بررسی سیستم‌های سازه نگهبان شمع و دیوار دیافراگمی با رویکرد مهندسی ارزش

جواد پورمحمد[1]*، امیررضا رضائی[2]، حسام اسکندری‌نژاد[3]

۱- **PMP**، مدیریت برنامه‌ریزی و کنترل پروژه خط ۲ قطار شهری تبریز، کارشناسی‌ارشد مهندسی صنایع-مدیریت پروژه و مدیریت سیستم و بهره‌وری، **J.pourmohammad@yahoo.com**

۲- کارشناسی ارشد مهندسی عمران-مهندسی زلزله، دانشگاه صنعتی سهند، **Am_rezaei@sut.ac.ir**

۳- کارشناسی ارشد مهندسی عمران-مهندسی ژئوتکنیک، دانشگاه تبریز

چکیده

روش‌های متفاوتی برای اجرای سازه نگهبان وجود دارد که هر کدام هزینه‌ها، کارکردها، مزایا، معایب و محدودیت‌هایی دارند به طوری که انتخاب مناسب‌ترین روش اجرای سازه نگهبان که بالاترین کارایی را از خود نشان داده و باعث تقلیل هزینه‌های ساخت شده و همچنین انتظارات ذینفعان پروژه را برآورده سازد. در این پژوهش سعی شده است ضمن بررسی دو مورد از روش‌های اجرای سازه نگهبان در فضاهای شهری، از تکنیک مهندسی ارزش برای بررسی و مقایسه رفتاری و تحلیلی سازه نگهبان مناسب به صورت مطالعه موردی (ایستگاه ۸ خط ۲ قطار شهری تبریز) استفاده شود. نتایج پیاده‌سازی گام‌های مهندسی ارزش در پروژه مورد نظر نشان می‌دهد که روش دیوار دیافراگمی با توجه به شرایط موجود بهترین گزینه برای اجرا می‌باشد. همچنین با توجه به اینکه تکنیک مهندسی ارزش تمامی کارکردها و هزینه‌ها را مورد تحلیل و بررسی قرار می‌دهد و ضمن افزایش ارزش سرمایه گذاری، کارکردها، کیفیت و مطلوبیت سناریو مورد انتخاب را به نحو چشمگیری بهبود می‌بخشد، لذا به‌کارگیری این تکنیک در مساله تحلیل و بررسی سازه نگهبان نتایج خوبی درپی داشته است و می‌تواند به عنوان ابزاری کارآمد در موضوع پرچالش موردنظر در اختیار کارفرمایان قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: مهندسی ارزش، شمع، دیوار دیافراگمی، روش اجرا، سازه نگهبان، قطار شهری

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر با توجه به رشد روزافزون جمعیت و محدودیت‌های موجود در جهت توسعه شهرها، بلند مرتبه‌سازی و به تبع آن گودبرداری‌های عمیق‌تر مورد توجه قرار گرفته است که در مناطق شهری به دلیل محدودیت‌های موجود دیواره‌ی گود معمولاً به صورت قائم یا نزدیک به قائم برداشته می‌شود که با در نظر داشتن جنبه ایمنی مسئله، حفاظت از گود و سازه‌های مجاور نیازمند توجه ویژه می‌باشد. فشار جانبی وارد بر جداره گود ناشی از رانش خاک بر اثر وزن خود آن و نیز وزن سازه مجاور روی خاک کنار گود می‌باشد. حال برای جلوگیری از ریزش دیواره‌های گود الزام به اجرای سازه‌هایی است که در برابر نیروی محرک ریزش دیواره‌ها مقاومت کند که از آن به عنوان سازه نگهبان[۱] یاد می‌گردد. سازه نگهبان برای جلوگیری از ریزش دیواره‌ای گود، ممانعت از رانش خاک و ایجاد ایستایی و پایداری لازم در مقابل هرگونه حرکت افقی دیوارها و مهارها احداث می‌گردد [۱].

برای اجرای سازه نگهبان روش‌های متعددی وجود دارد که هرکدام دارای مزایا و معایبی هستند. برخی از این روش‌ها دارای محدودیت‌های اجرایی هستند، به طوری که فقط در یک سری شر ایط خاص قابل استفاده می‌باشند. همچنین هر یک از روش‌های اجرای سازه نگهبان، بسته به سطح تکنولوژی مورد استفاده در آن‌ها، هزینه‌های متفاوتی را به پروژه تحمیل می‌کنند. در دورانی که مدیریت صحیح برای صرفه جویی و بهینه کردن هزینه‌ها اهمیت ویژه‌ای پیدا کرده است، لذا این نیاز احساس می‌شود که برای مدیریت هرچه بهتر هزینه‌ها و همچنین دستیابی به بالاترین سطح ایمنی و ضریب اطمینان، باید وقت و هزینه بیشتری صرف انجام مطالعات، برای انتخاب بهترین روش اجرای سازه نگهبان شود [۲].

مهندسی ارزش[۲] یکی از موفق‌ترین روش‌های حل مسئله، کاهش هزینه و بهبود عملکرد با حفظ و ارتقاء کیفیت است. رویکرد کارکردگرای مهندسی ارزش و سرعت بالای به نتیجه رسیدن آن از وجوه تمایز این روش در مقایسه با دیگر تکنیک-های تحلیل و بررسی پروژه‌ها است. در این پژوهش با استفاده از روش مهندسی ارزش، مسئله بررسی و مقایسه تحلیلی و رفتاری دو نوع از سیستم‌های سازه نگهبان (دیوار دیافراگمی و دیوار شمعی) مورد مطالعه قرار گرفته است و از میان این دو در پروژه منتخب، بهترین روش را به گونه‌ای شناسایی می‌کند، که از لحاظ هزینه و کارایی (درجه ایمنی) در بهینه‌ترین وضعیت قرار گرفته است [۳].

۲- روش تحقیق

تحقیقات را با مبانی و معیارهای مختلفی طبقه‌بندی نموده‌اند. از جمله آن، دسته‌بندی تحقیقات از منظر هدف در سه گروه اکتشافی، توصیفی و تبیینی می‌باشد. در مبنای دیگری، تحقیقات از نظر نحوه عملیات در پنج دسته استراتژی تحقیق آزمایشی، پیمایشی، آرشیوی، تاریخی و مروری تقسیم شده‌اند. در یک طبقه‌بندی دیگر از منظر کاربردی، تحقیقات در دو گروه کاربردی و بنیادی (پایه‌ای، محض) قرار می‌گیرند. همچنین تحقیقات به لحاظ شیوه تجزیه و تحلیل داده‌ها در دو دسته تحقیقات مبتنی بر تجزیه و تحلیل کیفی و کمی قرار داده شده‌اند.

تحقیق حاضر با استفاده از تحقیقات پیشین و کمک گرفتن از متخصصین مهندسی ارزش به دنبال کمک به مدیران برای شناخت بهتر و اولویت‌بندی موثرتر در استفاده از مهندسی ارزش در مسئله بررسی و مقایسه تحلیلی و رفتاری دو نوع سیستم سازه نگهبان است. بنابراین از منظر هدف تحقیق، از نوع کاربردی می‌باشد. از آنجا که برای به دست آوردن اطلاعاتی درباره‌ی

---

[۱] Retaining structure
[۲] Value Engineering

دیدگاه‌ها، باورها و نظرات کارشناسان این حوزه تلاش می‌کنیم از منظر نحوه عملیات در گروه تحقیقات پیمایشی قرار می‌گیرد؛ همچنین از نظر ماهیت پژوهشی و به لحاظ شیوه تجزیه و تحلیل داده‌ها در زمره‌ی تجزیه و تحلیل کیفی و کمی قرار می‌گیرد.

۳- تحقیقات پیشین

مهندسی ارزش راهی است به سوی ایجاد تعادل بین هزینه‌ها و کارکردهای یک محصول، طرح، پروژه و یا فرآیند.
مهندسی ارزش روشی است سازمان یافته و خلاقانه که با تجزیه و تحلیل کارکردهای محصول، پروژه، فرآیند و یا خدمت، به هدف تحقق کارکرد مورد نظر با کمترین هزینه و بدون مصالحه در خصوص کارآیی، قابلیت اطمینان، قابلیت تعمیرات و نگهداری، کیفیت و غیره نائل می‌شود.
مطابق تعریف انجمن بین‌المللی مهندسی ارزش[۳]، متدولوژی ارزش "فرآیندی است سیستماتیک، عمل‌گرا، خلاق و مبتنی بر کار تیمی جهت دستیابی به بهترین کارکرد سیستم، محصول، خدمت و یا طرح، با کمترین هزینه‌ی طول عمر و با حفظ کیفیت یا ایمنی قابل قبول".
مهندسی ارزش در سال ۱۹۴۷ توسط آقای مایلز درشرکت جنرال‌الکتریک و در پی بررسی‌های وی در خصوص شرایط پیش آمده طی جنگ جهانی دوم تدوین گردید. پس از اجرا و موفقیت در صنایع کشتی‌سازی و نظامی ایالات متحده، در دهه ۱۹۷۰ این روش به صنعت وارد شد. حضور مهندسی ارزش به اندازه‌ای موفق و مؤثر بود که دولت ایالات متحده اعمال مهندسی ارزش را در طرح‌های راه و ترابری ملی با بودجه بیش از ۲۵ ملیون دلار، ساختمان‌های بیش از ۵۰۰ هزار دلار و طرح‌های منابع آب بیش از ۱۰ میلیون دلار اجباری نموده است. علاوه بر آن هر ایالت به صورت جداگانه مقرراتی تصویب نمود و دامنه کار این روش را به حوزه‌های پرهزینه گسترش داد [۳و۴].

۳-۱- مهندسی ارزش در مساله انتخاب سازه نگهبان

پس از انجام مطالعات گسترده و بررسی سوابق موضوع، خلاصه‌ای از سوابق پژوهش‌های صورت گرفته در زمینه رویکردها و تکنیک‌های مورد استفاده در مساله انتخاب سازه نگهبان، در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱: مطالعات صورت گرفته در خصوص مساله انتخاب سیستم سازه نگهبان [۱]

نویسندگان	رویکرد	تکنیک حل
آدامز، ۱۹۹۴	مقایسه نتایج حاصل از دو تکنیک حل	تکنیک وزن‌دهی و روش فازی
یاو و یانگ، ۱۹۹۸	_	استدلال موردی
یاو و یانگ، ۱۹۹۹	_	استنتاج قوانین
یانگ و همکاران، ۲۰۰۳	گودبرداری عمیق و بالا بودن سطح آبهای زیرزمینی	سیستم خبره

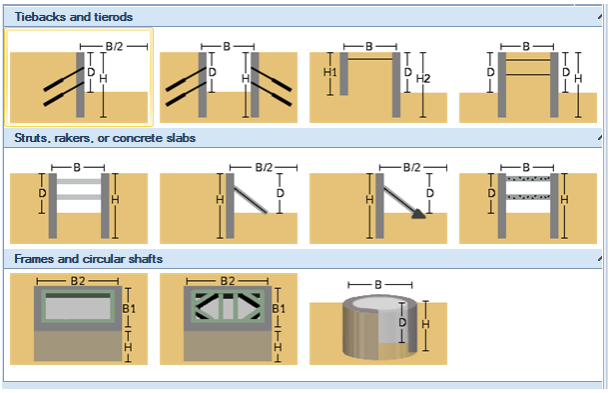
[۳] Value Engineering

چوی و لی، ۲۰	گودبرداری عمیق	درخت تصمیم
پیزارو، ۲۰۱۴	ایجاد پایگاه داده جامع از طریق جمع‌آوری اطلاعات	مطالعات کتابخانه‌ای، مصاحبه و مشاهدات میدانی
سلیقه زاده و همکاران، ۱۳۹۳	مقایسه مدیریتی روش‌ها	مطالعات کتابخانه‌ای و مشاهدات میدانی
فیض‌الله‌پوری و همکاران، ۱۳۹۳	ساخت ایستگاه‌های زیرزمینی مترو	روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)
دزفولی و سیدآقامیری، ۱۳۹۳	گودبرداری کم عمق و نیمه عمق تا عمق ۱۰ متر	مطالعات کتابخانهای و مشاهدات میدانی
صباحی، ۱۳۹۳	بالا بودن سطح آب‌های زیرزمینی و جلوگیری از ورود آب به داخل گود	مهندسی ارزش

۴- مبانی نظری

پایدارسازی دیوارهای ترانشه یا گود به شیوه‌ها و روش‌های مختلفی صورت می‌گیرد که ازجمله آن‌ها می‌توان به روش‌های زیر اشاره نمود [۸]:

مهاربندی (از سمت خاک)، مهار متقابل، دوخت به پشت، میخکوبی، دیوار دیافراگم، دیوار سپری، دیـوار شـمعی، خرپـا کـه در شکل ۱ نمایش داده شده است.



شکل ۱: انواع سازه نگهبان [۸]

در ادامه دو روش معرفی شده برای اجرای سازه نگهبان ایستگاه مترو، مورد بررسی قرار می‌گیرند.

۴-۱- روش شمع سکانتی

یکی از روش‌های متداول در پایداری و حفاظت جداره‌ها با شرایط متنوع اعم از زمین سخت و سست و نرم استفاده از شمع‌های درجا می‌باشد و در برخی موارد علاوه بر ایفای نقش حفاظت جانبی، نقش آب‌بندی را نیز انجام می‌دهد و همواره در صورت نیاز می‌تواند بار قائم را نیز تحمل نماید که در شکل ۲ مراحل اجرای آن آورده شده است.

شکل ۲: مراحل اجرای شمع بتنی (ایستگاه ۱۶ خط ۲ قطار شهری تبریز)

۴-۱-۱- مزایای روش دیوار شمعی

- به علت کاهش در هزینه و افزایش سرعت اجرا عملیات در گودبرداری‌های در مقیاس کوچک تا متوسط، اقتصادی‌تر از دیوار دیافراگمی در نظر گرفته می‌شوند.
- برخلاف دیوار دیافراگمی که بستگی به هندسه قائم منطقه گودبرداری دارد، سیستم نگهبان با شمع پیوسته می‌تواند با هرشکلی در منطقه گودبرداری ساخته شود.
- می‌توانند با استفاده از تجهیزات مرسوم شمع‌گذاری نیز اجرا گردند و می‌توانند در شرایط سخت و سنگی زیر خاک که ساخت دیوار دیافراگمی سخت است، ساخته شوند.

۴-۱-۲- معایب روش دیوار شمعی

- زمان اجرای طولانی در احجام کار بالا در مقایسه با دیوار دیافراگمی
- اتصالات بیشتر نسبت به دیوار دیافراگمی و در نتیجه احتمال بالای نشت آب به داخل گود
- تغییر شکل بیشتر زمین اطراف در مقایسه با دیوار دیافراگمی
- صرفاً استفاده به عنوان سازه نگهبان موقت

۴-۲- دیوار دیافراگمی

دیوارهای دیافراگمی یا دوغابی، دیوارهای بتنی مسلح یا غیرمسلح ساخته شده در زیر تراز سطح زمین هستند که به منظور نگهداری دیواره‌ی گودها یا آب‌بندی کف سدها و مواردی که اجرای دیوارهای طولی کم‌عرض و عمیق در زیر سطح خاک مورد نیاز باشد، اجرا می‌شوند. برای احداث این دیوارها عموماً از دستگاه هیدروفرز یا دستگاه گراب که از مهمترین دستگاه‌های حفاری در ساخت دیوارهای دیافراگمی هستند، استفاده می‌شود که در شکل ۳ نیز آورده شده است.

شکل ۳: مراحل و تجهیزات اجرای دیوار دیافراگمی

۴-۲-۱- مزایای روش دیوار دیافراگمی

- اجرا در هر نوع خاک و سنگ حتی در عمق های چند صد فوتی
- درجه ایمنی کار بسیار زیاد
- صرفه جویی در زمـــان و هزینه
- ایجاد سطحی نفوذناپذیر در اطراف ترانشه یا گود
- کاهش تغییرشکل‌های سازه جدید و سازه‌های مجاور
- قالب بندی کم و سریع
- مناسب برای مناطق شهری

۴-۲-۲- معایب روش دیوار دیافراگمی

- هزینه بسیار زیاد در احجام کار کم
- نیاز به دستگاه حفاری ویژه و نیروی متخصص
- انجـــام عملیـــات خاکـــی کندتـــر از روش‌های متداول
- انعطاف پذیری کم از لحاظ هندسی

۵- روش انجام پژوهش

مطابق تعریف انجمن بین‌المللی مهندسی ارزش، متدولوژی ارزش فرآیندی است سیستماتیک، عمل‌گرا، خلاق و مبتنی بر کار تیمی جهت دستیابی به بهترین کارکرد سیستم، محصول، خدمت و یا طرح، با کمترین هزینه‌ی طول عمر و با حفظ کیفیت یا ایمنی قابل قبول[۱۰]. مطالعه موردی ایستگاه ۸ از پروژه خط ۲ قطارشهری در شهر تبریز انتخاب شده است و موضوع بررسی و مقایسه تحلیل و رفتاری سیستم سازه نگهبان در این پروژه به کمک تکنیک مهندسی ارزش مورد مطالعه قرار

می‌گیرد. مراحل و گام‌های اجرایی تکنیک مهندسی ارزش در این پروژه پیاده‌سازی می‌شود. نتایج به دست آمده از اجرای هر یک از گام‌های مهندسی ارزش به تفصیل بیان شده است.

۱-۵- مراحل مهندسی ارزش

مهندسی ارزش (با مفهومی نزدیک به مدیریت ارزش و تجزیه و تحلیل ارزش) رویکردی گروهی، سیستماتیک، کارکردگرا و دارای کاربردی حرفه ای است که برای ارزیابی و بهبود ارزش در یک محصول، طراحی یک وسیله، طراحی سیستم، اجرای پروژه های صنعتی و عمرانی و دیگر خدمات به کار گرفته می‌شود. مهندسی ارزش متدولوژی قدرتمندی است برای حل مسائل، کاهش هزینه‌ها و به طور همزمان، بهبود عملکرد و کیفیت. با شناسایی و ارتقای شاخص‌های ارزش، مهندسی ارزش، رضایت مشتری را افزایش می‌دهد و به ارزش سرمایه‌گذاری می‌افزاید. این متدولوژی را که از راهبردهای موفق بلندمدت و تجاری است، می‌توان در تمام بخش‌های تجاری یا اقتصادی، نظیر صنایع، دولت، ساخت و ساز و خدمات به کار گرفت.
مطالعات مهندسی ارزش طی گام‌هایی سلسله‌وار صورت می‌گیرد که اصطلاحاً آن را گام‌های مطالعه ارزش می‌نامیم. متخصصان مختلف در عین اینکه از روش‌های مشابهی برای مطالعات ارزش استفاده می‌کنند تعداد گام‌های متفاوتی را برای مطالعه پیشنهاد می‌کنند، اما چنان‌که اشاره شد اصول کلی همه آن‌ها شبیه به هم است. مطالعات ارزش به طور کلی شامل سه گام اصلی است که عبارتند از: پیش مطالعه، مطالعات ارزش و مطالعات تکمیلی.

۱-۱-۵- پیش مطالعه

در فعالیت های پیش مطالعه، هماهنگ کننده تیم مهندسی ارزش با پروژه آشنا می‌شود، اطلاعات تخصصی و هزینه ها را استخراج می کند و هماهنگی‌های مناسب برای کارگاه مهندسی ارزش را فراهم می‌آورد. سپس اعضای تیم را انتخاب و روابط شغلی مؤثری با مشاور طراحی، نماینده کارفرما و مدیر ساخت برقرار می کند. در این گام هماهنگ‌کننده تیم، برنامه کلی و مطالب را با نمایندگان طراح، کارفرما، مدیریت ساخت و سایر طرف‌های درگیر و تأثیرپذیر از پروژه هماهنگ می‌کند و محدودیت‌ها وشرایط را به طور کلی بیان می‌دارد.

در پیش مطالعه، آمادگی و تمهیدات مؤثر برای برگزاری کارگاه مهندسی ارزش انجام می‌شود. مهم‌ترین بخش در این گام تهیه داده‌ها و بستر اطلاعاتی مناسب است.

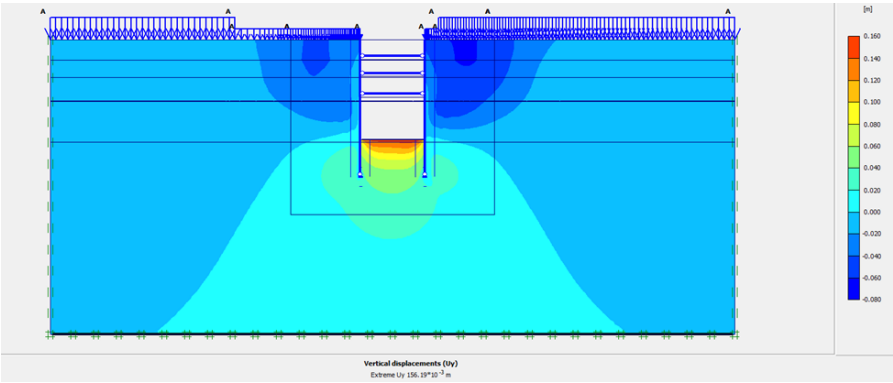
در این مرحله مجموعه اقدامات اولیه و ضروری جهت انجام مرحله مطالعه ارزش صورت پذیرفت. اقدامات صورت گرفته در این زمینه به شرح ذیل است[۱۱-۱۶]:

- **مشخصات و مختصات کلی پروژه**
- **ژئوتکنیک خاک ساختگاه پروژه**
- **وضعیت سازه های مجاور محل پروژه**
- **تحلیل ریسک و میزان نشست ناشی از حفاری ایستگاه به دو روش دیوار دیافراگمی و شمعی:** مطابق نتایج مدلسازی مقادیر حداکثر نشست قائم و نشست تفاضلی برای ساختمان‌های واقع در محدوده تیپ‌های نشان داده شده در شکل ۴ مطابق جدول ۲ می‌باشد.

جدول ۲: مقادیر نشست حداکثر برای تیپ های مختلف

	تیپ A	تیپ B	تیپ C	تیپ D
حداکثر نشست قائم (mm)	۱۸	۱۳/۴	۲۳/۴	۲۰
نشست تفاضلی	۱/۲۵۰۰	۱/۱۴۲۸	۱/۱۰۵۲	۱/۸۰۰

نتایج حاصل از مدل‌سازی در روش اجرای سازه نگهبان به صورت دیوار شمعی در شکل ۴ برای تغییر مکان قائم پس از حفاری نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود بیشترین تغییرمکان قائم ایجاد شده در سطح زمین میزبان ایستگاه ۶۲ میلی‌متر می‌باشد.



شکل ۴: تغییر مکان قائم پس از حفاری در روش دیوار شمعی

با توجه به توضیحات ارائه شده، ساختمان‌های اطراف ایستگاه در روش دیوار شمعی و دیافراگمی در رده ریسک ۱ و۲ قرار دارند، لذا آسیبی به ساختمان‌های اطراف ایستگاه وارد نمی‌شود و صرفاً لازم است برنامه‌ی پایش و اندازه‌گیری منظم در محدوده ساختمان‌ها انجام گردد.

- **تعیین معیارهای ارزیابی:** در این مطالعه پس از بررسی منابع مختلف و پژوهش‌های قبلی صورت گرفته در زمینه انتخاب سازه نگهبان، معیارهای ارزیابی که برای انتخاب سازه نگهبان مورد استفاده قرار گرفته بود شناسایی گردید. سپس با تبادل نظر صورت گرفته با افراد متخصص در این زمینه، معیارهای ارزیابی گزینه‌ها انتخاب شد و مورد توافق قرار گرفت که شامل انعطاف پذیری نسبی طرح، تناسب با موقعیت شهری، سازگاری با شرایط ژئوتکنیکی، کنترل نفوذ آب، صرفه اقتصادی، کنترل نشست سازه های مجاور، سهولت اجرا، سرعت اجرا، درجه ایمنی، عدم نیاز به تکنولوژی پیشرفته و نیروی متخصص می‌باشد.

۲-۱-۵- فاز اطلاعات

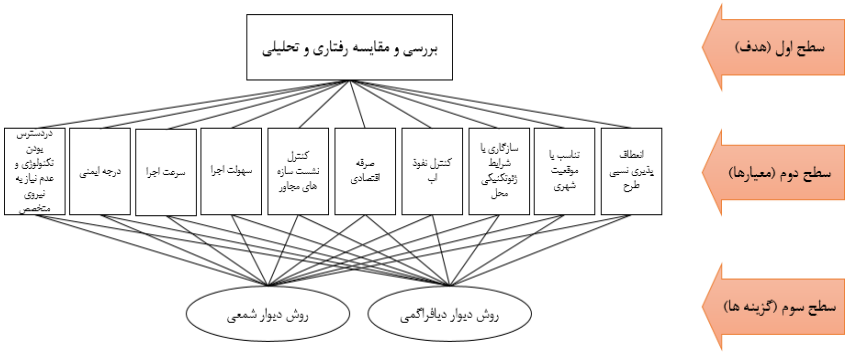
تمامی اطلاعات و داده‌های به دست آمده از مرحله پیش مطالعه مورد بررسی مجدد قرار گرفت. سپس بازدیدهای متعددی از محل سایت پروژه انجام شد و با نمایندگان کارفرما و عوامل اجرایی مستقر در محل پروژه مصاحبه به عمل آمد و اطلاعات تکمیلی در مورد شرایط فعلی پروژه به دست آمد. محدودیت‌های اصلی پروژه شناسایی گردید.

۳-۱-۵- فاز توسعه

در فاز توسعه تصمیم‌گیری برای اولویت‌بندی و بررسی و مقایسه سازه نگهبان براساس بالاترین شاخص ارزش انجام می‌شود. بدین منظور از روش ماتریس تصمیم‌گیری وزنی رتبه‌ای استفاده می‌شود.

۴-۱-۵- تحلیل سلسله مراتبی AHP

اولین گام در فرآیند سلسله مراتبی ایجاد یک نمایش گرافیکی از مسئله می‌باشد که در آن هدف، معیارها و گزینه‌ها نمایش داده می‌شود. با توجه به نتایج پرسشنامه پیوست برای انتخاب سازه نگهبان ۱۰ معیار اصلی از میان معیارهای اجرایی جهت مقایسه و بررسی انتخاب شدند که در شکل ۵ نشان داده شده‌اند.



شکل ۵: ساختار سلسله مراتب درختی

۵-۱-۵- محاسبه وزن سلسله مراتبی AHP

در تحلیل سلسله مراتبی عناصر هر سطح نسبت به عنصر مربوطه خود در سطح بالاتر به صورت زوجی مقایسه شده و وزن آن محاسبه می‌شود. در این مقایسه‌ها تصمیم گیرندگان از قضاوت‌های شفاهی استفاده خواهند کرد، به گونه‌ای که اگر عنصر i با عنصر j مقایسه شود تصمیم گیرنده خواهد گفت که اهمیت i بر j یکی از حالات جدول ۳ خواهد بود.

جدول ۳: کمی کردن حالات تصمیم گیری

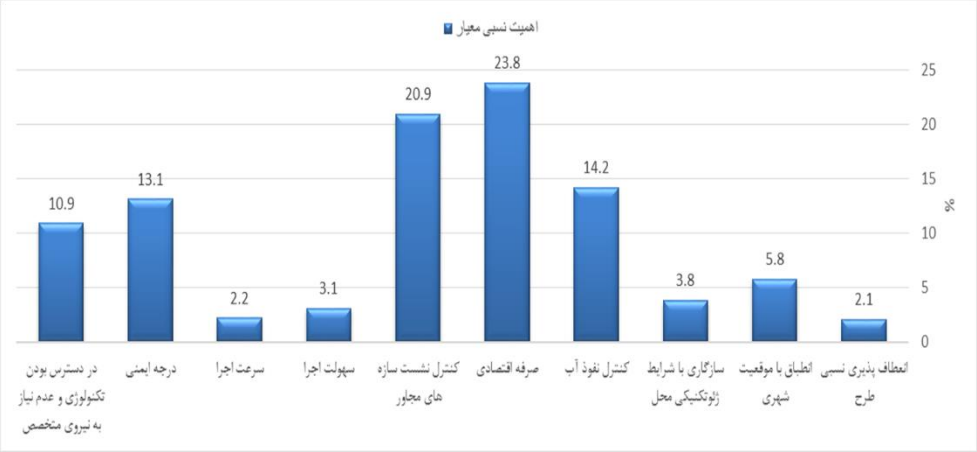
ترجیحات (قضاوت شفاهی)	مقدار عددی
کاملا مطلوب‌تر	۹
مطلوبیت خیلی قوی	۷
مطلوبیت قوی	۵
کمی مطلوب‌تر	۳
مطلوبیت یکسان	۱
ترجیحات بین فواصل فوق	۲ و ۴ و ۶ و ۸

وزن هر معیار در این تحلیل، با استفاده از نظرات پیمانکاران و طراحان با تجربه در زمینه مترویی و گودبرداری به دست آمد. در جدول ۴ نتیجه مقایسات گزینه‌ها براساس تک‌تک معیارها به صورت زوجی، حاصل از پرسش‌نامه که عملاً ورودی به نرم‌افزار می‌باشند نشان داده شده است.

جدول ۴: مقایسه زوجی گزینه ها بر مبنای معیارهای انتخاب شده

بر مبنای انطباق با موقعیت شهری				بر مبنای انعطاف پذیری طرح		
دیوار شمعی	دیوار دیافراگمی			دیوار شمعی	دیوار دیافراگمی	
۱/۳	۱	دیوار دیافراگمی		۱/۳	۱	دیوار دیافراگمی
۱	۳	دیوار شمعی		۱	۳	دیوار شمعی
بر مبنای کنترل نفوذ آب				**بر مبنای سازگاری با شرایط ژئوتکنیکی محل**		
دیوار شمعی	دیوار دیافراگمی			دیوار شمعی	دیوار دیافراگمی	
۶	۱	دیوار دیافراگمی		۱	۱	دیوار دیافراگمی
۱	۱/۶	دیوار شمعی		۱	۱	دیوار شمعی
بر مبنای کنترل نشست سازه‌های مجاور				**بر مبنای صرفه اقتصادی**		
دیوار شمعی	دیوار دیافراگمی			دیوار شمعی	دیوار دیافراگمی	
۳	۱	دیوار دیافراگمی		۱/۲	۱	دیوار دیافراگمی
۱	۱/۳	دیوار شمعی		۱	۲	دیوار شمعی
بر مبنای سرعت اجرا				**بر مبنای سهولت اجرا**		
دیوار شمعی	دیوار دیافراگمی			دیوار شمعی	دیوار دیافراگمی	
۶	۱	دیوار دیافراگمی		۱/۲	۱	دیوار دیافراگمی
۱	۱/۶	دیوار شمعی		۱	۲	دیوار شمعی
بر مبنای در دسترس بودن تکنولوژی و عدم نیاز به نیروی متخصص				**بر مبنای ایمنی**		
دیوار شمعی	دیوار دیافراگمی			دیوار شمعی	دیوار دیافراگمی	
۳	۱	دیوار دیافراگمی		۶	۱	دیوار دیافراگمی
۱	۱/۳	دیوار شمعی		۱	۱/۶	دیوار شمعی

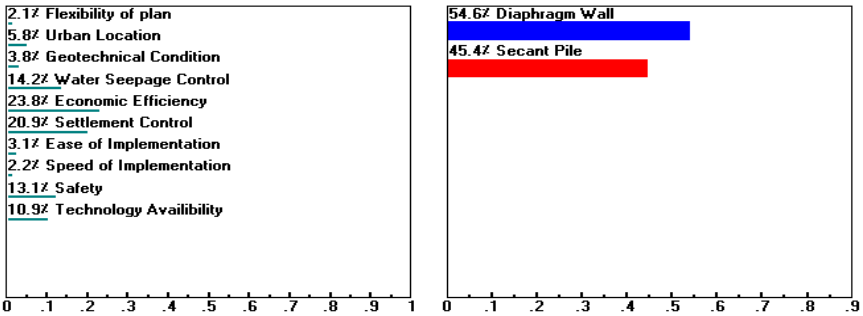
مقایسه زوجی معیارها در مرحله سوم معیارها دوبه‌دو با همان روش مقایسه می‌شود. در این مرحله برای ارائه راهکارهای درست‌تر، مقایسه از زوایای مختلف بررسی می‌گردد. به عبارت دیگر در هر سناریو در نظر گرفته شده، برتری یک معیار نسبت به دیگر معیارها محسوس است تا بستر تصمیم‌گیری با توجه به نیازمندی‌ها و فاکتورهای موردنظر فراهم آید و همچنین در نمودار ۱ اهمیت نسبی معیارها بر حسب درصد نشان داده شده است.



نمودار ۱: اهمیت نسبی معیارها در انتخاب سازه نگهبان (بر حسب درصد)

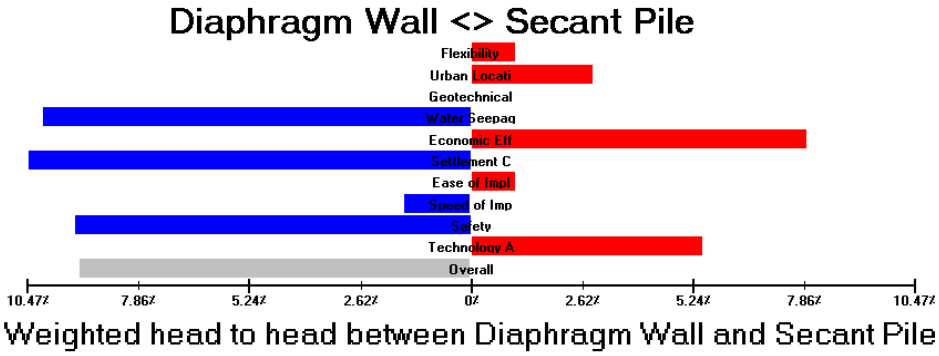
۶-۱-۵- نتایج حاصل از ارزیابی انواع سازه نگهبان با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در مدل ExpertChoice

نمودار ۲ اوزان نهایی برای گزینه‌ها و معیار را بر حسب درصد بصورت مجزا در نمودار میله‌ای نشان می‌دهد. در میان معیارها صرفه اقتصادی با ۲۳/۸ درصد از اهمیت بیشتری برخوردار است. همچنین در میان گزینه‌ها روش دیوار دیافراگمی با ۵۴/۶ درصد بیشترین وزن را به دست آورده است.



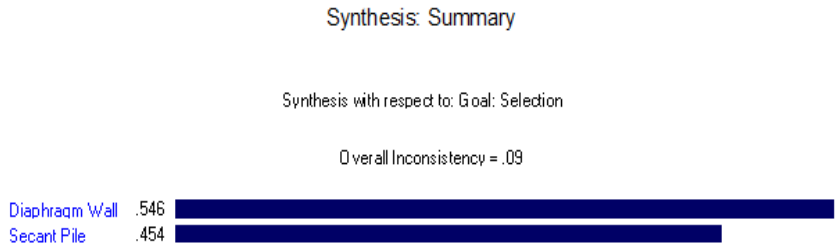
نمودار۲: حساسیت دینامیک برای هر گزینه

در نمودار ۳ روش دیوار دیافراگمی و دیوار شمعی بر اساس تمامی معیارها مقایسه شده اند.



نمودار ۳: مقایسه دو به دو بین گزینه‌ها

در نمودار ۴، نتایج نهایی و اوزان گزینه‌ها برای انتخاب سازه نگهبان بر روی نمودار میله‌ای نشان داده شده‌اند.



نمودار ۴: نتایج نهایی و اوزان گزینه‌ها برای انتخاب سازه نگهبان

در جدول ۵ نیز اولویت‌های انتخاب سازه نگهبان بر اساس روش تحلیل سلسله مراتبی نشان داده شده است.

جدول ۵: اولویت‌های انتخاب سازه نگهبان بر اساس روش تحلیل سلسله مراتبی

گزینه	اوزان نهایی	مراتب اهمیتی
دیوار شمعی	٪ ۴۶	۲
دیوار دیافراگمی	٪ ۵۴	۱

۶- ارزش افزوده طرح

- معرفی بهترین راه حل برای مسئله انتخاب مناسب‌ترین روش اجرای سازه نگهبان به نحوی که بالاترین کارایی را از خود نشان داده و باعث تقلیل هزینه‌های ساخت شده و همچنین انتظارات ذینفعان پروژه را برآورده سازد.
- ارائه چارچوب کلی برای استفاده از روش ارائه شده در موارد مشابه
- کاهش زمان انجام پروژه

۷- مهمترین گلوگاه

- کمک به حل مسئله پرچالش مقایسه و انتخاب انواع سازه نگهبان با وجود معیارهای مختلف تأثیرگذار در انتخاب
- واردکردن رویکرد مهندسی ارزش جهت کمک به فرآیند تصمیم گیری بهینه
- به حداقل رسیدن مخاطرات جانی و مالی ناشی از احداث سازه نگهبان
- حذف قالب‌بندی دیوارها و تسریع در روند انجام پروژه
- کاهش ریسک پروژه
- حذف هزینه‌های ناشی از آب بندی و خشکه اندازی

۸- مقایسه روش مورد استفاده در این پروژه با روش‌ها و مدل‌های مشابه

- تلفیق رویکرد مهندسی ارزش و روش تحلیل سلسله مراتبی
- استفاده از معیارهای ارزیابی واقع گرایانه و متناسب با شرایط پروژه
- توجه همزمان به مسائل مدیریت پروژه ای و اجرایی و کارگاهی در پیشبرد صحیح مراحل ارزش

۹- نتایج پژوهش

- با توجه به معیارهای ارزیابی انتخاب شده و اهمیت آن‌ها در تصمیم‌گیری به کمک رویکرد مهندسی ارزش بهترین گزینه پیشنهادی قابل استفاده به عنوان سازه نگهبان در ساخت ایستگاه (در شرایط پروژه منتخب) روش دیوار دیافراگمی می‌باشد.
- به کارگیری این تکنیک در مسئله انتخاب سازه نگهبان نتایج خوبی در پی داشته است و می‌تواند به عنوان ابزاری کارآمد در موضوع پرچالش انتخاب سازه نگهبان در اختیار کارفرمایان قرار گیرد.
- به کارگیری تحلیل سلسله مراتبی به صورت موفقیت‌آمیز در بررسی و مقایسه انواع سازه نگهبان ایستگاه مترو، نشان-دهنده تأثیر مثبت آن برای ذینفعان پروژه جهت انتخاب بهینه نوع سازه نگهبان می‌باشد.
- دراین مورد توجه به این نکته مهم است که نمی‌توان برای همه پروژه‌ها (با مشخصات متفاوت) یک روش اجرا را به عنوان روش بهتر تجویز کرد بلکه می‌بایست با توجه به شرایط ویژه هر پروژه، روش بهینه برای اجرای آن را انتخاب کرد.
- صرفه جویی ۲۰ درصدی در هزینه‌های اجرای سازه نگهبان

مراجع

[۱] سیدآبادی, احسان و ایمان شکیباپور، ۱۳۹۶، کاربرد مهندسی ارزش در انتخاب سازه نگهبان، دومین کنفرانس ملی یافته های نوین پژوهشی و آموزشی عمران معماری شهرسازی و محیط زیست ایران، تهران.

[۲] اولی پور, مسعود؛ علی سلیقه زاده و احمد برجویی، ۱۳۹۰، انتخاب بهترین روش جهت حفاظت از گود در گود برداریهای حجیم در شهر اهواز، ششمین کنگره ملی مهندسی عمران، سمنان، دانشگاه سمنان.

[۳] فیض الله پوری, محمد؛ جمشید سلحشور و مهدی مهدوی عادلی، ۱۳۹۳، بررسی و ارزیابی انواع سازه های نگهبان در ساخت ایستگاه های زیر زمینی مترو و ارائه بهترین روش با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی (AHP) مطالعه موردی : متروی اهواز، اولین کنگره ملی مهندسی ساخت و ارزیابی پروژه های عمرانی، گرگان، سازمان نظام مهندسی ساختمان استان گلستان.

[۴] منصوری, مرتضی؛ کاظم برخورداری بافقی و جعفر بلوری بزاز، ۱۳۹۳، بررسی و مقایسه عملکرد روش های مختلف پایدارسازی گودبرداری های عمیق، دومین کنگره بین المللی سازه ، معماری و توسعه شهری، تبریز، دبیرخانه دائمی کنگره بین المللی سازه ، معماری و توسعه شهری.

[۵] حسینی افضل, محمد جواد، ۱۳۹۰، تحلیل استاتیکی و دینامیکی سازه‌های نگهبان گودبرداری‌های بزرگ در محیط شهری به همراه مطالعه موردی ایستگاه مترو W۷ تهران، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور)

[۶] Kumar, Manish. "Deep support systems using diaphragm walls and contiguous piles." Proc., National Seminar on Deep Excavation in Urban Environment. ۲۰۰۸.

[۷] Wang, J. H., Z. H. Xu, and W. D. Wang. "Wall and ground movements due to deep excavations in Shanghai soft soils." Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering ۱۳۶,۷ (۲۰۰۹): ۹۸۵-۹۹۴.

[۸] Long, Michael. "Database for retaining wall and ground movements due to deep excavations." Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering ۱۲۷,۳ (۲۰۰۱): ۲۰۳-۲۲۴.

[۹] Bowles, L. E. Foundation analysis and design. McGraw-hill, ۱۹۹۶.

[۱۰] مطالعات پایه و گزارش مقدماتی و روش اجرای ایستگاه S۰۸، مهندسین مشاور هگزا، خرداد ۹۶.

[۱۱] مطالعات ژئوتکنیک ایستگاه S۰۸، مهندسین مشاور ایمن‌سازان تدبیر پارس، آبان ۹۵.

[۱۲] گزارش تحلیل و طراحی سازه هسته مرکزی ایستگاه S۰۸ ، مهندسین مشاور خاک سنگ سازه و مهندسین مشاور توسعه، اسفند ۹۶.

[۱۳] گزارش بررسی شرایط عمومی و ارزیابی ریسک ساختمان‌های واقع در محدوده ایستگاه S۰۸، مهندسین مشاور خاک سنگ سازه و مهندسین مشاور توسعه، اسفند ۹۶.

[۱۴] مطالعات پایه و گزارش مقدماتی و روش اجرای ایستگاه S۰۸، معاونت فنی موسسه ایستاب.

[۱۵] گزارش تحلیل و طراحی سازه نگهبان هسته مرکزی ایستگاه S۰۸ ، هندسین مشاور هگزا، خرداد ۹۶.

[۱۶] گزارش بررسی شرایط عمومی و ارزیابی ریسک ساختمان‌های واقع در محدوده ایستگاه S۰۸، مهندسین مشاور هگزا، اسفند ۹۵.