا بردن توان فنی پیمانکار و دانش اجرایی مشاور	پارامترهای ارزیابی نهایی
۳	۰/۷۹	۳/۹۳	تاثیر مدیریت اجرایی مهندسی ارزش در ارائه‌ی پیشنهاد تغییر	
۴	۱/۳۸	۳/۰۷	اعمال مهندسی ارزش در اوایل دوره‌ی حیات پروژه	
۲	۱/۰۹	۳/۹۳	اشکار شدن ماهیت و هدف پروژه رفع ابهامات طراحی	

۶- نتایج و بحث

نتایج آمار توصیفی (میانگین و انحراف معیار) سوالات پرسشنامه:

■ گروه I: فاکتورهای ارزیابی اولیه و مقدماتی

برای پارمتر ارزیابی اولیه و مقدماتی، مولفه اجرای گام به گام مهندسی ارزش با میانگین ۴/۰۷ بیشترین اهمیت را داشته از اینرو اجرای گام به گام و کامل برنامه‌ی کار مهندسی ارزش یکی از پارامترهای موثر در موفقیت مطالعات مهندسی ارزش است، بسیار ملاحظه شده است که با نادیده گرفتن و نامنظم اجرا شدن بعضی از گام‌ها بازدهی مطالعات تا حدود زیادی پایین آمده است. میزان توجه به هر مرحله ممکن است بر حسب نوع پروژه متفاوت باشد. مولفه موثر دیگر در این پارامتر (ارزیابی اولیه و مقدماتی)، دیدگاه خلاقانه پیمانکار به کمک مهندسی ارزش جهت سودآوری و کارایی در مناقصات با میانگین ۳/۹۵ می‌باشد از اینرو در مناقصات جهت انتخاب پیمانکار از طریق پیشنهاد کمترین قیمت، سبب می‌شود تا پیمانکار منتخب با توسل به مسائلی که در طراحی و اجرا وجود دارد، از طریق قیمت‌های جدید درخواست تمدید پیمان و استفاده از تعدیل در زمان تمدید شده، در صورتیکه به کمک مهندسی ارزش پیمانکار می‌تواند با یک دیدگاه سیستماتیک و ارزش با ایجاد فضای خلاقیت سبب ارائه‌ی روشی شود که نه تنها جهت طرح، کارایی و سود را به ارمغان می‌آورد بلکه در این رهگذر سود خود را نیز تضمین می‌نماید.

■ گروه II: فاکتورهای حمایتی

مورد پارامتر حمایتی مهندسی ارزش مولفه پرداخت حق الزحمه اعمال تغییرات به مشاور طرح با میانگین ۳/۷۲ بیشترین تاثیرگذاری را صرفه‌جویی و کاهش هزینه‌های ساختمانی به عنوان مولفه‌ای از مهندسی ارزش دارا می‌باشد از اینرو برای جلوگیری از کاهش حق الزحمه‌ی مشاور طراحی و در نتیجه‌ی آن موضع گیری مشاور لازم است بعد از مطالعات مهندسی ارزش به دلیل کاهش برآورد هزینه، بعد از طراحی

مجدد، به طریق معقول و منصفانه حق الزحمه‌ی اعمال تغییرات به مشاور طرح داده شود. بدین ترتیب بسیاری از باورهای نادرست مشاور با چنین عملی از بین می‌رود.

■ گروه III: فاکتورهای طراحی

در بین پارامتر طراحی حضور پیمانکاران با سابقه اجرای کارگاهی در مرحله طراحی با میانگین $4/07$ و انحراف معیار $0/9$ از دیدگاه متخصصین جامعه تحقیق نقش مهمی در قالب پارامتر طراحی در حوزه مهندسی ارزش ایفا می‌کند، بدین لحاظ یکی از مشکلات پروژه‌های عمرانی جدایی طراحی از ساخت است، این موضوع سبب می‌شود تا نکته‌های ظریف و مهمی که پیمانکاران اجرایی در اثر تجربه به دست آورده‌اند در زمان طراحی پنهان بماند و در حین اجرا به مشکلات متعدد نظیر تغییر در طراحی، افزایش هزینه در دوره‌ی ساخت منجر شود لذا حضور افراد با سابقه‌ی اجرای کارگاهی کاملاً مفید است. مولفه تکمیل برآورد مالی پروژه در مرحله طراحی هم امتیاز مولفه حضور پیمانکاران با سابقه اجرای کارگاهی در مرحله طراحی، اما با مقدار انحراف معیار بیشتر $1/07$ در مرتبه دوم پارامترهای طراحی قرار داشته که خود گویای اهمیت این مولفه دارد، پس اگرچه در مرحله‌ی دوم مطالعات مهندسی ارزش در یک زمان کوتاه اطلاعات ما از پروژه تکمیل می‌شود، ولی باید سعی کنیم تا از همان مرحله‌ی اول اطلاعات پروژه، مخصوصاً از نظر هزینه‌ی انجام کارها کامل شود، چرا که اگر در مرحله‌ی طراحی اطلاعات مربوط به هزینه کامل نشود باعث کم شدن کارایی مهندسی ارزش در طول زمان کارگاه مهندسی ارزش می‌شود.

■ گروه IV: فاکتورهای مربوط به دور هی عمر پروژه (اجرا)

در بین پارامترهای مربوط به دور هی عمر پروژه (اجرا) ، مولفه بالا بردن توان فنی پیمانکار و دانش اجرایی مشاور با میانگین رتبه $4/26$ بیشترین مقدار را در بین مولفه‌های این فاکتور و همچنین بیشترین مقدار را در بین سایر مولفه‌های پارامترهای مهندسی ارزش دارد که گویای اهمیت بسیار بالای این مولفه دارد از این جهت باید از یک سو توان فنی پیمانکار و از سوی دیگر دانش اجرایی مشاور و نیز کارفرما را افزایش یابد، این مقوله چنان اهمیت دارد، که با اعمال یک تغییر خلاقانه ممکن است ضمن از بین بردن چهارچوب‌های ذهنی موجود در مورد شیوه‌های طراحی، روش نوینی را در طراحی ایجاد کند. مولفه مهم دیگر در این پارامتر آشکار شدن ماهیت و هدف پروژه رفع ابهامات طراحی بوده از اینرو مهندسی ارزش همچنین باعث آشکار شدن ماهیت و هدف پروژه و رفع ابهامات طراحی نیز می‌شود. در ادامه محقق پس از شناسایی مولفه‌های مهندسی ارزش در پروژه‌های ساختمانی و اولویت بندی هر کدام از مولفه‌ها در هر یک از پارامترها (فاکتورها)، به کمک آزمون رتبه بندی یا اولویت بندی فریدمن 4 فاکتور اصلی مهندسی ارزش را رتبه بندی نمود (جدول 2). چنانچه که در این جدول ملاحظه می‌گردد پارامتر مربوط به دوره‌ی عمر پروژه (اجرا) با میانگین $4/40$ دارای بیشترین نقش می‌باشد و پارامتر طراحی ($3/80$) در مرتبه دوم از لحاظ اهمیت به عنوان پارامتر مهندسی ارزش در کاهش هزینه‌های ساختمانی دارا می‌باشند.

جدول ۲: نتایج حاصل از آزمون فریدمن برای رتبه‌بندی فاکتورهای مهندسی ارزش

متغیر	میانگین رتبه‌ای	رتبه
پارامتر ارزیابی اولیه و مقدماتی	2/51	4
پارامتر حمایتی	3/34	3
پارامتر طراحی	3/80	2
پارامتر مربوط به دوره‌ی عمر پروژه (اجرا)	4/40	1

محقق با آگاهی از نتایج پرسشنامه محقق ساخته خود و نظر خواهی از متخصصین مهندسی ارزش و خبرگان این رشته و با شناسایی پارامترهای تاثیر گذار و از سوی دیگر اولویت بندی این مولفه‌ها ، نقش پیمانکاران را بسیار مهم احساس نمود و به دنبال استفاده هر چه بهتر از این نیرو کارآمد در کار مطالعه موردی خود با شناخت از دلایل اصلی برتری پیمانکاران در استفاده از مهندسی ارزش یعنی:

۱- پیمانکاران به واسطه توانایی مالی ماهیت کاری خود، با پیشرفت‌های روز در زمینه فناوری و روش‌های جدید اجرا و مصالح و روش‌های مدیریت پروژه آشنا هستند.

۲- پیمانکاران به طور مستقیم با کلیه مسائل مرتبط با اجرا درگیر هستند و در طول زمان به جزئیات اجرایی نیز تسلط کامل پیدا کرده‌اند.

۳- پیمانکاران با تأمین کنندگان مصالح و ماشین آلات و همچنین پیمانکاران جزء ارتباط دائمی و نزدیک دارند و به نحوه عملکرد آنها آشنا هستند.

۴- پیمانکاران به واسطه سال‌ها حضور در عرصه اجرا و ضرورت ارتقاء دانش فنی خود، دارای تجربه و تخصص بالا در انجام پروژه‌های متنوع شده‌اند.

البته مشخص است که منظور از پیمانکاران که در بالا به آن اشاره شد، شرکت‌های پیمانکاری معتبری هستند که دارای رتبه‌بندی بالا و توان اجرای قراردادهای بزرگ و پیچیده هستند و اصولاً مهندسی ارزش نیز در چنین پروژه‌هایی که ماهیت کار پر هزینه، وسیع و متنوع و دارای پیچیدگی‌ها و نوآوری‌های فناوری باشد، کارایی بهتری نشان می‌دهد. در نتیجه کارفرما با استفاده از شرکت مشاور با کادر فنی مجرب به دنبال اجرای بهینه مهندسی ارزش گردید.

پروژه حاضر شامل ۱۶ واحد ساختمانی است که خلاصه‌ای از نتایج گزارش مشاور طرح با عنوان بهینه سازی منازل ۱۶ واحدی با رویکرد مهندسی ارزش به اختصار آورده شده است.

الف) نوع کلی سازه: بر اساس تجربه طراحی استفاده از سیستم سازه اسکلت بتنی از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه‌تر می باشد، لیکن با در نظر گرفتن معیار زمان (سرعت و اجرا) و از طرف دیگر مقایسه بهتر با طرح موجود از سیستم اسکلت فلزی استفاده می‌گردد. ایده منتخب در این پروژه استفاده از دیوار برشی به عنوان عنصر مقاوم در برابر زلزله می‌باشد که در مقابل سایر سیستم‌های قاب مهاربندی و قاب خمشی دارای امتیاز ارزش بیشتری می‌باشد.

ب) ستون‌ها: مهمترین بخش طراحی پس از انتخاب سیستم کلی سازه، ستون گذاری مناسب است. کاهش تعداد ستون‌ها از یک سو باعث کاهش وزن فولاد مصرفی و نیز افزایش قابلیت تغییرات در معماری و از سوی دیگر باعث افزایش مقاطع ستون‌ها و نیز تیرها می‌شود که خود باعث افزایش فولاد مصرفی می‌شود. در این پژوه با اصلاح ستون‌گذاری تعداد ستون‌ها از ۳۲ به ۲۴ ستون کاهش پیدا کرد.

ج) تیرها: در این پروژه سیستم تیر سراسری همراه با استفاده از مقاطع زنبوری در طراحی تیرهای اصلی مورد بررسی قرار گرفت که سبب کاهش فولادی مصرفی شد.

د) دیوارهای برشی: محدودیت دهانه‌های مهاربندی شده از لحاظ معماری از یک سو و نیز وجود نیروی بالابرنده در پای ستون‌های مهاربندی شده از بهره‌گیری از این سیستم را توصیه می‌کنند.

با جانمایی مناسب این دیوارها علاوه بر اقتصادی شدن سازه، تراز خرپشته هم در مقابل زلزله مهار شده است.

ه) فونداسیون: با توجه به نتایج طراحی ستون‌ها و دیوارهای برشی فونداسیون طراحی می‌گردد. در جدول ۲ نتایج مطالعات به اختصار ارائه شده است.

جدول ۲: خلاصه گزارش مطالعات مهندسی ارزش پروژه ۱۶ واحدی منازل سازمانی آبیک

اجزاء پروژه	شرح مختصر ایده بهینه	طرح اولیه	طرح بهینه	مزایا	فولاد (kg) طرح اولیه	فولاد (kg) طرح بهینه
ستون	کاهش تعداد ستون	۳۲ ستون	۲۴ ستون	۱- بهره‌گیری از دهانه‌های بزرگتر ۲- استفاده از ظرفیت ستون مرکب	۲۳۵۰۰	۱۷۰۰۰
تیرها	۱- استفاده از تیرهای سراسری ۲- بکارگیری پروفیل زنبوری			۱- بهره‌گیری از حداکثر ظرفیت تیر و سهولت اجرا ۲- استفاده حداکثری مقطع	۳۲۲۰۰	۲۱۲۰۰
مهاربند	استفاده از دیوار برشی به جای مهاربند	۹ دهانه مهاربندی	۵ دهانه مهاربندی	۱- کاهش اثر بالاروندگی نیروی زلزله ۲- کاهش دهانه های مهاربندی و مطابقت با معماری	۱۲۰۰۰	۷۰۰۰
فونداسیون	افزایش عرض و ارتفاع فونداسیون			۱- حذف شمع‌های درجا ۲- کاهش میلگرد محاسباتی	۱۴۰۰۰	۸۶۰۰
	—			۱- کاهش هزینه ساخت ۲- انعطاف پذیری بیشتر در معماری ۳- سهولت اجرا	۸۱۷۰۰	۵۳۷۰۰

با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان ارزش و سود ناشی از مطالعات را محاسبه کرد. در این مطالعه، ارزش مورد نظر سرمایه و هزینه اولیه ساخت پروژه می‌باشد، لیکن با توسعه مطالعات و نیز تعیین شاخصه‌های ارزش دیگر مورد نظر کارفرما نظیر سهولت اجرا، دوام قابلیت بهره برداری مجدد، زیبایی، ایمنی و ... میزان ارزش ایجاد شده را بهتر محاسبه نمود. در یک محاسبه ساده و با در نظر گرفتن تنها میزان فولاد صرفه‌جویی شده در کل پروژه مقدار هزینه اولیه کاهش یافته در کلیه اجزاء سازه بصورت زیر می‌توان محاسبه کرد:

$$(تن) = 246400000 = 4 \times (تن) \times 22000 \times (تن) \times 28000$$

۷= نتیجه گیری

برای پارامتر دوره عمر پروژه (اجرا) که بیشترین مقدار میانگین را به نسبت سایر پارامترهای مهندسی ارزش در قبال کاهش هزینه‌های پروژه‌های ساختمانی دارا می‌باشد، می‌توان نتیجه گرفت، در قیاس با سایر پارامترهای مهندسی ارزش در قبال کاهش هزینه‌های پروژه‌های ساختمانی سهم بیشتری دارا می‌باشد. از اینرو از دید پاسخگویان پرسشنامه اجرای صحیح پارامتر اجرا و در مرتبه دوم پارامتر طراحی نقش بسیار زیادی در کاهش هزینه‌های ساختمانی به عنوان پارامترهای مهندسی ارزش دارا می‌باشند. در نتیجه بالا بردن توان فنی پیمانکار و دانش اجرایی مشاور، تاثیر مدیریت اجرایی مهندسی ارزش در ارائه‌ی پیشنهاد تغییر، اعمال مهندسی ارزش در اوایل دوره‌ی حیات پروژه و آشکار شدن ماهیت و هدف پروژه رفع ابهامات طراحی منجر به کاهش هزینه‌های پروژه ساختمانی می‌شوند.

اعمال مهندسی ارزش بعد از مرحله‌ی طراحی باعث افزایش مقاومت از سوی مشاور و طراح می‌شود و در این موقع است که مدیریت اجرایی مهندسی ارزش باید به گونه‌ای باشد که بتواند پیشنهاد خود را به طور واضح و روشن برای کارفرما ارائه کند تا کارفرما با بررسی پیشنهاد و بالا بردن ارزش پروژه با اعمال پیشنهاد آنرا قبول کند. هرچه مطالعات مهندسی ارزش در طول حیات پروژه زودتر انجام شود باعث بهبود ارزش، کیفیت و برنامه‌ی پروژه می‌شود، به علاوه تاخیر در اجرای پروژه نیز کمتر خواهد بود. (در صورت برنامه‌ریزی نامناسب این موضوعات رخ می‌دهد.

ذکر این نکته ضروری است که تقریباً تمامی متخصصان در زمینه مهندسی ارزش، بهترین زمان اعمال تکنیک‌های این روش را در مراحل اولیه طراحی و پیش از ورود کامل به مرحله طراحی تفصیلی می‌دانند لیکن با توجه به حجم انبوه پروژه‌های در دست اجرا در کشور و همچنین توانمندی‌های بالای پیمانکاران کشور و نکات برشمرده در فوق، به نظر می‌رسد رویکرد مناسب برای گسترش روش مهندسی ارزش در کشور دخالت و حضور موثر و محوری پیمانکاران در این زمینه باشد. همانطور که در گزارش شرکت مشاور ساخت ماندگار سازه پارس (جدول ۲) مشاهده شد، یک تغییر در ۴ جزء پروژه (۱- استفاده از ۲۴ ستون، ۲- کاربرد تیرهای سراسری و پروفیل زنبوری ۳- استفاده از دیوار برشی به جای مهاربند و ۴- افزایش عرض و ارتفاع فونداسیون) بر اساس پیشنهاد پیمانکار، باعث صرفه‌جویی قابل توجهی در میزان فولاد مصرفی (۲۴۶۴۰۰۰۰۰ تن) در کل پروژه گردید.

منابع

۱. بیرقی، حمید، قلی پور، یعقوب (۱۳۸۳) - مبانی مهندسی ارزش - تهران ترمه
۲. تقی زاده، علی (۱۳۸۱). نظام مهندسی ارزش، تهران، ماهنامه روش، شماره ۷۵.
۳. جعفری، پژمان (۱۳۸۰). تلفیق مهندسی ارزش و مدیریت کیفیت فراگیر. تهران، مجله نیم رخ، شماره ۹.
۴. جبل عاملی، محمد سعید (۱۳۸۳). جایگاه مهندسی ارزش در مدیریت پروژه. سازمان مدیریت و برنامه ریزی.
۵. کریشنان، ساکسنا (۱۳۷۸)، مهندسی ارزش در طراحی، اجرا و بهره برداری، ترجمه شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس، تهران، انتشارات شرکت مهندسی مهتاب قدس
۶. آشنایی با مهندسی ارزش (۱۳۸۲). فصلنامه شماره ۱ و ۲، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی
۷. معاونت امور فنی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور (۱۳۸۴). مجموعه‌ی دستورالعمل‌های مطالعات مهندسی ارزش در دوره‌ی پیش از عملیات اجرا و ساخت.

8. Samy E.G.Elias "Value Engineering" journal of "Elsevier Science" vol.35 , Nos. 3-4 , pp.381-393 ,1998

9. Steven Male , John Kelly (2006), Marcus Gronqvist , Drummond Graham "Managing Value as a Management style for projects" journal of "Project Management", pp.107-114 ,

10. Stretching Dollars, PM Net work, USA , April 2002
11. Zimmerman , Larryz. PE. Glen D. hart,(1982) "Value engineering – A practical Approach for owners, Designers, and contractors", NEW Delhi, CBS Publishers.
12. Mudge , Arthure E.(1971) "Value engineering – A systematic Approach "New York, McGraw hill.

دستاوردهای ابزار دقیق و رفتارنگاری در تونل کاری مناطق خاص شهری، مطالعه موردی خط ۲ قطار شهری کرج و حومه

حسن یازرلو^۱، فرزین هزارخوانی^۲، ساعد خوشنواز رازلیقی^۳، محمد صادق ضیاپور رازلیقی^۴

۱- مسئول رفتارنگاری خط ۲ قطار شهری کرج و حومه، شرکت سابیر

۲- سر ناظر تونل، شرکت مهندسين مشاور مهتاب قدس

۳- مدیر فنی شرکت تونل سازان اطلس (پیمانکار ابزار دقیق خط ۲ قطار شهری کرج و حومه)

۴- کارشناس فنی شرکت تونل سازان اطلس (پیمانکار ابزار دقیق خط ۲ قطار شهری کرج و حومه)

h_yazarloo@yahoo.com

چکیده

با گسترش روز افزون جمعیت شهری، ساخت و توسعه زیرساخت‌های شهری بیش از پیش ضرورت می‌یابد. اهتمام به احداث سیستم‌های حمل و نقل ریلی شهری در کنترل و کاهش ترافیک کلان شهرها در دستور کار دولت‌های اخیر بوده و در اغلب کلان شهرهای کشور در حال ساخت و تکمیل می‌باشد. ساخت تونل‌ها و ایستگاه‌های مترو در محیط‌های شهری دارای محدودیت‌های مختلف و اغلب توأم با مخاطرات متعدد نظیر ریزش معابر، ساختمان‌ها و قطع و شکستگی خطوط انرژی بوده که متأسفانه بعضاً منجر به حوادث ناگوار و خسارات مالی و جانی جبران ناپذیری شده است. مهندسان و طراحان به منظور کاهش خطرات بالقوه در عملیات تونل کاری در بافت‌های نسبتاً ضعیف و خاکی شهری، علاوه بر بکارگیری روش‌های طراحی نوین، از پایش و عملیات رفتارنگاری بهره می‌گیرند که در آن با نصب تجهیزات ابزار دقیق در مسیر عبور تونل، سازه‌های مشرف، مناطق حساس و با قرائت و تحلیل نتایج، نسبت به بروز شرایط نامطلوب و خطرناک پیش هشدار لازم را اعلام می‌دارند. در این مقاله سعی گردیده دستاوردها و چگونگی استفاده از نتایج حاصله از عملیات رفتارنگاری و پایش تونل در فاز اول خط ۲ قطار شهری کرج تشریح گردد.

واژگان کلیدی: رفتارنگاری، ابزار دقیق، مخاطرات تونل کاری شهری، دستاوردها، قطار شهری

۱- مقدمه

امروزه با توجه به گسترش روزافزون شهرها، ساخت فضاهای زیرزمینی جهت حمل و نقل (قطار شهری) رو به گسترش می‌باشد. ساخت فضاهای زیرزمینی بخصوص قطار شهری با توجه به مسیرهای طولانی و عبور از زیر تأسیسات شهری و عوارض سطحی گوناگون و شرایط مختلف زمین‌شناسی، همواره با خطرات بالقوه‌ای روبرو است. تلاش‌های فراوانی جهت تعیین روابط دقیق و الگوهای حاکم بر رفتار توده خاک و اثرات حفر فضاهای زیرزمینی بر مناطق مجاور صورت گرفته است اما طبیعت پیچیده توده زمین، شرایط متغیر زمین‌شناسی و عدم آگاهی کامل از تغییرات آن، پیش‌بینی و مدل‌سازی رفتار فضاهای زیرزمینی را مشکل می‌نماید. اگرچه قبل از حفر یک سازه زیرزمینی، اطلاعات مناسبی برای طراحی، روش اجرا و سیستم نگهداری تهیه می‌گردد، اما معمولاً این اطلاعات کافی نبوده و مبین رفتار واقعی توده زمین نمی‌باشد. علاوه بر این عوامل مختلف و متعدد مؤثر بر رفتار توده خاک و عدم شناخت قطعی آن‌ها، همچنین عدم امکان شناسایی جامع و دقیق عوارض زیرسطحی و ساختارهای موجود در مسیر تونل لزوم اندازه‌گیری‌ها و پایش‌های برجا و ارزیابی رفتار واقعی زمین را ایجاب می‌کند. بنابراین طراحان و مهندسان با استفاده از روش‌های مشاهده‌ای و ابزاربندی و رفتارنگاری، با تشخیص و پیش‌بینی پتانسیل‌های حساس و خطرآفرین، خطرات تونل‌کاری شهری را به حداقل می‌رسانند. با استفاده از رفتارنگاری مناسب، می‌توان علاوه بر تأمین ایمنی و کاهش مخاطرات، اجرای تونل را بهینه‌سازی کرده و هزینه‌ها را کاهش داد. عدم توجه و استفاده از این روش‌ها و نتایج مربوطه در برخی از پروژه‌های مهندسی ژئوتکنیک به ویژه در محیط‌های شهری و مناطق حساس منجر به وقوع حوادث نامطلوب و بروز خسارات جبران ناپذیر جانی و مالی و نیز تحمیل زمان و هزینه‌های گزاف شده است. در شکل ۱ نمونه‌ای از این ریزش‌ها و ناپایداری‌ها ارائه شده است.

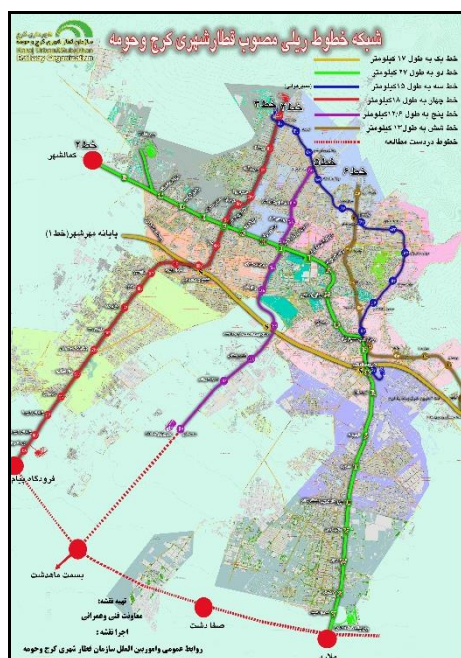


شکل ۱ - تصویری از ریزش‌ها و خرابی‌ها در برخی از پروژه‌های تونل‌های شهری

در این نوشته ضمن به اشتراک گذاشتن تجربیات به دست آمده از انجام عملیات رفتارسنجی با جامعه علمی و اجرایی کشور، تلاش شده تا با تبیین اهمیت و ضرورت ابزار دقیق و رفتارسنجی در احداث تونل‌های شهری، در راستای اجرای هر چه ایمن‌تر و اقتصادی‌تر پروژه‌های زیرزمینی در اقصی نقاط کشور گام برداشته شود. مواردی مانند وجود مصالح آبرفتی، خاک‌های ضعیف و مسئله‌دار، بافت‌های شهری فرسوده، تاسیسات و شریان‌های حیاتی و ارتفاع کم روباره؛ اغلب در پروژه‌های تونل‌کاری شهری ایجاد مشکل می‌نمایند. که این پروژه نیز از این مسأله مستثنی نبوده و در حین احداث پروژه خط ۲ قطارشهری کرج موارد متعددی از این دست مشاهده شده که در این مقاله به تشریح این موارد و بیان راهکارهای استفاده شده پرداخته خواهد شد.

۲- معرفی پروژه خط ۲ قطارشهری کرج

کلان شهر کرج با داشتن جمعیتی بالغ بر ۲,۵ میلیون نفر و موقعیت جغرافیایی خاص و دارا بودن شهرک‌های اقماری و صنعتی متعدد در اطراف از شرایط ویژه و ممتازی برای احداث سیستم‌های حمل و نقل ریلی برخوردار می‌باشد. مطالعات امکان‌سنجی اولیه ایجاد خطوط حمل و نقل ریلی شهری از سال ۱۳۸۳ شروع شده و طرح سیستم حمل و نقل قطارشهری کرج و حومه با ۶ خط به تصویب رسیده است. در شکل ۲ نمایی از خطوط مصوب نمایش داده شده است. خط ۲ این مجموعه طولانی‌ترین خط مصوب بطول حدوداً ۲۷ کیلومتر بوده و از غرب (منطقه کمال شهر و حصارک) شروع شده و با عبور از مناطق پرجمعیت به محدوده جنوب شرقی در منطقه ملارد متصل می‌شود. مطالعات تفصیلی خط ۲ متروی کرج حدوداً از اوایل سال ۱۳۸۳ شروع و احداث این خط در قالب دو فاز اجرایی برنامه‌ریزی شده است که مراحل اجرایی فاز یک آن به طول تقریبی ۱۴ کیلومتر از کمال‌آباد تا ایستگاه خط ۵ متروی تهران-کرج با در نظر گرفتن ۱۴ ایستگاه مترو، بصورت زیرزمینی از سال ۱۳۸۴ شروع شده و تا کنون ادامه دارد.

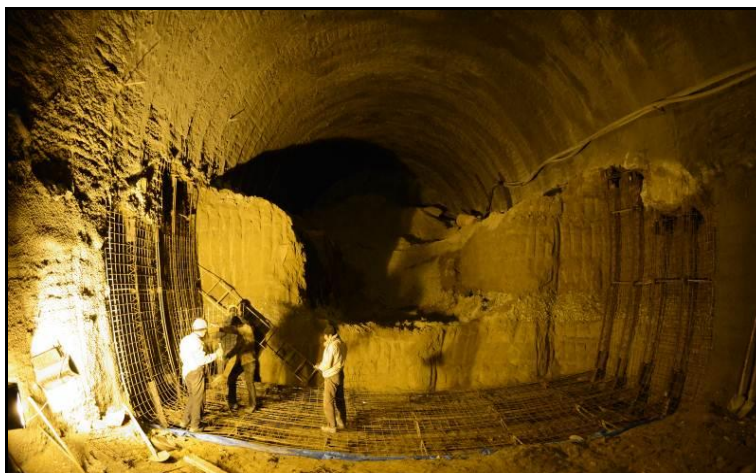


شکل ۲- پلان مسیر خط ۲ و دیگر خطوط مصوب قطار شهری کرج

۲-۱- روش‌های حفاری و تحکیم تونل

تونل خط ۲ متروی کرج در رده تونل‌های کم عمق با روباره حدوداً ۱۱ متر تا حداکثر ۲۰ متر بوده و مقطع آن نعل اسبی و به قطر ۹/۶۶ متر و سطح مقطع ۷۷ متر مربع می‌باشد. حفاری در دو قسمت فوقانی و تحتانی، بصورت سنتی، براساس فلسفه حفاری NATM و مبتنی بر داده‌های ایزاردقیق، حفاری و احداث می‌شود. جهت دسترسی به جبهه‌های کاری از رمپ یا تونل دسترسی و احداث سازه سهراهی بهره گرفته شده سپس تونل اصلی در دو جبهه کار مستقل، حفاری و تحکیم می‌شود. سیستم نگهداری اولیه مشتمل بر نصب دو لایه توری فلزی و پاشیدن شاتکریت به ضخامت حدود ۳۰ سانتی‌متر با استفاده از قاب مشبک^۱ یا پروفایل‌های توپر (قاب‌های IPE) و نگهداری نهایی شامل پوشش بتنی مسلح به ضخامت عموماً ۳۵ سانتی‌متر می‌باشد. در شکل ۳ نمایی از عملیات تحکیم اولیه تونل نشان داده شده است. این مسیر از خط ۲ شامل ۱۴ ایستگاه بوده که اکثر آن‌ها به دلیل محدود بودن محیط کاری در مناطق شهری به روش زیرزمینی احداث می‌شوند. در این روش ایستگاه‌های مترو به روش ترکیبی و با احداث سازه نگهدارنده اولیه (شمع و ریب‌های بتنی مسلح) و ایجاد یک قاب مقاوم آغاز و سپس با حفاری بخش‌های درونی، فضای زیرزمینی توسعه و ایستگاه تکمیل می‌گردد. تعدادی از این ایستگاه‌ها نیز به روش روباز با حفاری و خاکبرداری از سطح زمین و اجرای سازه نگهدارنده در حال احداث می‌باشد.

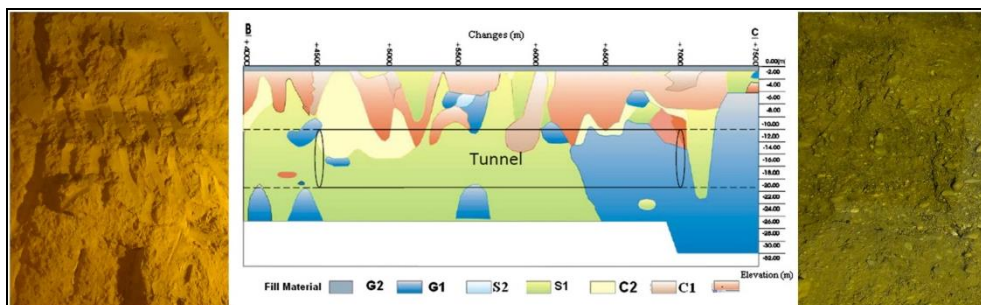
1 Lattice Girder



شکل ۳ - نمایی از عملیات حفاری و تحکیم تونل (نگارندگان)

۲-۲- زمین‌شناسی مسیر

شهر کرج در دامنه جنوبی البرز مرکزی قرار داشته و بطور کلی بر روی رسوبات آبرفتی جوان استقرار یافته است. بررسی‌های ژئوتکنیک نشان می‌دهد اغلب این رسوبات از خاک‌های درشت دانه شن و ماسه‌ای تشکیل شده که با حرکت به سمت غرب و دور شدن از قسمت‌های مرکزی مصالح ریزدانه‌تر می‌شوند. صرف نظر از منشاء رسوبات تشکیل دهنده شهر کرج بطور کلی در مسیر پروژه، سه نوع خاک متفاوت به لحاظ ظاهری، دانه‌بندی و خواص مهندسی قابل تشخیص است. در شکل ۴ پروفیل طولی در ناحیه انتقالی و تصویر نمونه‌ای از خاک، به نمایش در آمده است. دسته اول خاک‌های ریزدانه شامل لایه‌های رس، رس ماسه‌ای و لای بوده (ML, CL, SC) که در سمت غرب ساختگاه (منطقه کمال شهر) با فراوانی بیشتری وجود داشته و لایه غالب به حساب می‌آید. مابقی مسیر از مرکز به سمت شرق، عمدتاً متشکل از مصالح شنی و درشت‌دانه، اغلب با دانه‌بندی مناسب و توپر بوده و این مصالح بر اساس طبقه‌بندی متحد خاک‌ها جزو رده‌های (GC, GW, GP, GM, SC, SM) می‌باشند. همچنین در برخی محدوده‌ها (محدوده غربی ساختگاه) در تراز فوقانی یک لایه خاک دستی با ضخامت حداکثر ۲ متر مشاهده شده است.



شکل ۴- تصویری از خاک‌های ریز دانه غربی ساختگاه و خاک‌های درشت دانه تشکیل دهنده مسیر

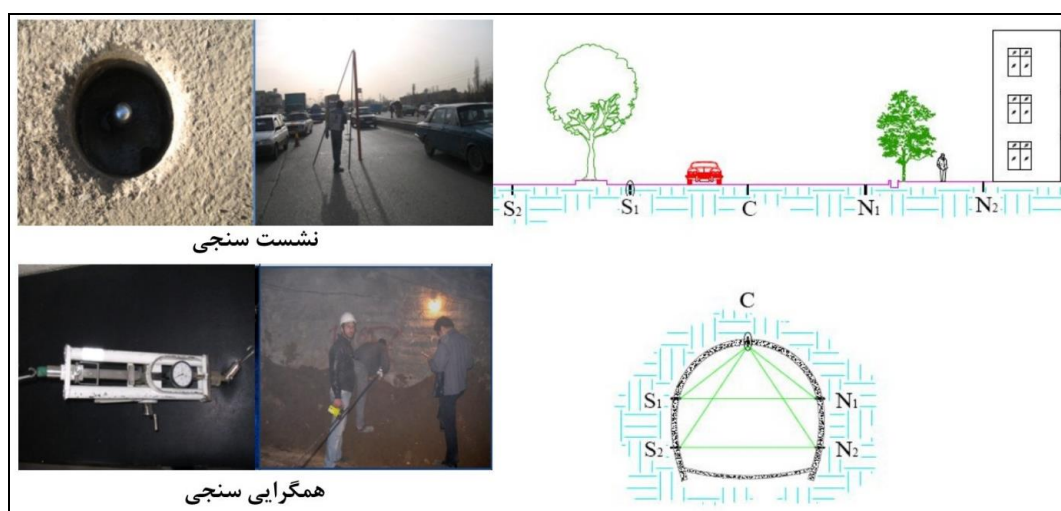
۳- طرح ابزاربندی

با حفاری فضاهای زیرزمینی در اثر باز توزیع تنش و رفتار وابسته به زمان مصالح، تغییر شکل‌ها و جابجایی‌هایی در اطراف این فضاها روی می‌دهد که با اندازه‌گیری و تعیین آهنگ تغییرات آن‌ها، می‌توان پایداری این فضاها را ارزیابی کرد. برای اندازه‌گیری این تغییر شکل‌ها و جابجایی‌ها در مراحل اجرایی فاز یک خط ۲ قطار شهری کرج، از سیستم ابزاربندی و رفتارسنجی حداقل، شامل پین‌های نشست‌سنج سطحی و همگرایی‌سنجی استفاده می‌شود که نمایی از آن در شکل ۵ نشان داده شده است.

در این پروژه به منظور اندازه‌گیری تغییر شکل مقطع هندسی تونل‌ها و فضاهای زیرزمینی از همگرایی سنج^۱ استفاده می‌شود. بدین ترتیب که با انتخاب نقاطی در پوشش داخلی تونل، پین‌هایی در این نقاط نصب شده و توسط ابزار سنجش همگرایی (متر همگرایی سنج دقیق) تحت نیروی کشش ثابت، در قرائت‌های متوالی تغییرات فاصله بین هر دو پین اندازه‌گیری می‌گردد. آرایش پین‌ها به صورت پنج نقطه‌ای در نظر گرفته شده به این صورت که در هنگام حفاری مقطع فوقانی سه پین نصب و با حفاری مقطع تحتانی دو پین تحتانی اضافه شده و ایستگاه همگرایی سنجی تکمیل می‌گردد.

جهت اندازه‌گیری نشست سطحی، ایستگاه‌های نشست سنج^۲ سطحی بر فراز تونل و در سطح زمین بسته به نیاز و شرایط موجود با دو آرایش طولی (در راستای تونل) یا عرضی (عمود بر راستای تونل) و به صورت سه نقطه، پنج نقطه و یا بیشتر نصب می‌شوند. همچنین جهت مقایسه و کنترل میزان نشست پین‌های دیگر در یک یا چند نقطه که اثرات حفر تونل بر نشست آن‌ها قابل اغماض باشد، پین‌هایی به عنوان نقطه مبنا نصب می‌گردد. تعداد و فواصل میان پین‌ها و همچنین آرایش و محل نصب براساس ملاحظات فنی و اطلاعات مورد نیاز، تعیین و انتخاب می‌شوند. پین‌های نشست سنجی و نقاط مرجع مناسب در سطح زمین نصب شده و با استفاده از دوربین تراز یاب دقیق و کنترل نقاط با نقطه مرجع، تأثیر احداث فضای زیرزمینی در لایه‌های در برگیرنده را به صورت نشست یا بالازدگی مشخص می‌گردد.

با انتقال جابجایی‌ها به سطح زمین و بوجود آمدن گود نشست بر فراز تونل نشست‌های نامتقارنی در پی ساختمان‌های اطراف بوجود می‌آید که این نشست‌ها باعث به وجود آمدن درزه‌های جدید یا فعال شدن درزه‌های قدیمی می‌شود. به همین منظور مستندسازی و تصویربرداری دوره‌ای از ساختمان‌ها و عوارض سطحی پیش‌روی تونل قبل از رسیدن جبهه کار، هنگام حفاری و بعد از عبور جبهه کار بصورت منظم و مدون انجام می‌گردد. در این راستا بر حسب نوع و کیفیت ساختمان‌ها از نقاط با پتانسیل آسیب‌پذیری و مکان‌های حساس عکس و فیلم‌برداری صورت می‌گیرد و در موقعیت‌هایی خاص درزه سنج^۳ برای رفتارنگاری کمی و کیفی تغییرات درزه‌ها استفاده می‌شود.



شکل ۵ - جانمایی ابزارهای به کار رفته و تصویری از عملیات نصب و قرائت ابزارها

۴- مناطق حساس پروژه

احداث و حفاری این خط با موانع و مشکلات متعددی روبرو بوده که با بهره‌گیری از نتایج ابزار دقیق و تعامل ارکان پروژه حفر تونل با حداقل مشکلات فنی و اجرایی میسر گردیده است. از جمله این مشکلات می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد:

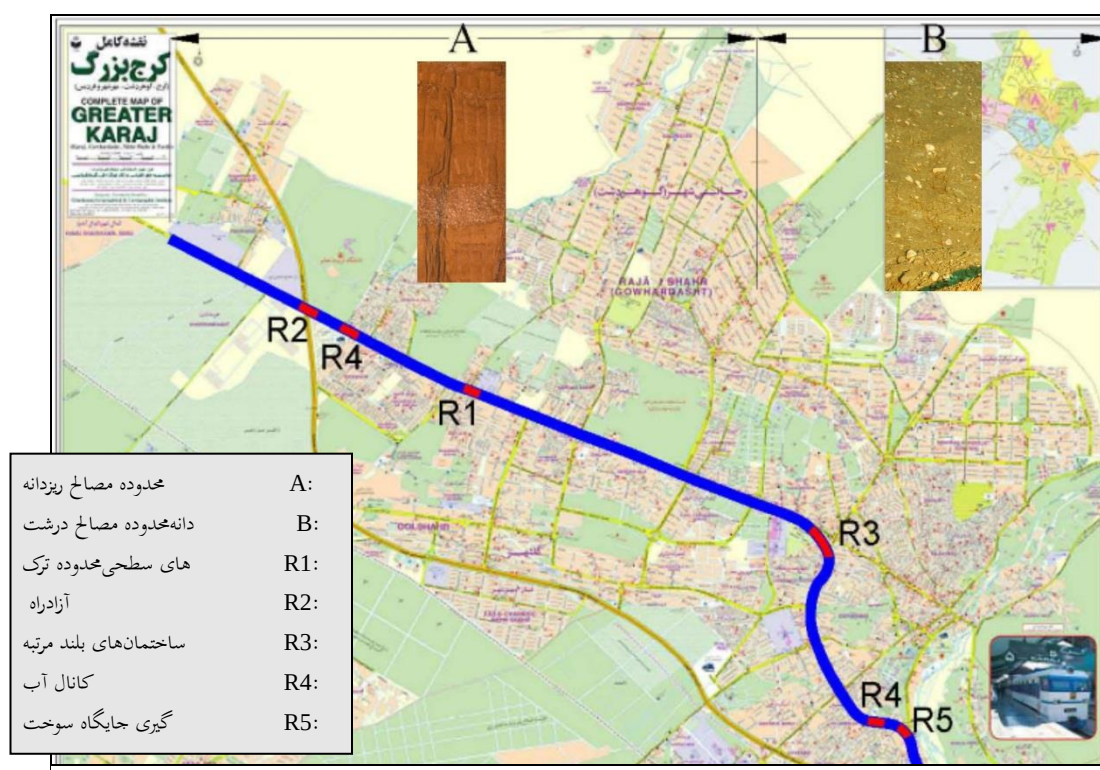
عبور مسیر از مناطق دارای مصالح ریزدانه و خاک‌های دستی، بافت‌های شهری فرسوده و پرجمعیت، گذر از زیر آزادراه‌های اصلی پرتردد با ارتفاع روباره کم و خاک‌های ضعیف، عبور از زیر ساختمان‌های بلند مرتبه، حفاری در محیط‌های دارای چاهک‌ها و حفرات متعدد پیش‌بینی و اکتشاف نشده، عبور از زیر کانال‌های آب و خطوط انرژی و

در شکل ۶ پهنه‌بندی جنس مصالح (A و B) و برخی مناطق حساس مسیر (R1 تا R5) به صورت شماتیک نشان داده شده است.

1 Convergency Meter

2 Surface Settlement

3 Joint & Crack Meter



شکل ۶ - پهنه‌بندی جنس مصالح عبوری و مناطق حساس

۵- نقش و کاربرد ابزار دقیق در مناطق خاص

در پروژه های تونل شهری به دلایل متعدد قسمتهایی از تونل کاری از شرایط معمول برخوردار نبوده و در اجرای آن مخاطرات جدی و احتمالی پیش‌بینی و برآورد می گردد که در صورت عدم توجه و بررسی کامل به جزئیات کنترلی و پیش هشدار می‌تواند اجرای آن دچار مشکلات عدیده و پیچیده‌ای با عواقب ناگوار گردد. در این مقاله به این محدوده‌ها مناطق خاص اطلاق می گردد.

در خط ۲ قطار شهری کرج با تکیه بر عملیات رفتارنگاری و ابزار دقیق و عملکرد مناسب این واحد در طول اجرای پروژه، مناطق حساس و بحرانی تشخیص و با بهره‌گیری از نتایج پایش‌ها، حفر و احداث این بخش‌ها با کمترین آثار نامطلوب و معارضین انجام شده است. باید توجه داشت که دامنه کاربرد عملیات رفتارنگاری در این پروژه گسترده است و در سطور زیر تنها گوشه‌ای از نقش‌آفرینی و کاربرد آن تشریح شده است.

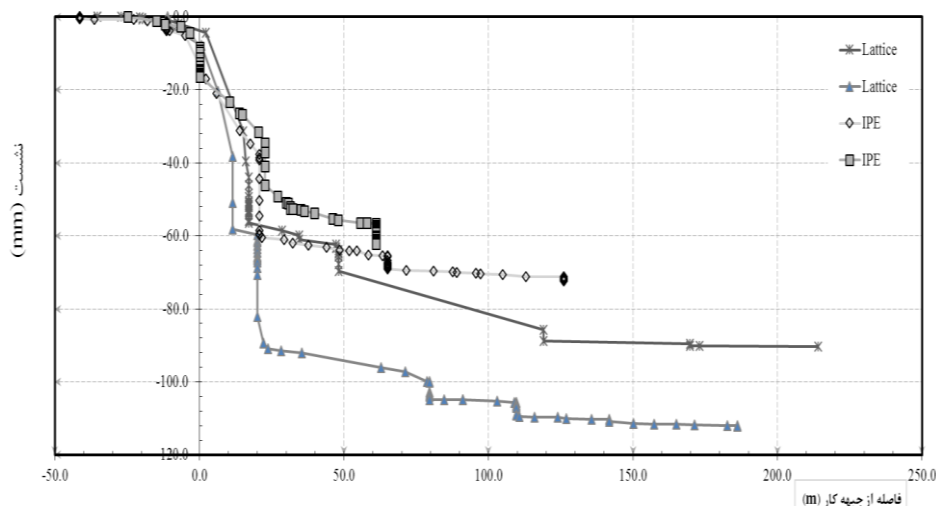
۵-۱- خاک‌های ریزدانه (A)

تونل کاری در محدوده غربی ساختمان به دلیل قرار گیری تونل در زمین های نرم همواره با مخاطرات ویژه ای همراه بوده بطوریکه پیش هشدارهای به موقع و موثری بر اساس نتایج ابزار دقیق و پایش در مکان ها و شرایط مختلف ارائه می‌شد که مورد بهره‌برداری گروه‌های اجرایی و طراحی قرار می‌گرفت. در زمان اجراء، میزان نشست بخصوص در خاک‌های ریزدانه و سست مورد مطالعه بیشتری قرار گرفت و بر حسب شرایط زمین‌شناسی محدوده و سطوح خطرپذیری، کیفیت، اهمیت، تراکم ساختمان‌ها و تاسیسات شهری، تصمیمات مختلفی اتخاذ گردید و در برخی قسمت‌ها جهت کاهش و کنترل تغییرشکل‌های سطحی و عمقی، روش اجراء تغییر کرد. هر چند تشریح تمامی تمهیدات اجرایی صورت گرفته در این مجال نمی‌گنجد ولی مهم‌ترین تغییرات صورت گرفته و نتایج اجرایی و علمی حاصل از پایش‌ها در این نوع خاک‌های را به شرح زیر می توان بیان نمود.

- افزایش پذیرش ریسک ناشی از نشست‌های سطحی : علیرغم تعریف و تعیین ضریب اطمینان و محدودیت‌های و معیارهای اولیه طراحی، با بهره‌گیری از آنالیزهای برگشتی بر روی داده‌های ابزار دقیق و اندازه‌گیری واقعی مقدار، نرخ و الگوی

نشست سطحی در قطعاتی از مسیر، افزایش ریسک ناشی از حفر تونل توسط مهندسين قابل پذيرش شد و نشست‌هایی از مرتبه چندین سانتیمتر در محور تونل ثبت گردید.

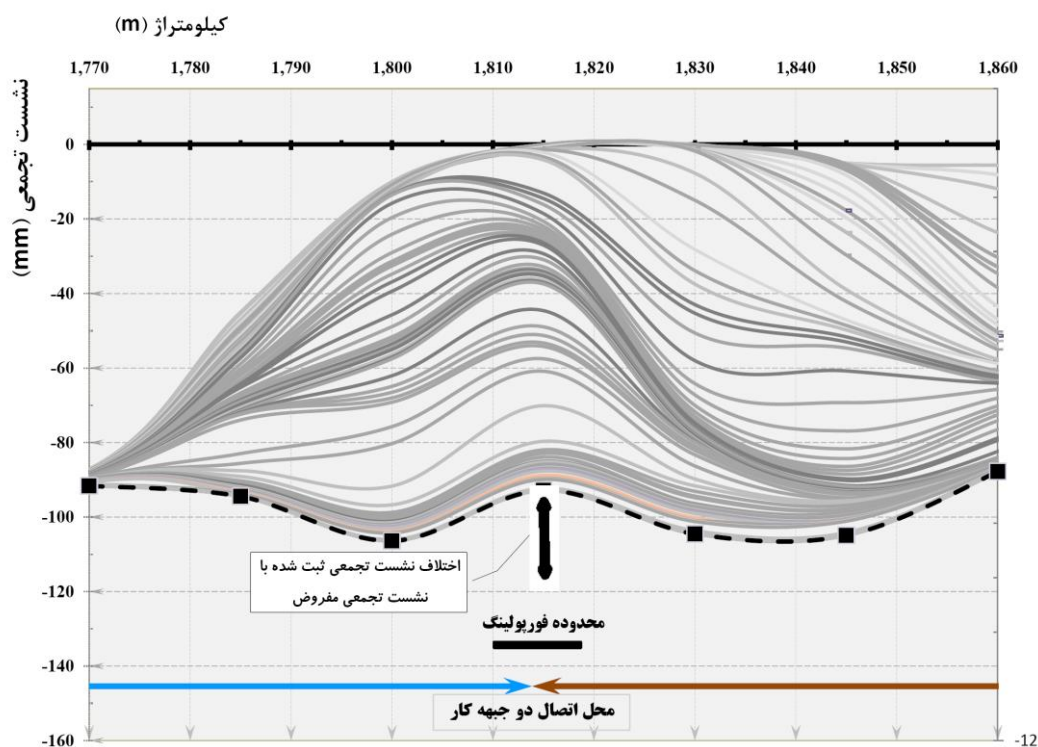
- **تجدید نظر در طراحی سازه نگهبان :** در برخی مناطق طراحی اولیه سازه نگهبان موقت (شامل قاب مشبک و شاتکریت) با توجه به نتایج رفتارسنجی مورد بازنگری قرار گرفت. براساس این بازنگری در مناطقی از مسیر قاب‌های فولادی جایگزین قاب مشبک گردید. این موضوع در نزد برخی از مهندسين از انتقادهایی برخوردار بود که به این شبهات و نگرانی‌ها با ارائه رفتار واقعی و داده های برجای حاصل از پایش پاسخ داده شد. در شکل زیر مقایسه ای بین استفاده از قاب فولادی و قاب مشبک نگهداری در کنترل نشست های سطحی در یک محدوده تقریباً یکسان ارائه شده است.



شکل ۷- مقایسه عملکرد قاب مشبک و فولادی در کنترل میزان و نرخ نشست

- **تغییر در روش اجرای تونل مسیر:** تأخیر در اجرای حفاری تحتانی و فاصله زیاد حفاری فوقانی و تحتانی و همچنین تأخیر در اجرای پوشش دائمی بتنی، می تواند موجب افزایش نشست‌های سطحی گردد. به همین سبب، روش اجرای تونل در مناطقی که نتایج برداشت‌های برجا حاکی از افزایش ملموس نرخ و میزان دگرشکلی‌ها بود، بر حسب امکانات اجرایی و قراردادی و وسعت ناحیه به روش‌های حفاری پسرو و کم کردن فاصله جبهه کار فوقانی و تحتانی، جایگزین گردید.

- **محل اتصال :** محل اتصال دو جبهه کار در محدوده خاک‌های ریزدانه، از نقاط چالش برانگیز این پروژه بود. علیرغم پذیرش افزایش خطرپذیری (حفاری در این محدوده توأم با اثرات سطحی بوده) با استفاده از تحلیل نتایج ابزاردقیق و پایش روزانه در طول حفر دو مسیر و کنترل عرض گود نشست و کرنش زاویه‌ای، ولیکن در محل اتصال دو تونل، پیش‌بینی حاکی از افزایش بیش از پیش نشست ها و احتمال گسترش آسیب‌ها و بروز حوادث نامطلوب بسیار زیاد و غیر قابل پذیرش بود. لذا اقدامات پیشگیرانه در دستور کار قرار گرفت که نهایتاً انجام پیش تحکیم به روش فورپولینگ انتخاب گردید. هر چند کارایی و اثربخشی روش مذکور به دلیل شرایط اجرایی و طول کم پیش‌تحکیمی منتقدانی در بین مهندسين اجرایی و دست‌اندرکاران داشت، ولیکن نتایج ابزاردقیق نشان دهنده عملکرد مناسب و قابل پذیرش، این روش در کاهش نرخ و مقادیر نشست‌ها در این محدوده بود. با کنترل مداوم دگرشکلی‌های پیرامون با ابزارها و تحلیل هر روزه نتایج در حین حفاری این محدوده خاص عملکرد روش بکار رفته (فورپولینگ) مورد ارزیابی قرار گرفت که بر اساس نتایج حاصله عملکرد مناسب این روش تأیید شد. بطوریکه ریزش و ناپایداری موضعی در این محدوده مشاهده نگردید و نتایج مورد نظر برآورده شد. در شکل ۸ اثر اعمال پیش‌تحکیمی در کاهش نشست نسبت به نقاط مجاور به خوبی ملاحظه می گردد. علیرغم انتظار تشدید و تجمیع تغییر شکل‌ها در محل اتصال نتایج ابزاردقیق نشان‌دهنده کاهش بیش از ۲۰ میلیمتری میزان نشست تجمعی، نسبت به نقاط مجاور بود.



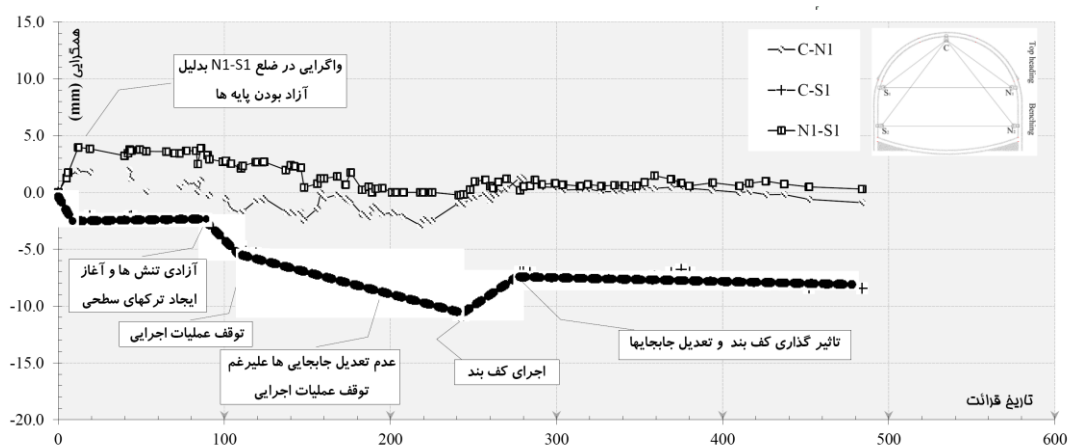
شکل ۸- ثبت عملکرد فورپولینگ با ابزار دقیق در محل اتصال دو تونل

۵-۲- محدوده ترک‌های سطحی (R1)

در این منطقه بحرانی دو جزء اصلی پروژه یعنی بخشی از تونل اصلی و ایستگاه زیرزمینی مترو قرار دارند که حفاری و احداث آن‌ها با مشکلات و مخاطرات خاصی همراه بود.

الف- حفاری تونل مسیر:

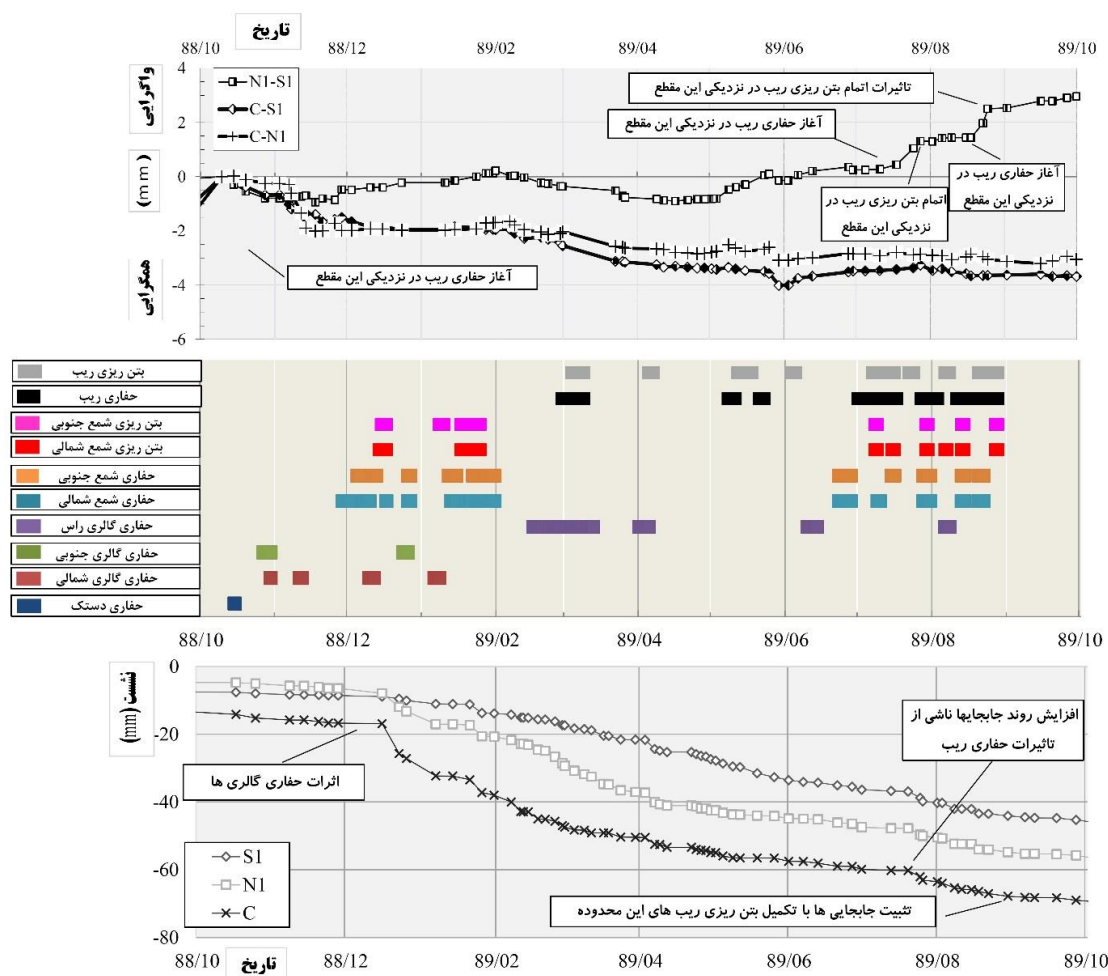
وجود مصالح ضعیف و نامناسب در این محدوده، باعث ایجاد ترک‌هایی در سطوح و به وجود آمدن نگرانی از بابت پایداری تونل و سازه‌های اطراف گردید. جهت پایدارسازی محدوده و کنترل و توقف روندهای خطرناک روش‌های متعددی پیشنهاد شد که مبتنی بر ابزار دقیق و اندازه‌گیری برجا بودند. بر اساس امکانات اجرایی پروژه و شرایط قراردادی، استفاده از کف بند و تغییر و تصحیح در سازه نگهداری اولیه در دستور کار قرار گرفت و کارایی و علاج بخشی آن‌ها به وسیله اندازه‌گیری جابجایی‌ها با ابزار دقیق ارزیابی و تأیید شد. در نمودارهای زیر چگونگی کاهش نرخ‌های جابجایی و تغییر شکل و پایدارسازی ضمن ساخت تونل به تصویر کشیده شده است.



شکل ۹- ثبت رفتار برجای سیستم نگهداری تقویتشده و نقش آن در کاهش نرخهای جابجاییها- تعادل زمین اطراف و تونل در نمودار رفتارنگاری مشهود است.

ب- ایستگاه متروی زیرزمینی

ایستگاه متروی واقع در این محدوده، به دلیل قرارگیری در خاک های ضعیف و نامناسب از لحاظ مهندسی و موقعیت مکانی ویژه با تردد بسیار زیاد و بافت شهری فرسوده از حساس ترین و پیچیده ترین قسمتهای حفاری و احداث این مسیر بوده است. بطوریکه علیرغم بکارگیری روش های متعدد بدلیل بروز مشکلات گوناگون اجرایی و تشدید نشست های سطحی در چندین مقطع زمانی اجرای سازه نگهبان این ایستگاه متوقف گردید. که در نهایت با بهره گیری از طرح ابزاربندی و رفتارنگاری ویژه و پیش بینی تمهیدات اجرایی مناسب، اجزای اصلی سازه نگهداری موقت ایستگاه (شمع و ریب) با حداقل آثار جانبی تکمیل شد. در شکل ۱۰ چگونگی ثبت جابجایی ها بر اثر حفاری و به ثبات رسیدن در اثر اعمال تحکیمات ارائه شده است.



شکل ۱۰- نقش رفتارنگاری در ثبت و تعیین تغییر شکلهای ناشی از فعالیتهای حفاری اجزای ایستگاه) و هدایت و کنترل امور اجرایی

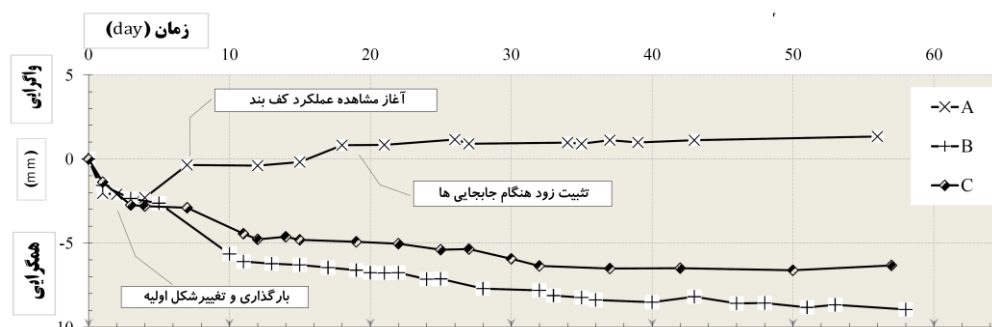
از جمله دستاوردهای شاخص عملیات رفتارنگاری در این محدوده از کار را می توان چنین بیان نمود.

- تعیین چگونگی تأثیر حفاری اجزای مختلف طرح بر میزان جابجایی ها و الگوی گسترش نشست ها و اثر آن بر ساختمان های مشرف
- تصحیح و تدقیق پارامترهای مقاومتی توده خاک این منطقه و بازبینی در طرح سازه نگهدار و تحکیم تونل با استفاده از داده های ابزار دقیق
- کمک به شناسایی حفرات متعدد پیش بینی و پیش یابی نشده پس از ثبت روندها و مقادیر نشست های سطحی بیش از حد انتظار (رفتار وابسته به زمان و تحکیم)
- بررسی و کنترل پایداری سریع فضاهاى حفاری شده و تاثیر تحکیمات در روند پایداری
- تعیین اولویت و موقعیت مکانی حفر شمع و ریب ها با استفاده از نتایج ابزار دقیق

۵-۳- آزادراه (R2)

در محدوده غربی ساختگاه (منطقه حصارک)، قسمتی از مسیر تونل از آزادراه کرج-قزوین عبور می کند. با عنایت به نتایج ابزار دقیق در مناطق مجاور و حساسیت و نگرانی های موجود در حفر تونل این منطقه، روش های آزموده و معمول توسط مهندسين پیشنهاد و اجرا گردید. کارایی و اثربخشی این روش ها با استفاده از ابزار بندی و رفتارنگاری مورد ارزیابی قرار گرفت که نتایج و روندهای مشاهده شده، معیارهای مطلوب مهندسان و طراحان را برآورده ساخت. در ادامه روش اجرا و احداث تونل مجدداً بازنگری و اصلاح گردید که روش پیشنهادی (مشمول بر نصب کفبند و بتن ریزی آن در هر نیم متر، کاهش سرعت و نرخ حفاری، فاصله نسبتاً زیاد جبهه حفاری فوقانی و تحتانی و ...) علاوه بر

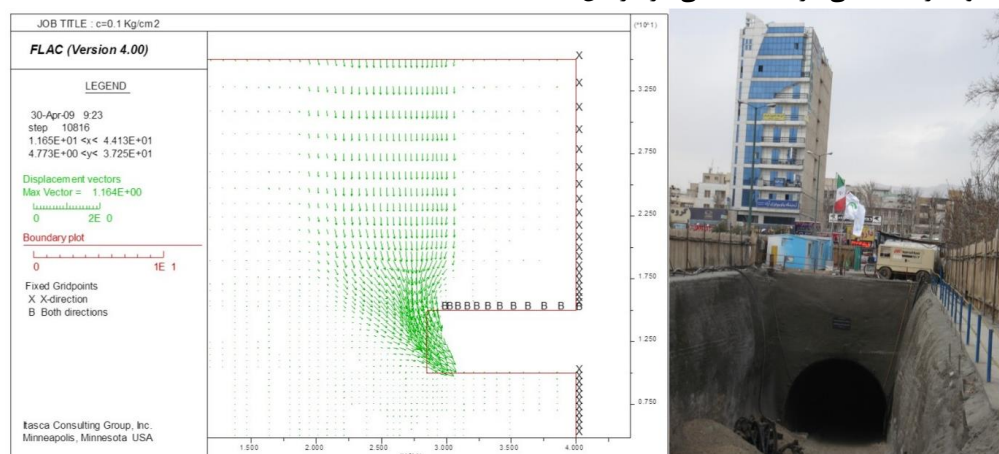
صعوبت اجرا، پرهزینه و زمان بر بود. پس از انجام بررسی‌های لازم طرح مذکور، با استفاده از ابزار دقیق و پایش در حین اجرا سبک و بهینه گردید. حذف بخش قابل ملاحظه‌ای از اجرای کف‌بند و کاهش حجم بتن‌ریزی و تسریع در حفر و احداث تونل، از جمله دستاوردهای پایش این محدوده بوده است. همچنین براساس آنالیزهای برگشتی بر روی داده‌های ابزار دقیق و برخی ملاحظات، در این مناطق ضخامت پوشش نهایی بتنی مسلح از ۳۰ سانتی‌متر به ۵۰ سانتی‌متر افزایش یافت. ملاحظه می‌شود که بکارگیری ابزار دقیق و رفتارسنجی علاوه بر کنترل به‌هنگام پایداری و ایمنی نسبی، می‌تواند موجب کاهش هزینه و زمان اجرای پروژه نیز گردد. در نمودار زیر مکانیزم عملکرد سیستم نگهداری بهینه‌شده در کاهش و کنترل تغییرشکل‌ها با استفاده از نتایج ابزار دقیق ارائه شده است.



شکل ۱۱- رفتار سیستم نگهداری بهینه‌شده (کاهش المان کف بند) در پایداری و برقراری تعادل مصالح اطراف و تونل (A: ناحیه تحکیم شده به روش اصلاحی و بهینه؛ B و C: نواحی تحکیم شده بر اساس طرح معمول در مجاورت محدوده)

۴-۵- محدوده ساختمان‌های بلندمرتبه (R3)

قرارگیری محور تونل در زیر ساختمان‌های چند طبقه در این ناحیه احتمال آسیب‌رسانی به سازه‌ها را افزایش می‌داد. جهت رفع مخاطرات در مواجهه با عبور مسیر از زیر ساختمان‌های بلند، مشخصات ساختمان‌های مسیر شامل ابعاد، نوع سازه، محل چاه‌های فاضلاب، فاصله دقیق تونل از پی ساختمان‌ها و غیره؛ توسط تیم ابزار دقیق پروژه مشخص و ترک‌های داخل ساختمان‌ها پیش از انجام حفاری برداشت شدند. ساختمان‌های موجود در مسیر تونل با نصب ابزار دقیق شامل نقاط نقشه‌برداری و ترک‌سنج در حین عبور تونل از زیر آن رفتارسنجی شدند و براساس نتایج رفتارسنجی عملیات حفاری برنامه‌ریزی و اجرا گردید. با توجه به صلبیت بیشتر قاب‌های فولادی IPE و عملکرد سریع و باربری بهتر آن در قسمت‌هایی از تونل نزدیک به ساختمان‌های بلند از قاب‌های فولادی جهت نگهداری اولیه تونل استفاده شد. قبل از ورود به این ناحیه با انجام آنالیزهای برگشتی بر روی داده‌های ابزار دقیق مجاور پارامترها تدقیق شد و ساختمان‌های بلندمرتبه موجود در مسیر و اندرکنش آن‌ها با عملیات حفر تونل مدل‌سازی گردید؛ که در کنترل میزان تغییرات حدی جابجایی‌ها از نتایج آن بهره گرفت شد. ضخامت پوشش بتنی مسلح در این محدوده از ۳۰ سانتی‌متر به ۵۰ سانتی‌متر افزایش یافت.



شکل ۱۲- تصویری از ساختمان‌های بلند مرتبه پیرامون تونل و مراحل آنالیزهای برگشتی انجام شده

۵-۵- سایر مناطق (R4, R5)

مسیر فاز یک پروژه در دو نقطه کانال آب سطحی را قطع می‌کند. در هنگام حفاری تونل در این مناطق بدلیل رطوبت بالای خاک و تغییر در مشخصات آن، مرتباً میزان و روند دگرشکلی‌ها کنترل و ارزیابی می‌گردید. با نصب پین‌های همگرایی و نشست‌سنجی در این نواحی، وضعیت تغییرات منطقه به طور مستمر تحت نظر قرار گرفته و عملیات حفاری تونل بر اساس اطلاعات بدست آمده برنامه‌ریزی و اجراء شد. همزمان با نزدیک شدن جبهه‌کار حفاری به جایگاه سوخت‌رسانی، نگرانی‌هایی از بابت تشدید اثرات تونل‌کاری بر مخازن زیرزمینی سوخت به وجود آمد بطوریکه کار در این محدوده موقتاً حفاری‌ها متوقف گردید تا نتایج قرائت ابزار دقیق و رفتارنگاری در مناطق مجاور و مسیر پیش روی تونل مورد بررسی دقیق قرار گرفت. به دلیل حساسیت بالای مخازن سوخت نسبت به تغییر شکل‌ها و احتمال خرابی‌های بزرگ، با شناسایی موقعیت انبار سوخت و بکارگیری طرح ابزاربندی مشتمل بر نشست‌سنجی و همگرایی‌سنجی ادامه عملیات حفاری با تأمین شرایط مطلوب، میسر و به اتمام رسید.

۶- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در پروژه‌های تونل‌سازی شهری، اطلاعات ناکافی از رفتار خاک و وضعیت زمین‌شناسی، در دست نبودن اطلاع دقیق از نقشه‌های تأسیسات شهری و نشستی لوله‌های آب و بکارگیری روش‌های اجرایی نامناسب می‌تواند باعث تحمیل خسارات جانی و مالی به پروژه گردد. با استفاده از ابزار دقیق و رفتارسنجی در پروژه‌های زیرزمینی و پایش مدبرانه و هدفمند مناطق حساس، می‌توان بسیاری از این خطرات را پیش از بحرانی شدن شناسایی و نسبت به برطرف کردن آن‌ها اقدام نمود. در پروژه خط ۲ قطارشهری کرج استفاده از ابزار دقیق و رفتارسنجی علاوه بر شناسایی پتانسیل‌های خطر، دستاوردهایی مهم دیگری داشته که در ذیل به آن‌ها اشاره خواهد شد.

- حصول اطمینان از صحت فرضیات طراحی و تدقیق آن‌ها در بسیاری از مناطق
 - شناسایی مناطق بحرانی پروژه از لحاظ پایداری تونل و پیرامون آن
 - با بهره‌گیری از داده‌های ابزار دقیق و رفتارسنجی و تحلیل و تفسیر مناسب داده‌ها امکان ارزیابی پایداری تونل و سازه‌های پیرامون در مناطق حساس فراهم شد.
 - امکان ارزیابی اثربخشی روش‌های ارائه شده جهت کنترل جابجایی‌ها و تأمین پایداری تونل
 - بهینه‌سازی روش اجرا، در راستای اجرای سریع‌تر و اقتصادی‌تر پروژه
 - پیش‌بینی سطح آسیب‌دیدگی ساختمان‌های مجاور با استفاده از ابزارهای نشست‌سنجی
 - تأمین حمایت قانونی در مقابل شکایات مطروحه از جانب مالکین برخی ساختمان‌های آسیب دیده و فراهم آمدن امکان دفاع از نظریات کارشناسان از طریق مستندسازی و رفتارنگاری
 - تولید و گسترش علوم مهندسی ژئوتکنیک و رفتارسنجی و استفاده از نتایج و دستاوردها در دیگر پروژه‌ها
 - پیش برد دانش و فن‌آوری اجرای فضاهای زیرزمینی
- علیرغم بکارگیری ابزارهای ساده و مکانیکی در طرح ابزاربندی پروژه خط ۲ قطار شهری کرج، عملیات رفتارنگاری و پایش، نتایج و عملکرد مطلوب و موثری از خود به جای گذاشته که می‌تواند الگوی مناسبی برای دیگر پروژه‌ها و دست‌اندرکاران باشد. این دستاورد مهم مرهون وجود تیم متخصص و دلسوز ابزار دقیق و مهندسی ژئوتکنیک بوده، که قطعاً حمایت مدیران در سطوح مختلف، متضمن محقق شدن آن بوده است.

تقدیر و تشکر

از حسن نظر و تلاش‌های مجدانه و دلسوزانه، مدیران محترم در سازمان قطارشهری کرج و حومه و شرکت سابیر که امکانات لازم برای اجرای طرح ابزار دقیق و عملیات رفتارنگاری را فراهم نمودند، تشکر و قدردانی می‌شود.

مراجع

- ۱- شرکت مهندسی مشاور مه‌آب قدس، (۱۳۹۱) «گزارش نتایج بدست آمده از تغییر روش‌های اجرایی حفاری و تحکیم رمپ ۴ خط ۲ قطارشهری کرج»
- ۲- داوود صالحی، (۱۳۸۷) «بررسی علل ترک خوردگی ساختمان‌ها در حدفصل ایستگاه‌های E, D و ارائه روش‌ها علاج بخشی»

- ۳- شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس، (۱۳۸۸) «بررسی طرح تحکیمات اولیه تونل در محل عبور از زیر ساختمانها و عبور از اتوبان- خط ۲ قطار شهری کرج»
- ۴- ح. اکبری، ح. یازرلو، م. امام، (۱۳۹۲) «بررسی کارایی روش فورپولینگ برای کاهش نشست سطحی با استفاده از نتایج ابزار دقیق تونل خط ۲ قطار شهری کرج» دهمین کنفرانس ملی تونل
- ۵- ف. هزارخوانی، ح. یازرلو، ا. شریعتی، (۱۳۹۱) «ریسک‌های تونل‌سازی در مناطق شهری و روش‌های کاهش ریسک، مطالعه موردی تونل‌های خط ۲ قطار شهری کرج» سومین همایش سد و تونل ایران،
- ۶- ح. یازرلو، ع. برامکی، د. صالحی، ر. یازرلو، (۱۳۸۹) «تعیین پارامترهای ژئومکانیکی مصالح زمین با استفاده از روش آنالیز برگشتی، مطالعه موردی تونل‌های خط ۲ قطار شهری کرج» چهارمین همایش بین‌المللی مهندسی ژئوتکنیک و مکانیک خاک ایران
- ۷- گزارشات رفتارنگاری شرکت تونل‌سازان اطلس، پیمانکار رفتارنگاری خط دو قطار شهری کرج
- 8- Tadashi, S., Toshituki, H., & Toshi, N. (1999). **Observation of ground movements during tunnel construction by slurry shield method at the Docklands light railway Lewisham extension** east London. Soils and foundations, 39(3), 99-112.
- 9- ITA/AITES-Training Course Tunnel Engineering , **Ground Reinforcing for Tunneling The Example of Steel Pipe Umbrella** , Prepared by "D.Peila" , Istanbul – 2005.
- 10- Mair,R.J and Taylor,R.N :**Bored tunneling in the urban environment**.14th ICSMFE,Hamburg,1997,pp.2353-2385
- 11- Boscardin,M.D and Cording,E.J. :**Building response to excavation-induced settlement**. J. of Geotechnical Eng.115(1),1989,pp 1-21
- 12- Lunardi, P. (2008). **Design and construction of tunnels: analysis of controlled deformation in rocks and soils (ADECO-RS)**. Springer.

بهبود تشخیص خطای سنسور در ماشین‌های القایی با تبدیل موجک و پیکربندی فیلتر کالمن توسعه یافته

حسن فاتحی مرج^{۱*}، سجاد باقری^۲

۱ و ۲- نویسنده مسئول: هیئت علمی دانشگاه ولی عصر رفسنجان،

۲- دانشجوی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات سیرجان

h.fatehi@vru.ac.ir-#۱

bagheri.sajad93@gmail.com -۲

چکیده

موتورهای القایی به طور گسترده ای در صنعت کاربرد دارند که دلیل آن قیمت مناسب، استحکام، قابلیت اطمینان این دسته از موتورهاست. برای بهبود عملکرد راه اندازی موتور القایی، یک سنسور موقعیت، یک سنسور ولتاژ مستقیم (DC) و حداقل دو سنسور جریان AC لازم است. با این وجود بروز ایراد در هریک از این حسگرها موجب کاهش عملکرد سیستم و یا حتی ناپایداری می شود. بنابراین می بایست راهکاری در نظر گرفته شود تا حتی در صورت بروز خطا در سنسور عملکرد با دقت خوبی در شرایط بروز خطا هم حفظ شده و بدین منظور می بایست از یک مکانیزم برای تشخیص خطا استفاده کرد. در این مقاله سیستمی پیشنهاد شده تا با استفاده از حداقل تعداد مشاهده‌گرها روی سیستم با استفاده از ترکیب فیلتر موجکی و فیلتر کالمن الگوریتم تشخیص خطا ایجاد شده و پیکربندی مجدد با استفاده از فیلتر کالمن گسترش یافته صورت می پذیرد. نتایج شبیه سازی برتری این روش را بر روش فیلتر کالمن توسعه یافته بدون ترکیب با فیلتر موجک را تصدیق می کند.

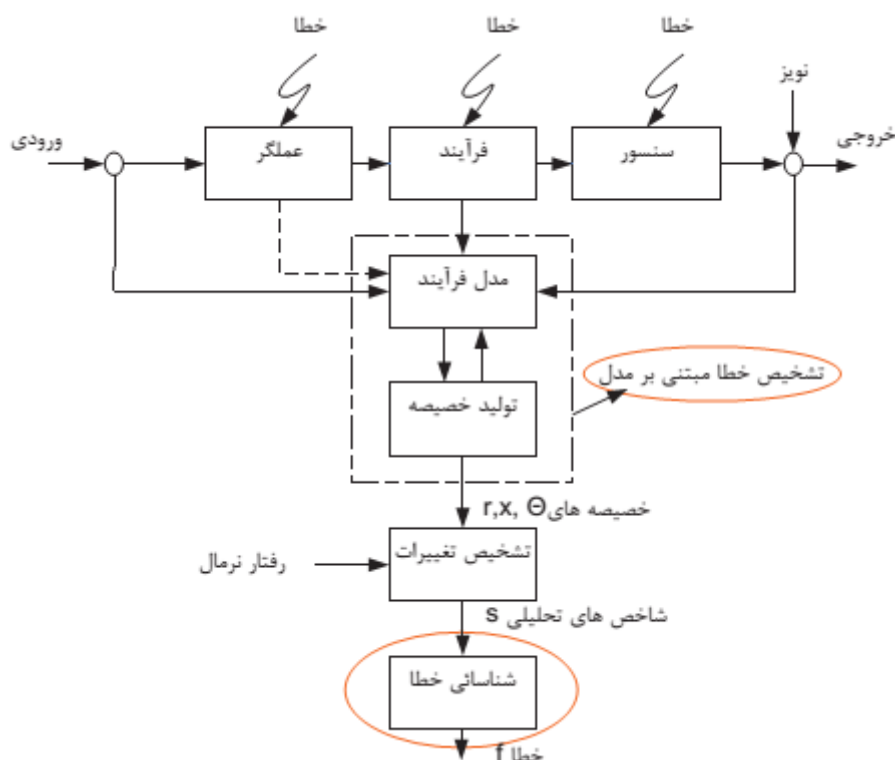
واژگان کلیدی: موتور القایی، تشخیص خطا، فیلتر کالمن توسعه یافته، فیلتر موجکی

۱- مقدمه

موتورهای القایی محرکه ی اصلی صنعت و کارخانجات می باشند. موتور های القایی در مقابل موتورهای جریان مستقیم برای ساخت آسان تر و از لحاظ هزینه ارزان تر بوده ،مستحکم بودن، قابلیت کارکرد در محیط های مختلف صنعتی، بازده ی رضایت بخش و نیاز به هزینه ی نگه داری کمی دارند. ولی سرعت این موتور ها به آسانی موتور های جریان مستقیم قابل کنترل نیست. اصول کنترل برداری، شرایطی را برای کنترل مستقل گشتاور و شار با کنترل مستقل مولفه های شار ساز و گشتاور ساز جریان استاتور با تنظیم دامنه، فاز و فرکانس ولتاژ تغذیه در یک قاب مرجع در موتور های القایی فراهم می کند. در صنعت روش کنترل برداری به دلیل کارایی بالا، از محبوبیت بالایی برخوردار است.

در یک موتور القایی کنترل برداری شده برای کنترل موتور به سیگنال های موتور مانند سرعت، گشتاور نیاز است برای این منظور از سنسور هایی برای اندازه گیری این متغیر ها استفاده می شود. کاربرد سنسور های اضافی می تواند قابلیت اطمینان سیستم را کاهش دهد. مثلاً سنسور سرعت از لحاظ هزینه، جایگزاری و قابلیت اطمینان سیستم مشکل ساز است. اندازه گیری گشتاور موتور نیز به طور مستقیم بامحدودیت هایی مواجه است. بنابراین به جای به کار بردن این سنسور ها، می توان این متغیر ها را با استفاده از روش های محاسباتی مانند روتگرها اندازه گرفت.

برای بالا بردن قابلیت اطمینان سیستم و ایمنی عملکرد اکثر درایو‌های کششی صنعتی مانند قطار ها به سیستم های خطایاب مجهز هستند. این سیستم ها با دانستن اطلاعاتی درمورد سیستم، اطلاعاتی را به مرکز نگه داری می فرستد تا تصمیمات لازم اعمال شود. می توان با استفاده از رویکرد سرعت و همچنین رویکرد گشتاور بار اطلاعاتی را در مورد عملکرد سیستم به دست آورد و اگر خطایی در سیستم وجود داشته باشد در جهت رفع آن برآید.



شکل ۱- تشخیص و شناسایی خطا مبتنی بر مدل فرآیند

خطاهای ایجاد شده در موتور بصورت فرکانس‌های مشخص برای هر خطا در سیگنال جریان استاتور قابل مشاهده هستند [۴]. برای مشخص کردن دامنه و فرکانس مولفه های ایجاد شده (که نسبتاً پهنای باند زیادی نیز دارند) توسط هر خطا، احتیاج به یک پردازش سیگنال قوی می باشد که بتواند دامنه و فرکانس آنها را با دقت مناسب مشخص کند [۵]. از فرکانس های موجود در سیگنال با توجه به فرکانسی که هر خطا ایجاد می کند وضعیت سلامت موتور تشخیص داده می شود [۴]. با توجه به اینکه محدوده فرکانس های ایجاد شده برای خطاهای مختلف، وسیع است در این مقاله از تبدیل موجک برای پردازش سیگنال استفاده شده است.

در روش های تشخیص خطا بر مبنای مدل فرآیند، با اندازه گیری یک یا چند متغیر و با استفاده از ارتباط تعریف شده بین پارامترهای سیستم، ورودیها، خروجیها و متغیرهای حالت، به تشخیص تغییراتی که می تواند توسط خطا ایجاد شده باشد، پرداخته میشود. شکل ۱ فرایند تشخیص خطا براساس مدل فرآیند را نشان می دهد که در آن ارتباط بین ورودی U و خروجی Y توسط یک مدل ریاضی ارائه می شود. بنبوی (۲۰۰۲) تشخیص و شناسایی خطا به روش آنالیز سیگنال جریان ورودی در یک موتور القایی سه فاز و بینچانی (۲۰۱۱) تشخیص و شناسایی خطاهای بلبرینگهای خطی در یک موتور خطی را به روش آنالیز سیگنال ارتعاشی اندازه گیری شده توسط شتاب سنج ارائه می کنند. نتایج ارائه شده در هر دو مرجع بیانگر قابلیت های قابل توجه روشهای مزبور در پوشش دهی برخی از خطاهای موتور القایی است، اما عدم امکان تشخیص و یا شناسایی برخی از خطاها در موتور از یک طرف و محدود بودن روش به مانیتورینگ موتور، مجزا از مکانیزمها و سیستمهای انتقال قدرت مکانیکی، کاربردی بودن آن را تضعیف می کنند [۷و۶].

مراجع کالزو (۲۰۰۶) و مارکیز (۲۰۰۷) تشخیص و شناسایی خطا با استفاده از رویکرد حالت و فیلتر کالمن به ترتیب در موتور القایی سه فاز و سیستم ماشین سوزن را معرفی میکنند. نیاز به اطلاعات دقیق از سیستم برای ارائه یک مدل دقیق و همچنین عدم پوشش دهی همه

خطاهای مهم سیستم در مرحله تشخیص و یا شناسایی از جمله معایب روش مذکورند [۹ و ۸]. در مراجع آرکیو (۲۰۰۸) و یانگ (۲۰۱۴) استفاده از سیستمهای خبره و الگوریتمهای هوشمند در سیستمهایی با تنوع سیگنال و یا سیستمهای با عدم امکان ارائه مدلهای دقیق از فرآیند عملکردی سیستم، توصیه شده است [۱۰ و ۱۱].

همچنین در مقاله ژانگ و همکاران (۲۰۱۳) خطای سنسور با استفاده از فیلتر کالمن توسعه یافته تشخیص و پیکربندی مجدد صورت می گیرد. نتایج عملی این متد برتری این روش را نشان می دهد. [۱۲] در این مقاله ما قصد داریم با اضافه کردن فیلتر موجکی به آستانه ورودی برتری آن را بر عدم استفاده از این فیلتر مانند مقاله ژانگ با شبیه سازی مورد بررسی قرار دهیم. در اینجا پس از مقدمه ای بر پیشینه نظری موضوع ابتدا به مبانی نظری تحقیق از جمله تبدیل موجک و فیلتر کالمن توسعه یافته می پردازیم. سپس به ارائه الگوریتم پیشنهادی و نهایتاً نتایج شبیه سازی و نتیجه گیری می پردازیم.

۲- تبدیل موجک و کاربردهای آن در سیستم های قدرت

تبدیل ویولت یکی از پرکاربردترین تبدیلات ریاضی در حوزه پردازش سیگنال می باشد. با توجه به ماهیت آنالیز چند رزولوشنی، این تبدیل جای خود را در بسیاری از کاربردهای پردازشی باز کرده است و بعضاً به عنوان توانمندترین ابزار رخ می نماید. تبدیل ویولت به عنوان روشی جایگزین بر تبدیل فوریه زمان کوتاه ارائه گردید و هدف آن فائق آمدن بر مشکلات مربوط به رزولوشن در تبدیل فوریه زمان-کوتاه است. در آنالیز ویولت سیگنال مورد نظر در یک تابع ویولت ضرب می شود که در حقیقت نقش همان پنجره را دارد. موجک دارای بُعد مقیاسی و بُعد زمانی است، نتیجتاً هر کاربردی نیز که دارای بُعد مقیاسی و بُعد زمانی است میتواند توسط آن آنالیز شود. بر خلاف تبدیل های فوریه که برای آنالیز قسمتهای گذرا در سیگنالهای غیر متناوب مناسب نیستند، تبدیل موجک به دلیل اینکه اطلاعات زمانی را نیز فراهم می کند در تشخیص سیگنالهای غیر ساکن که دارای اجزا فرکانس بالا و فرکانس پایین می باشد بسیار موثر است، همچنین تبدیل موجک برای آنالیز پدیده گذار مانند آنها که در ارتباط با خطاهای خط انتقال هستند مناسب می باشد. کاربردهای بسیار مهمی که تبدیل موجک در سیستم قدرت دارد عبارت است از: تعیین محل حفاظت، خطا در سیستم قدرت، تعیین اختلالات و آنالیز پدیده تخلیه نسبی.

۳- فیلتر کالمن توسعه یافته

این فیلتر توسعه یافته فیلتر کالمن خطی است و در مواقعی بکار میرود که فرآیند اندازه گیری غیر خطی $(y = h(x))$ و یا دینامیک غیرخطی برای هدف داشته باشیم. معادله تجدید این فیلتر به همان شکل معادله تجدید فیلتر کالمن خطی است:

$$\hat{x}(k|k) = \hat{x}(k|k-1) + K(k) \{y(k) - b[\hat{x}(k|k-1)]\} \quad (1)$$

در رابطه فوق $h[\hat{x}(k|k-1)]$ تابع اندازه گیری غیرخطی است که در حالت خطی به $H\hat{x}(k|k-1)$ ساده می شود. محاسبه بهره هم شبیه فیلتر کالمن خطی است:

$$K(k) = P(k|k-1)H'_x(k)[H_x(k)P(k|k-1)H'_x(k) + R(k)]^{-1} \quad (2)$$

که در رابطه فوق H_x ماتریس اندازه گیری خطی شده برابر است با:

$$H_x(k) = \left. \frac{\partial h}{\partial x} \right|_{x = \hat{x}(k|k-1)} \quad (3)$$

H_x یک ماتریس $m \times d$ است که d بعد بردار حالت و m بعد اندازه گیری است. به عنوان یک مثال یک فیلتر ساده با بردار حالت زیر را در نظر بگیرید:

$$x = \begin{bmatrix} x \\ v_x \\ y \\ v_y \end{bmatrix}$$

و فرض کنید رادار فاصله و زاویه سمت را اندازه گیری می کند:

$$y = h(x) = \begin{bmatrix} R \\ \eta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (x^2 + y^2)^{\frac{1}{2}} \\ \tan^{-1}(y/x) \end{bmatrix}$$

در اینصورت خواهیم داشت:

$$H_x = \begin{bmatrix} \partial R / \partial x & \partial R / \partial v_x & \partial R / \partial \gamma & \partial R / \partial v_\gamma \\ \partial \eta / \partial x & \partial \eta / \partial v_x & \partial \eta / \partial \gamma & \partial \eta / \partial v_\gamma \end{bmatrix}_{x=\hat{x}} \quad (4)$$

$$= \begin{bmatrix} \hat{x} / \hat{R} & 0 & \hat{\gamma} / \hat{R} & 0 \\ -\hat{\gamma} / \hat{R}^2 & 0 & \hat{x} / \hat{R}^2 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\hat{R} = (\hat{x}^2 + \hat{y}^2)^{\frac{1}{2}} \quad \text{که در آن:}$$

در فیلتر کالمن توسعه یافته (بر خلاف فیلتر کالمن خطی) محاسبه بهره فیلتر و در نهایت تجدید حالت برای رسیدن به $\hat{x}(k|k)$ به تخمین اولیه $\hat{x}(k|k-1)$ بستگی دارد. بنا بر این اگر تخمینهای اولیه نادقیق باشند احتمال واگرایی فیلتر وجود دارد. به عبارت دیگر ترتیب محاسبات اینجا مهم است (بر خلاف فیلتر کالمن خطی). تجدید کوواریانس نیز مانند قبل برابر خواهد بود با

$$P(k|k) = [I - K(k)H_x(k)]P(k|k-1) \quad (5)$$

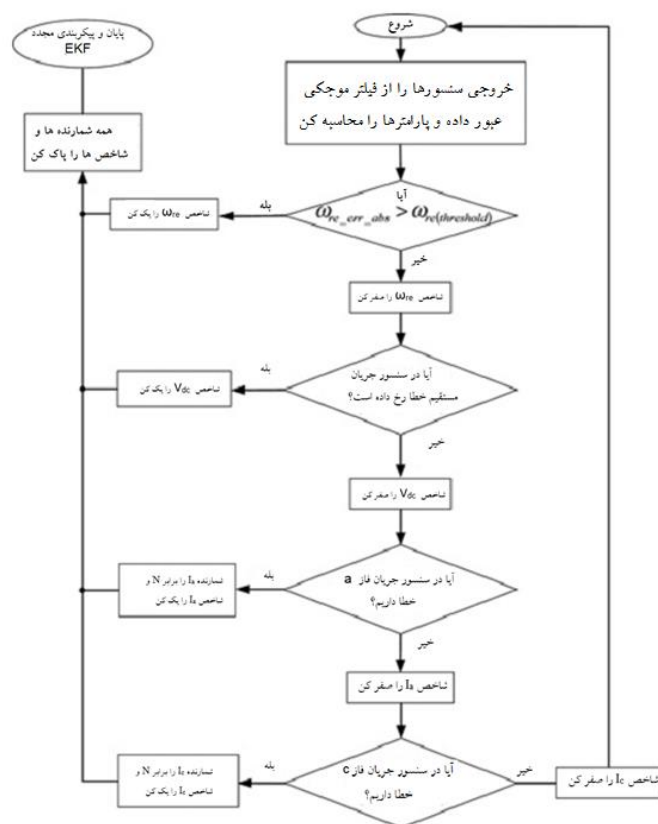
۴- خطا در ماشین‌های القایی

خطاهای یک موتور القایی را می توان به دو دسته الکتریکی و مکانیکی تقسیم کرد. هر کدام از این خرابیها در اثر عوامل و تنش های متعددی ایجاد می گردند. این تنشها در حالت کلی بصورت حرارتی، مغناطیسی، دینامیکی، مکانیکی و یا محیطی می باشند که در قسمت های مختلف ماشین مانند محور، بلبرینگ، سیم پیچی استاتور، ورقه های هسته روتور و استاتور و قفسه روتور خرابی ایجاد می کنند. اکثر این خرابیها در اثر عدم بکارگیری ماشین مناسب در شرایط کاری مورد نظر، عدم هماهنگی بین طراح و کاربر و استفاده نامناسب از ماشین پدید می آید. در این قسمت سعی گردیده است ابتدا انواع تنشهای وارده بر ماشین، عوامل پدید آمدن و اثرات آنها بررسی گردد.

قبل از بررسی انواع تنشهای وارده بر ماشین القایی بایستی موارد زیر در نظر گرفته شود:

۱- با مشخص کردن شرایط کار ماشین می توان تنشهای حرارتی، مکانیکی و دینامیکی را پیش بینی نمود و ماشین مناسب با آن شرایط را انتخاب کرد. به عنوان مثال، سیکل کاری ماشین و نوع بار آن، تعداد دفعات خاموش و روشن کردن و فاصله زمانی بین آنها، از عواملی هستند که تاثیر مستقیم در پدید آمدن تنشهای وارده بر ماشین خواهند داشت.

۲- وضعیت شبکه تغذیه ماشین از لحاظ افت ولتاژ در حالت دائمی و شرایط راه اندازی و میزان هارمونیکهای شبکه هم در پدید آمدن نوع تنش و در نتیجه پدید آمدن خرابی در ماشین موثر خواهند بود.



شکل ۲- الگوریتم تشخیص خطا با استفاده از ویولت و پیکربندی EKF

۵- تعقیب خطا با روتگر کالمن

همانطور که می دانیم استفاده از فیلتر کالمن تازمانی که دینامیک هدف و نویز اندازه گیری به دقت مدل شده باشند، متوسط مجذور خطا (MSE) را کمینه می کند. علاوه بر این مزیت های دیگری نیز در سیستم های تعقیب چند هدفی (MTT) دارد که عبارتند از: رشته بهره فیلتر بطور خودکار بر اساس مدل های فرض شده برای مانور هدف و نویز اندازه گیری انتخاب می شود. این بدان معنا است که با تغییر چند پارامتر کلیدی می توان همان فیلتر را برای اهداف و محیط های اندازه گیری مختلف بکار برد. مثلاً با کاهش فاصله هدف، چگالی (نسبت توان سیگنال به نویز) بهبود یافته و لذا دقت اندازه گیری زاویه بهبود خواهد یافت. از سوی دیگر با کاهش فاصله، دینامیک زاویه ای هدف افزایش می یابد. پاسخ بهینه به این محیط متغیر پیچیده را می توان با مدل های وابسته به فاصله دینامیک هدف و نویز اندازه گیری در یک فیلتر کالمن بدست آورد.

رشته بهره فیلتر خود را با تغییر در زمان های آشکار سازی (در اثر نمونه برداری متغیر با زمان و یا عدم آشکار سازی هدف در بعضی زمانها) تطبیق می دهد.

ماتریس کوواریانس فیلتر کالمن معیار دقت تخمین می باشد. این معیار در فرآیند تخصیص داده مورد نیاز می باشد. همچنین در آشکار سازی مانور هدف بکار خواهد آمد.

خواهیم دید که با فیلتر کالمن می توان حداقل به مقداری اثرات تخصیص نادرست را در یک محیط MTT شلوع کاهش داد.

حال به مرور معادلات فیلتر کالمن می پردازیم. فرض کنیم می توانیم مدل فرآیند دینامیکی هدف را به شکل زیر بنویسیم:

$$x(k+1) = \Phi x(k) + q(k) + f(k+1|k) \quad (6)$$

در رابطه فوق x بردار n بعدی حالت هدف، Φ ماتریس انتقال، $q(x)$ نویز فرآیند که گوسی با میانگین صفر و کوواریانس Q فرض می شود و $f(k+1|k)$ ورودی معلوم (مانند تغییر موقعیت نسبی در اثر حرکت خود سنسور) می باشد.

بردار m بعدی اندازه گیری بصورت زیر مدل می شود:

$$y(k) = Hx(k) + v(k) \quad (7)$$

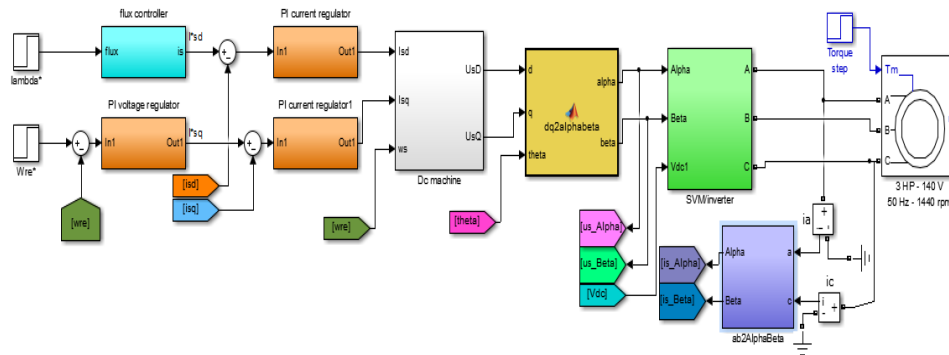
۶- روش پیشنهادی

در روش مقاله ژانگ برای تشخیص خطای یک سطح آستانه^۱ برای تشخیص خطا فرض می‌شود. این روش در بسیاری از مقالات و پژوهش‌ها صورت می‌گیرد اما ایراداتی دارد از جمله تشخیص سطح آستانه خطاست که ممکن است تشخیص را مختل سازد و یا زمان تأخیر در تشخیص را زیاد کند که این خود موجب آسیب بیشتر می‌گردد. لذا در اینجا ما سیستم تعیین خطا را با استفاده از تجزیه موجکی تعیین کردیم.

در این سیستم چنانچه خروجی هر یک از سنسورهای موتور دارای ایرادی باشند در تجزیه‌های موجکی مرتبه بالا این اثرات خود را نمایش می‌دهند. این ایرادات نمونه نسبت به یک موتور سالم در نتایج قابل مشاهده هستند. در واقع ما در اینجا باز هم به نوعی از یک آستانه گذاری برای تشخیص خطا استفاده می‌کنیم. در ادامه نتایج شبیه سازی بیان می‌شود و نشان می‌دهد که روش پیشنهادی برای تشخیص خطا بهتر از روش آستانه گذاری بدون موجک از لحاظ زمان تشخیص خطا است.

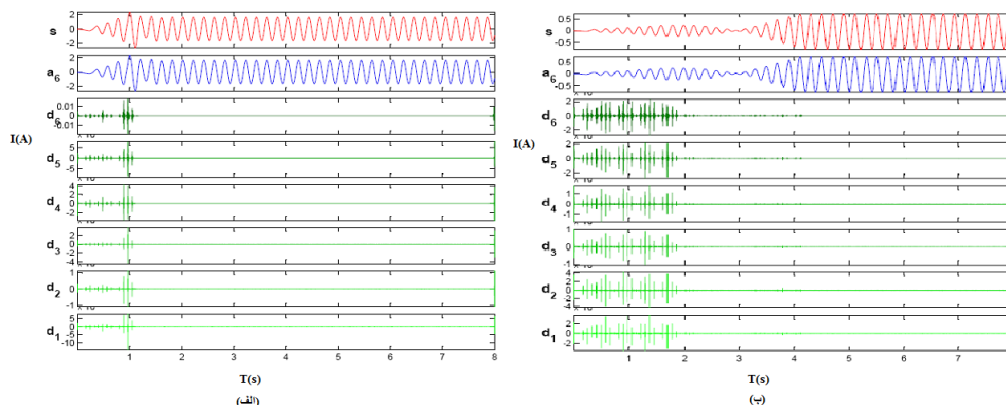
۷- نتایج شبیه سازی

در این جا ما با استفاده از نرم افزار سیمولینک MATLAB مدل شکل ۳ را برای موتور القایی شبیه سازی کردیم. این مدل براساس مقاله ژانگ و همکاران (۲۰۱۳) به عنوان مبنا قرار گرفته و پیاده سازی شده است.



شکل ۳- مدل موتور القایی به کار رفته در شبیه سازی مدار

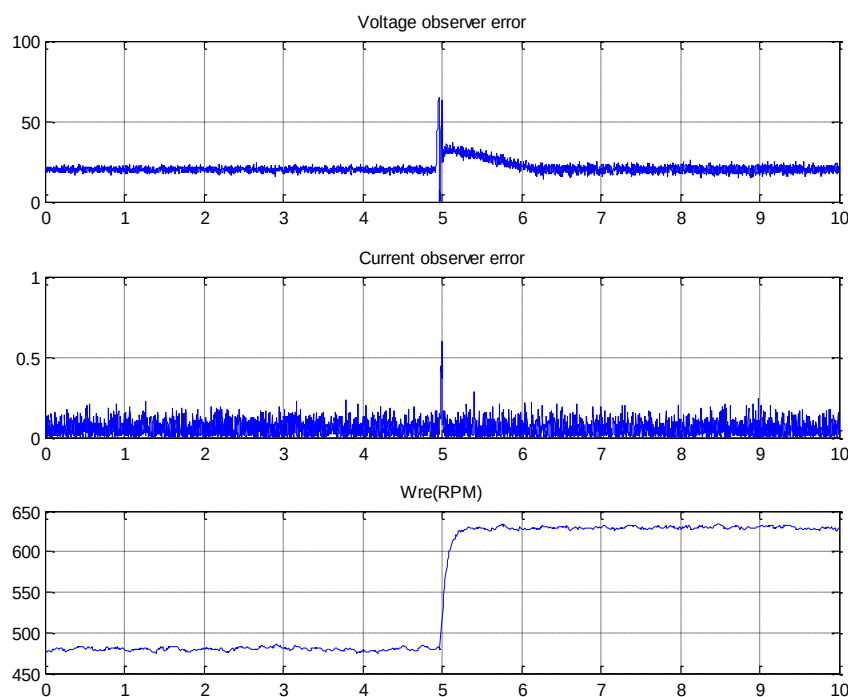
همچنین این مدل را در شکل ۴ تجزیه موجکی جریان موتور القایی (I_a) نشان داده شده است. همچنان که در شکل مشاهده می‌شود در قسمت الف که موتور سالم وجود دارد تغییرات جریان مربوط به راه اندازی سریع دمپ شده و در جزئیات تجزیه مرتبه بالاتر اثری از آن دیده نمی‌شود اما در سمت راست (ب) همچنان که مشاهده می‌کنیم تا چند ثانیه پس از راه اندازی و بروز خطا هنوز مولفه‌های جریان در آن دیده می‌شود. از طرفی از ابتدای آغاز به کار میزان نوسانات در موتور خطا دار بیشتر بوده که همین مبنای جدید تشخیص خطا در سیستم پیشنهادی ماست که تأخیر کمتری در زمان تشخیص می‌گردد



شکل ۴- تجزیه موجکی خروجی سنسور جریان در موتور القایی الف- موتور سالم ب- موتور در حالت خطای جریان

¹ Threshold level

در اینجا ما اثر پارامترهای R_s و L_m را بر روی دقت تخمین فیلتر کالمن توسعه یافته و مشاهده گرهای پیشنهادی بررسی می کنیم. هر چند اثر موردی آنها بر روی تخمین حالت پایدار خیلی چشمگیر نیست و این خطاها بیش از ۶٪ نمی شود. در شکل اول یک تخمین رو به بالای اندوکتانس مغناطیسی شدگی می تواند به خطای تقریب بزرگتر بیانجامد. بنابراین مقدار اشباع شده L_m برای استفاده در تمامی شرایط بار پیشنهاد می گردد. بدین معنی که در شرایط بار نامی هیچ عدم تطبیق پارامتری برای L_m نداریم. با این وجود برای شرایط بی باری یا بارهای سبک L_m در همه مشاهده گرهای تقریب رو به پایین زده می شود که موجب خطای تخمین زیادی نمی شود



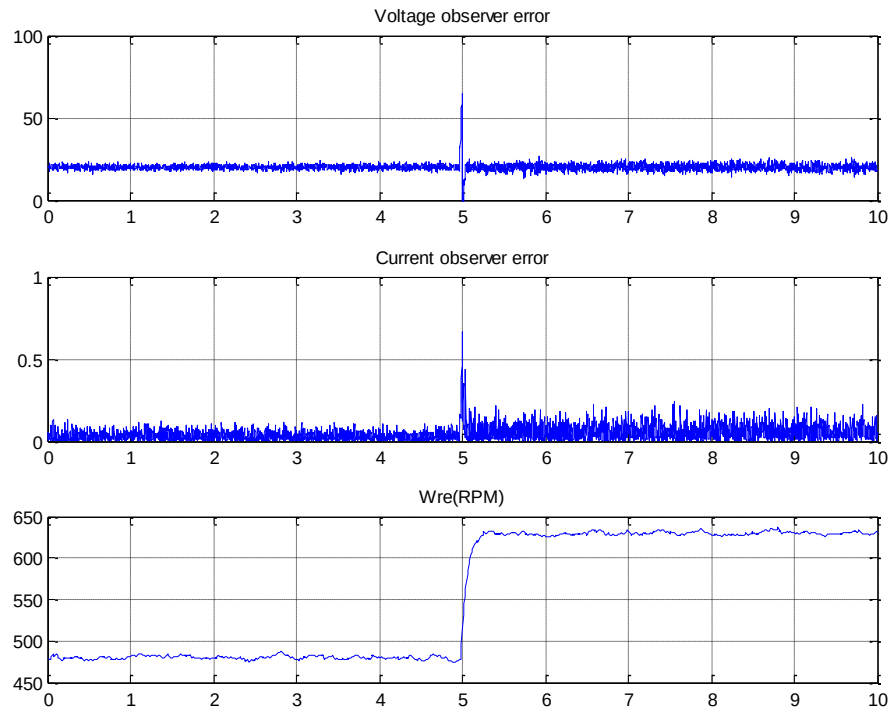
شکل ۵- بررسی پایداری عملکرد الگوریتم شبیه سازی شده ژانگ (۲۰۱۳) نسبت به تغییر سرعت

علاوه بر این همچنین دیده می شود که خطای تخمین جریان EKF و مشاهده گرهای در لحظه گذار تغییر پله در سرعت بیشتر می شود. با این وجود این مسئله موجب تشخیص فالت که حد آن از این میزان بیشتر است نمی شود. در نتیجه این الگوریتم نسبت به تغییر پارامترها پایدار است. در این پژوهش ما یک الگوریتم تشخیص خطا، ایزوله سازی و پیکربندی مجدد برای درایو موتور القایی مبتنی بر تبدیل موجک و فیلتر کالمن توسعه یافته ارائه دادیم و تعداد مشاهده گرهای تطبیقی کمتر ساختیم. این امر موجب بهبود عملکرد و پیوستگی کارکرد سیستم برای خطای در سرعت، ولتاژ DC و خطای سنسور جریان می شود.

جدول ۱- مقایسه الگوریتم ژانگ و الگوریتم پیشنهادی از لحاظ ماینگین تاخیر در تشخیص خطا

پارامتر / الگوریتم	فیلتر کالمن بدون موجک	پیشنهادی با تبدیل موجک
تاخیر در تشخیص خطای حسگر Current	۰/۶۳	۰/۲۸
تاخیر در تشخیص خطای حسگر DC Link	۱/۳۷	۰/۹۲
تاخیر در تشخیص خطای حسگر Position	۰/۳۷	۰/۳۶

در جدول فوق پارامتر تاخیر در تشخیص خطا به عنوان فاکتور مهمی که لازمه هر سیستم شناسایی خطا است مورد بررسی قرار گرفته و برتری روش پیشنهادی با استفاده از موجک بیان شده است. عملکرد این روش در تشخیص خطای سنسور جریان از سایر موارد بهبود قابل توجه تری داشته است.



شکل ۶- بررسی پایداری نسبت به تغییر سرعت در الگوریتم پیشنهادی

مکانیزم تشخیص خطای مبتنی بر فیلتر کالمن و سیستم کنترلی پیکربندی مجدد با جزئیات مورد بحث قرار گرفته است. برای مثال در خطای سنسور جریان الگوریتم پیشنهادی فاز سنسور خطا داده را نیز مشخص می‌سازد. پس از یافتن و جداسازی خطای سنسور پیکربندی مجدد کنترلی مبتنی بر مشاهده گرهای تطبیقی پیشنهادی پیاده می‌گردد.

۸- نتیجه گیری و پیشنهادات

در این جا ما با استفاده از تبدیل موجک عملکرد سیستم تشخیص خطا را بهبود بخشیدیم که نهایتاً این امر موجب بهبود عملکرد کلی کنترلی سیستم و پایداری آن در برابر خطا شده است. نتایج شبیه سازی های سرعت بهتر الگوریتم پیشنهادی را نسبت به روش مشابه که از ترکیب با موجک بهره نمی گیرد نشان می دهد.

مراجع

۵- اتابک نجفی، (۱۳۸۸) « تشخیص خطای سیم بندی استاتور با آنالیز موجک و شبکه عصبی»، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد واحد علوم تحقیقات تهران

- 6- Barut, M., Bogosyan, S., & Gokasan, M. (2007). Speed-sensorless estimation for induction motors using extended Kalman filters. *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, 54(1), 272-280.
- 7- Barut, M., Bogosyan, S., & Gokasan, M. (2008). Experimental evaluation of braided EKF for sensorless control of induction motors. *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, 55(2), 620-632.
- 8- Chui, C. K., & Chen, G. (2008). *Kalman filtering: with real-time applications*. Springer Science & Business Media.

- 9- Danan, S., Wenli, L., Lijun, D., & Zhigang, L. (2011, February). Speed sensorless induction motor drive based on EKF and G-1 model. In *Computer Distributed Control and Intelligent Environmental Monitoring (CDCIEM), 2011 International Conference on* (pp. 290-294). IEEE.
- 10- Šmídl, V., & Peroutka, Z. (2012). Advantages of square-root extended Kalman filter for sensorless control of AC drives. *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, 59(11), 4189-4196.
- 11- Vaclavek, P., Blaha, P., & Herman, I. (2013). Ac drive observability analysis. *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, 60(8), 3047-3059.
- 12- Zhang, X., Foo, G., Don Vilathgamuwa, M., Tseng, K. J., Bhangu, B. S., & Gajanayake, C. (2013). Sensor fault detection, isolation and system reconfiguration based on extended Kalman filter for induction motor drives. *Electric Power Applications, IET*, 7(7), 607-617.

پیاده‌سازی حمله الکترومغناطیس بر روی سیستم رمزنگاری AES با ساخت پروبی بهینه و با حساسیت بالا

فرهاد تقیان^۱، رضا حق مرام^۲، یعقوب قانع^۳

۱- دانشجوی کارشناس ارشد الکترونیک دانشگاه جامع امام حسین (ع)، farhadtaghian@ihu.ac.ir

۲- استادیار دانشگاه جامع امام حسین (ع)، rhaghmr@ihu.ac.ir

۳- مربی دانشگاه جامع امام حسین (ع)، yqane@ihu.ac.ir

چکیده

تحلیل الکترومغناطیس یک تکنیک حمله‌ی کانال جانبی است که می‌تواند اطلاعات محرمانه‌ی قطعات رمزنگاری را با استفاده تشعشعات تابشی الکترومغناطیس ایجاد شده بر روی سطح این قطعات استخراج نماید. حمله الکترومغناطیس زمانی جذاب می‌شود که نشأت قطعات داخل تراشه فیلتر شده باشد یا بسیار ضعیف باشد یا نویز به سیگنال توان اضافه شود. در دیگر موارد، معمولاً تحلیل الکترومغناطیس تلاش کمتری برای شکستن یک محصول محافظت نشده نیاز دارد. در این مقاله پروب الکترومغناطیسی بهینه برای اندازه‌گیری مؤثر و با کمترین نویز ممکن تشعشعات ساطع شده از سطح تراشه‌ی رمزنگار در بستر سخت افزار موجود، معرفی شده است. به منظور بررسی عملکرد پروب معرفی شده‌ی بهینه، حمله‌ی الکترومغناطیسی بر علیه الگوریتم رمزنگاری AES بر روی مدار رمزکننده و پیاده‌ساز این الگوریتم محقق شد. نتایج این حمله صحت عملکرد، افزایش حساسیت و بهینه‌شدن پروب را نشان می‌دهد که در نتیجه موجب افزایش دقت و کاهش سرعت در این حمله‌ها می‌شود.

واژگان کلیدی: پروب الکترومغناطیس، بهینه‌سازی پروب الکترومغناطیسی، حمله الکترومغناطیس، حملات کانال جانبی، رمزگشای

۱- مقدمه

همواره هدف تمام حمله‌ها به ابزارهای رمزنگاری آشکارسازی کلید خصوصی ابزارهای رمزنگاری است. با این حال، تکنیک‌های گوناگونی برای دستیابی به این هدف استفاده می‌شوند. حمله‌ها به ابزارهای رمزنگاری برحسب هزینه، زمان، تجهیزات و تخصص مورد نیاز، با یکدیگر متفاوت‌اند [۱]. از متداول‌ترین حملات امروزی می‌توان به حملات غیرتهاجمی اشاره نمود که توجه زیادی را در سال‌های اخیر به خود معطوف کرده است. این حملات به حملات کانال جانبی متداول گشته‌اند. سه نوع از مهم‌ترین انواع کانال جانبی عبارت‌اند از حملات زمانی، حملات تحلیل توان و حملات الکترومغناطیسی. ایده اصلی این حملات مبتنی بر تعیین کلید ابزار رمزنگاری با اندازه‌گیری زمان اجرایی آن، توان مصرفی و میدان‌های مغناطیسی آن است.

تجزیه و تحلیل الکترومغناطیس یک تکنیک است که می‌تواند مورد استفاده برای تست نشأت اطلاعات محرمانه از طریق تابش قطعات رمزنگاری باشد. اولین مقالات منتشر در این زمینه توسط کویز کوتر^۱ و سامید^۲ [۲] و تیم جیم پلاس^۳ [۳] است. کوتر و سامید نشان دادند که اندازه‌گیری تشعشعات الکترومغناطیسی از کارت هوشمند ممکن است. کوتر همچنین روش‌های حمله الکترومغناطیسی ساده^۴ (SEMA) و حمله الکترومغناطیسی تفاضلی^۵ (DEMA)، را معرفی کرده است. مدارات دیجیتال هنگام انجام محاسبات، توان مصرف می‌کنند. به این صورت که جریان مورد نیاز خود را از منبع تغذیه دریافت می‌کنند. غالباً بسیاری از این انرژی با تبدیل شدن به گرما تلف می‌شود. در این مدارات توان

¹ Quisquater

² Samyde

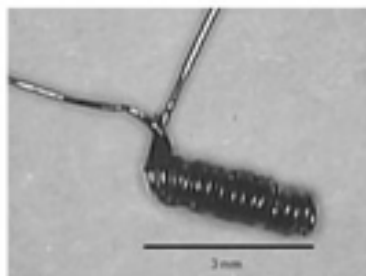
³ Gemplus Team

⁴ Simple ElectroMagnetic Analysis

⁵ Differential ElectroMagnetic Analysis

به دو صورت پویا و ایستا وجود دارد که توان مصرفی پویا وابسته به داده‌ها و عملیاتی است که درون مدار در حال پردازش است. مصرف توان پویا باعث ایجاد تغییرات جریان در خطوط عبوری در این قطعات و در نتیجه باعث ایجاد یک میدان الکترومغناطیس ضعیف و متغیر وابسته به داده‌ها و عملیات انجام شده درون قطعه رمزنگار می‌شود. با پیشرفت روزافزون تکنولوژی ساخت مدارات مجتمع توسعه این روش نیاز به دانش پیشرفته‌ی فیزیکی و پردازش سیگنال به منظور ساخت ابزاری دقیق و بهینه جهت اندازه‌گیری دقیق و مؤثر این تشعشعات با کمترین میزان نویز ممکن را دارد.

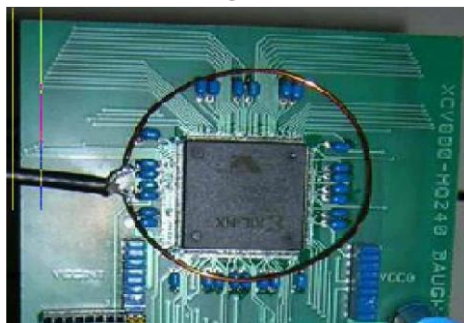
اولین پروپ توصیف شده در مقالات، پروپ گاندولفی و همکارانش در مقاله آن‌ها در کنفرانس معتبر CHES است [۳]. پروپ در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱: نمونه‌ای از پروپ‌های دست‌ساز گاندولفی [۳]

در مقاله گاندولفی تعداد زیادی پروپ شامل القاگرهای مجتمع شده و پروپ‌های مغناطیسی مورد آزمایش قرار گرفته اما در پایان با استفاده از یک سلونوئید دست‌ساز بهترین نتایج به دست آمده است.

در [۴] حمله‌های تحلیل الکترومغناطیس ساده و تفاضلی بر روی FPGA پیاده‌سازی شده با الگوریتم خم بیضوی اجرا شده است. میدان احاطه‌کننده‌ی تراشه، در اصل میدان مغناطیسی میدان نزدیک است، همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده است از یک آنتن حلقوی برای به دست آوردن تغییرات میدان استفاده می‌شود که برای تحلیل همبستگی به ۱۰۰۰ اندازه‌گیری برای پیدا کردن بیت‌های کلید نیازمند است.



شکل ۲: آنتن حلقوی قرار داده شده بر روی FPGA [۴]

حمله‌ی الکترومغناطیس به دستگاه‌های محافظت نشده نسبتاً آسان است و این دستگاه‌ها ممکن است کمتر از یک ساعت با حمله الکترومغناطیس شکسته شود. اما حمله به قطعاتی که دارای مصرف توان کم یا نشت قطعات داخل تراشه فیلتر شده یا بسیار ضعیف باشد یا نویز به سیگنال توان اضافه شود نیاز به ابزاری حساس و با کمترین میزان نویز در اندازه‌گیری‌ها است. همچنین سرعت در این حملات بسیار مهم است. هرچه اندازه‌گیری‌ها دقیق‌تر باشد به تعداد اندازه‌گیری‌های کمتری نیاز است.

۲- تحلیل همبستگی رمز AES

ایده‌ی اصلی تحلیل همبستگی، وابستگی تشعشعات ساطع شده از سطح تراشه رمزنگاری و وزن همینگ یا فاصله‌ی همینگ داده‌ها است [۵]. رابطه‌ی بین این تشعشعات و $H(R \oplus D)$ یک رابطه‌ی خطی است $T = a.H + b$ که در آن a و b مقادیر ثابت هستند. در این تحلیل کلیدی صحیح است که باعث افزایش ضریب همبستگی ρ_{WH} شود.

اگر $H_{i,R} = H(R \oplus C_i)$ نشان دهنده‌ی فاصله‌ی همپینگ میان مقدار فعلی C_i و مقدار مرجع R باشد، آنگاه حاصل تابع تصمیم‌گیری در این روش یک ضریب همبستگی است که به صورت رابطه (۱) تعریف می‌گردد:

$$\hat{\rho}_{WH}(R) = \frac{N \cdot \sum T(C_i) H_{i,R} - \sum T(C_i) \cdot \sum H_{i,R}}{\sqrt{N \cdot \sum T(C_i)^2 - (\sum T(C_i))^2} \cdot \sqrt{N \cdot \sum H_{i,R}^2 - (\sum H_{i,R})^2}} \quad (1)$$

در یک حمله کانال جانبی تفاضلی، حمله‌کننده سعی می‌کند تا بر طبق فرض خود از کلید، رابطه میان پیش‌بینی‌ها و اندازه‌گیری‌های خود را تخمین بزند. در [۶]، مؤلفین روشی را با استفاده از ابزار شناخته شده‌ی آماری ضریب همبستگی پیرسون^۱ پیشنهاد می‌دهند. اگر X و Y دو متغیر تصادفی فرض شوند، σ_X و σ_Y به ترتیب کواریانس و انحراف معیارهای X و Y باشند آنگاه ضریب همبستگی پیرسون به صورت رابطه (۲) محاسبه می‌گردد.

$$\rho(X, Y) = \frac{Cov(X, Y)}{\sigma_Y \cdot \sigma_X} \quad (2)$$

این تابع میزان وابستگی خطی میان دو کمیت را اندازه‌گیری می‌کند. البته توابع دیگری نیز برای اندازه‌گیری میزان همبستگی بین دو کمیت مانند تابع همبستگی مرتبه اسپیرمن^۲ پیشنهاد شده ولی آزمایش‌های عملی نشان داد که نتایج به‌دست آمده از این دو تابع بسیار نزدیک به یکدیگر است.

۳- تعیین محدوده فرکانس کار طراحی

در [۷] سطح سیگنال داده شده به ورودی تقویت‌کننده در حدود -70 dBm است، که این ورودی جزو ورودی‌های توان پایین به حساب می‌آید و این ورودی در نزدیکی محدوده‌ی سطح نویز سیستم وجود دارد که باعث اعمال یک حد پایین روی شدت سیگنال قابل آشکارسازی ما می‌شود. ما باید این نویز را کاهش دهیم تا بتوان سیگنال آشکار شده را تقویت نماییم. مؤلفه‌های مؤثر بر توان نویز خروجی: با توجه به معادله $P_n = KTB$ ، مؤلفه‌های مؤثر بر توان نویز و پهنای باند و دما می‌باشند. در طراحی پروب الکترومغناطیسی، به دلیل توان پایین ورودی به سیستم، به تقویت با گین بالایی نیازمندیم و همچنین دما قابل تغییر نیست، پس تنها مؤلفه قابل کاهش برای ما پهنای باند است تا بتوانیم توان نویز خروجی را کاهش دهیم. با توجه به تبدیل فوریه سریع^۳ حاصل شده از اجرای دستورات متوجه می‌شویم که محدوده فرکانس کار طراحی را می‌توان از فرکانس صفر تا بی‌نهایت در نظر گرفت که با این کار طراحی دارای پهنای باند بالایی می‌شود اما به لحاظ نویزی بودن به شدت نویزی است با توجه به این نکته که بیشترین قدرت سیگنال در هارمونیک‌های پایین است بنابراین فرکانس طراحی را حدود ۴ برابر فرکانس کاری میکروکنترلر با فرکانس بیشترین تغییرات در نظر می‌گیریم [۹].

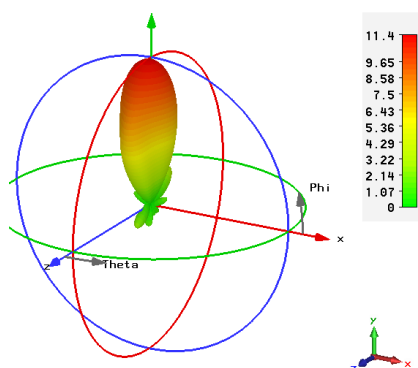
۴- پروب برای اندازه‌گیری تشعشعات ساطع شده

یکی از ملزومات اصلی برای اندازه‌گیری دقیق و ثبت تشعشعات الکترومغناطیس ساطع شده از سیستم‌های رمزنگاری وجود ابزاری با حساسیت بالا و با کمترین نویز ممکن است. طراحی و ساخت یک پروب الکترومغناطیس شامل ۳ بخش طراحی حسگر جهت دریافت تشعشعات ناشی از سطح تراشه رمزنگار، طراحی برد پردازش و تقویت و انتخاب مناسب یک رابط اتصال است. در این طراحی به دلیل افزایش سیگنال به نویز از آنتن‌های حلقوی با چندین دور استفاده نمودیم. در شکل ۳ نمایی از طراحی این آنتن در محیط CST نشان داده شده است. همچنین در شکل ۴ پترن تشعشعی این را مشاهده می‌نمایید.

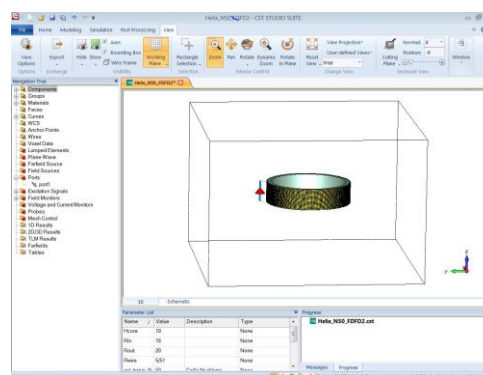
1 Pearson's Correlation Coefficient

2 Spearman's Rank Correlation

3 Fast Fourier Transform



شکل ۴: پترن تشعشعی آنتن



شکل ۳: آنتن طراحی شده در محیط نرم‌افزار CST

۵- مشخصات آنتن طراحی شده

در شکل ۵ نمایی از آنتن طراحی شده را مشاهده می‌نمایید. مشخصات این آنتن در جدول ۱ نشان داده شده است.

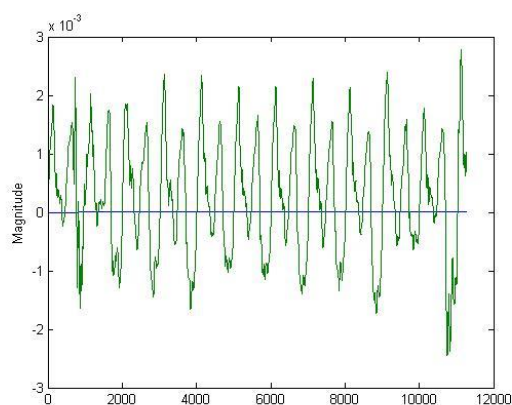


شکل ۵: نمایی از آنتن طراحی شده

جدول ۱: مشخصات آنتن

مشخصه	مقدار
قطر متوسط حلقه	۴ cm
دور سیم	۵۰ mm
تعداد دور	۵۱
کانکتور	SMA

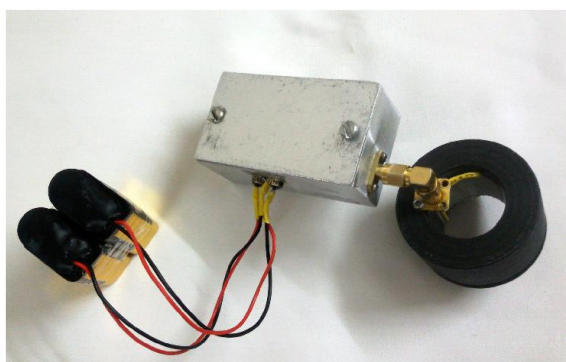
ماکزیمم دامنه دریافتی از این آنتن بدون تقویت‌کننده با توجه به شکل ۶ حدود ۲/۵ میلی ولت است.



شکل ۶: شکل موج آشکار شده توسط آنتن

۶- طراحی برد پردازش

برد پردازش برای تقویت سیگنال دریافتی و همچنین فیلتر کردن فرکانس‌های اضافی استفاده می‌شود. نحوه‌ی قرارگیری طبقات نسبت به هم در یک برد پردازش بسیار مهم است. معادلات عدد نویز سیستم سری نشان می‌دهد که مشخصات یک سیستم سری شدیداً تحت تأثیر مشخصات طبقه‌ی اول است. چرا که اثر طبقه‌ی دوم توسط بهره‌ی طبقه‌ی اول (با فرض $G_1 > 1$) کاهش مس یابد. پس برای اینکه کارایی کل سیستم بهبود یابد لازم است طبقه‌ی اول دارای عدد نویز کم و بهره‌ی میانی باشد. پس تلاش باید عمدتاً روی طبقه‌ی اول متمرکز شود چرا که طبقه‌های بعدی تأثیر کم‌رنگی بر عدد نویز سیستم سری دارند [۸]. با این هدف در اولین طبقه یک تقویت‌کننده کم نویز و با گین بالا قرار می‌دهیم تا عدد نویز کل سیستم به کمترین حد خود برسد و در طبقات بعد از فیلتر و راه‌انداز خط استفاده می‌کنیم. در شکل ۷ نمایی کلی از حسگر و برد پردازش که درون جعبه‌ای فلزی به منظور شیلد شدن قرار داده شده نشان داده شده است.

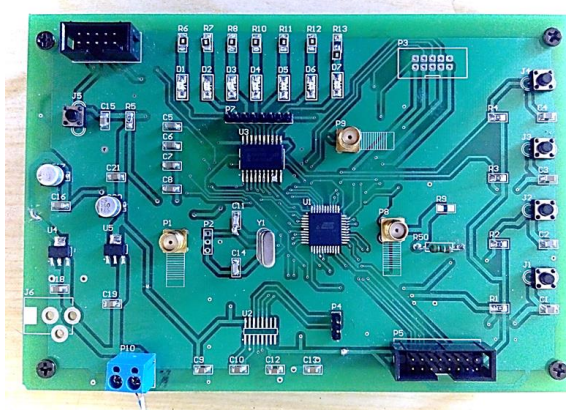


شکل ۷: نمای کلی از پروب ساخته شده

۸- مدار رمز کننده

یکی از ملزومات اصلی در پیاده‌سازی الگوریتم رمزنگاری وجود ابزار مناسب برای اجرای صحیح الگوریتم است. از این رو در این پایان‌نامه یک مدار رمز کننده جهت پیاده‌سازی الگوریتم AES و حمله به میکروکنترلر این سخت‌افزار استفاده شده است. قابل‌ذکر است که مدار طراحی‌شده قابلیت برنامه‌ریزی برای رمزهای مختلف را دارد، به‌عنوان نمونه از جمله الگوریتم‌های پیاده‌سازی شده در این مدار عبارت‌اند از:

- ۱- رمز بلوکی AES ۲- رمز جریانی RC-4 و ۳- الگوریتم رمز جریانی ZUC
- مدار تحت حمله قرار گرفته را می‌توانید در شکل ۸ مشاهده نمایید.



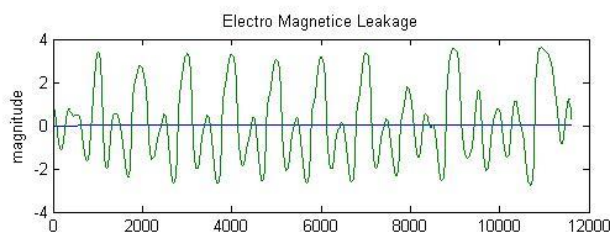
شکل ۸: مدار رمز کننده

۹- اندازه‌گیری تشعشعات ساطع شده از سطح میکروکنترلر Atmega-32

برنامه‌ی الگوریتم AES را به وسیله‌ی پروگرامر بر روی میکروکنترلر بارگذاری می‌کنیم. سپس حسگر پروب را مطابق شکل ۹ بر روی تراشه قرار می‌دهیم و خروجی تقویت‌کننده پروب را برای ثبت نمونه‌های تشعشعات الکترومغناطیس به اسیلوسکوپ دیجیتال Infiniium Keysight DSO90604A، که دارای پهنای باند ۶GHz و نرخ نمونه‌برداری ۲۰GS/Sec است وصل می‌کنیم. با فشار دادن کلید J1 الگوریتم رمزنگاری اجرا می‌شود. با شروع اجرای الگوریتم تشعشعاتی وابسته به داده‌های ورودی میکروکنترلر ساطع می‌شود که این تشعشعات را توسط اسیلوسکوپ ثبت نمودیم. در شکل ۱۰ شکل موج این تشعشعات نشان داده شده است.



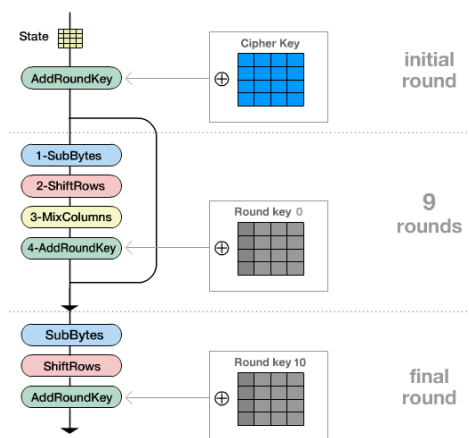
شکل ۹: نحوه‌ی قرارگیری پروب نسبت به میکروکنترلر



شکل ۱۰: سیگنال تشعشعات

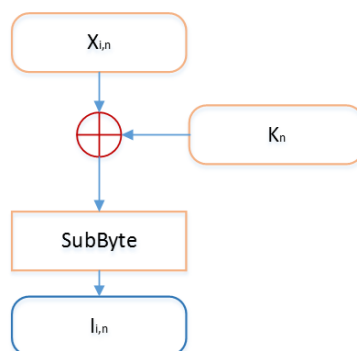
۱۰- اجرای حمله‌ی کانال جانبی الکترومغناطیس

به منظور روشن شدن مطالب گفته شده، تحلیل الکترومغناطیس الگوریتم AES را بررسی می‌نماییم و نشان می‌دهیم که چگونه وابستگی تشعشعات الکترومغناطیس و مقادیر میانی باعث آشکار شدن کلید مخفی الگوریتم می‌گردد. شکل ۱۱ نمایی از روند اجرای الگوریتم AES را بیان می‌کند. دور نخست الگوریتم AES متشکل از مراحل زیر است:



شکل ۱۱: مراحل اجرای الگوریتم AES-128 [۷]

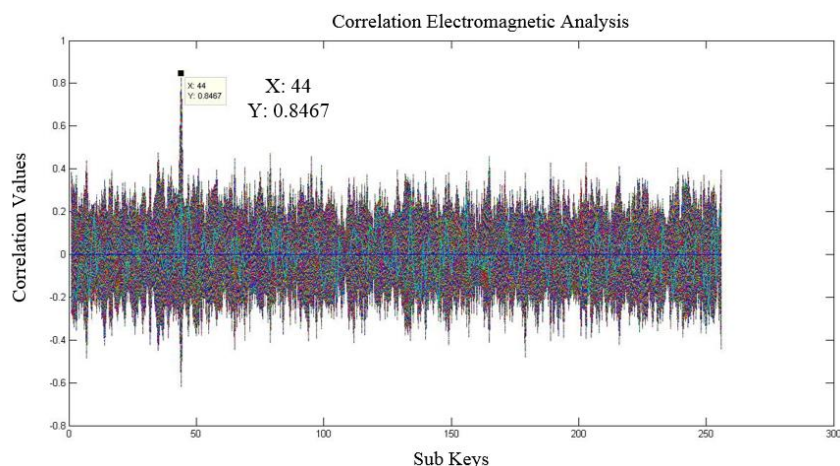
به طور کلی هدف حمله تحلیل الکترومغناطیس، خروجی مرحله SubByte بعد از AddRoundKey اولیه است. این عملیات در شکل ۱۲ مشخص است.



شکل ۱۲: محل نشت اطلاعات از الگوریتم AES [۷]

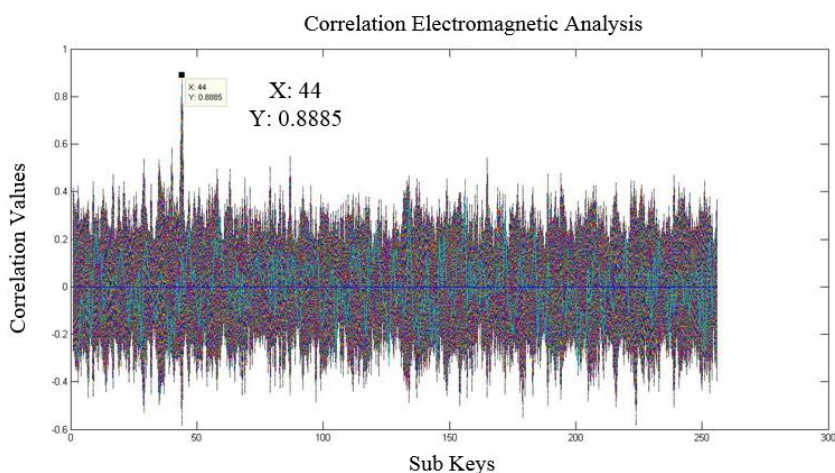
۱۱- تحلیل همبستگی رمز AES

در این تحلیل دیگر نیازی به گروه‌بندی نمونه‌های تشعشعات نیست. در تحلیل همبستگی با توجه به تابع همبستگی پیرسون، تشعشعات را با استفاده از مدل وزن همینگ شبیه‌سازی می‌کنند. در ادامه نتایج حاصل از این تحلیل را بررسی می‌کنیم. در ابتدا حمله‌ی همبستگی را بر روی ۸۰ نمونه اجرا نمودیم. همان‌طور که در شکل ۱۳ مشخص است، کلید صحیح بیشترین قله را در میان کلیدهای دیگر داراست و می‌توان با اطمینان کامل گفت که کلید صحیح است. توجه داشته باشید که هر بایت کلید عددی بین ۰ تا ۲۵۵ است ولی در نرم‌افزار MATLAB مؤلفه‌ی آرایه‌ها از یک آغاز می‌شوند بنابراین در شکل ۱۳ کلید ۴۴ مشاهده می‌شود.



شکل ۱۳: تحلیل همبستگی الکترومغناطیس به ازای کلید ۴۳ و ۸۰ نمونه‌گیری

در ادامه این حمله به ازای ۵۰ نمونه انجام شده است که مطابق شکل ۱۶ کلید صحیح بیشترین قله را در میان کلیدهای دیگر دارا شد.



شکل ۱۴: تحلیل همبستگی الکترومغناطیس به ازای کلید ۴۳ و ۵۰ نمونه‌گیری

برای حصول اطمینان کافی از عملکرد، حمله به ازای بایت‌های دیگر کلید نیز انجام داده شد که به ازای کلیدهای دیگر نیز کلید به درستی کشف گردید.

۱۲- نتیجه‌گیری

در این مقاله نشان داده شد با تمرکز بر ساخت پروب الکترومغناطیس می‌توان تشعشعات ساطع شده از سطح تراشه را با کمترین نویز ممکن آشکارسازی و ثبت نمود. با اندازه‌گیری دقیق و ثبت این تشعشعات می‌توان حمله‌ی کانال جانبی الکترومغناطیس را بر روی سخت‌افزار رمزنگاری پیاده‌سازی نمود. به همین منظور الگوریتم AES بر روی سخت‌افزار رمزنگاری پیاده‌سازی و با اجرای الگوریتم رمزنگاری تشعشعات ساطع شده از سطح تراشه اندازه‌گیری شد. میزان دامنه‌ی این تشعشعات هنگامی که هیچ فاصله‌ای بین حسگر و تراشه وجود نداشت تا سطح چندین ولت و بدون کمترین نویز می‌رسد همچنین با فاصله دادن پروب از سطح تراشه تا فاصله‌ی چند سانتی‌متر همچنان تشعشعات قابل اندازه‌گیری و ثبت می‌باشد. نتایج حاصل از این حمله عملکرد صحیح این حمله را تصدیق نمود و همچنین با توجه به نتایج این حمله از جمله میزان همبستگی بالا، پیک بارزی که در نشان دادن کلید صحیح به ما کمک نمود و همچنین تعداد کم نمونه‌گیری‌ها جهت تشخیص کلید صحیح، نشان از صحت عملکرد در حمله‌ی همبستگی الکترومغناطیس، کاهش زمان کشف کلید، افزایش حساسیت و بهینه شدن این پروب است.

منابع

- [1] A. Tisserand, “‘ Power Analysis Attacks : Revealing the Secrets of Smart Cards ’ by Stefan Mangard , Elisabeth Oswald and Thomas Popp What the book is about Summary of the book,” pp. 1–4, 2007.
- [2] J.-J. Quisquater and D. Samyde, “Electromagnetic analysis (ema): Measures and counter-measures for smart cards,” in *Smart Card Programming and Security*, Springer, 2001, pp. 200–210.
- [3] K. Gandolfi, C. Mourtel, and F. Olivier, “Electromagnetic analysis: Concrete results,” in *Cryptographic Hardware and Embedded Systems—CHES 2001*, 2001, pp. 251–261.
- [4] P. Delmotte, B. Preneel, G. Vandenbosch, and I. Verbauwhede, “Electromagnetic Analysis Attack on an FPGA Implementation of an Elliptic Curve Cryptosystem,” pp. 22–24, 2005.
- [5] P. Kocher, "Timing Attacks on Implementation of Diffie-Hellman, RSA, DSS and other Systems," *Adv. Cryptology, Proc. Crypto96, Lect. Notes Comput. Sci.(LNCS)*, vol. 1109, pp. 104-113, 1999.
- [6] M. Masoomi, M. Masoumi and M. Ahmadian, "A Practical Differential Power Analysis Attack against an FPGA Implementation of AES Cryptosystem," in *IEEE ISociety*, 2010.
- [7] H. Rezayati, "Analysis and implementation electromagnetic attacks on algorithm AES in hardware platform encryption " *Imam hossein*, 2013.
- [8] D. M. Pozar, *Microwave engineering*. John Wiley & Sons, 2009.
- [9] A. V Oppenheim, R. W. Schafer, and J. R. Buck, *Discrete-time signal processing*, vol. 2. Prentice hall Englewood Cliffs, NJ, 1989.

ارائه الگوی مدیریت کیفیت در پروژه‌های پل سازی

حسین صائمی، صفا خزایی

شناسایی پارامترهای موثر بر مطالعات مهندسی ارزش و ارائه راهکارهای اجرایی در پروژه‌های ساختمانی
(مطالعه موردی پروژه آبیگ قزوین)

محمد میرزایی، وحید بدری

دستاوردهای ابزار دقیق و رفتارنگاری در تونل کاری مناطق خاص شهری، مطالعه موردی خط قطار شهری کرج
و حومه

حسن یازرلو، فرزین هزارخوانی، ساعد خوشنواز رازلیقی، محمد صادق ضیاپور رازلیقی

بهبود تشخیص خطای سنسور در ماشین‌های القایی با تبدیل موجک و پیکربندی فیلتر کالمن توسعه یافته

حسن فاتحی مرج، سجاد باقری

پیاده‌سازی حمله الکترومغناطیس بر روی سیستم رمزنگاری $\mathbb{Z}_N$ با ساخت پروبی بهینه و با حساسیت بالا

فرهاد تقیان، رضا حق مرام، یعقوب قانع

پژوهش‌های نوین
فصلنامه علمی

۰۲۱ ۳۳۲۰۲۴۸۷



۰۲۶ ۳۲۷۲۴۷۸۷



۰۲۱ ۴۳۸۵۷۱۲۴

۰۲۶ ۳۲۷۴۷۱۵۸

تهران: افسریه، ۱۵ متری چهارم، کوچه ۳۸، پلاک ۲۸، واحد ۲
کرج: چهارراه هفت‌تیر، خیابان لاله ۱، پلاک ۱۴، طبقه همکف