انتخاب روش اجرایی پل‌های خاص راه‌آهن با استفاده از شاخص ارزش (مطالعه موردی)

مقاله پژوهشی

رامین بیات*، مربی، آموزشکده فنی و حرفه‌ای سما، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرمانشاه، کرمانشاه، ایران
سیامک طلعت اهری، دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
محمدرضا حبیبی، استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: ramin.bayat67@gmail.com

دریافت: ۹۸/۰۵/۰۷- پذیرش: ۹۸/۱۰/۰۵
صفحه ۱۴۴-۱۳۳

چکیده

اجرای پل‌های خاص راه‌آهن با توجه به شرایط و ساختگاه پل و گزینه‌های متفاوت اجرایی از اهمیت بسزایی برخوردار است. در بررسی نوع اجرای پل کیلومتر ۲۳۶+۱۲۵ راه‌آهن کرمانشاه-خسروی ابتدا شرایط زمین شناسی منطقه مورد بررسی قرار گرفته و سیستم‌های متداول اجرایی شامل تیرهای بتنی پیش ساخته پیش تنیده، تیرهای فلزی پیش ساخته، بتن پیش تنیده سگمنتال درجاریز با روش اجرای طره آزاد، تیرورقه‌ای فولادی، تیرهای باکس فلزی و خاکریز به همراه آبروی طاقی ارزیابی شدند؛ سپس هر یک از روش‌ها با استفاده از شاخص ارزش و معیارهای هزینه تمام شده ساخت، هزینه نگهداری در طول مدت بهره‌برداری، زیبایی ظاهری و چشم انداز پل، سهولت اجرا و سرعت اجرا امتیازدهی شدند و نهایتاً پل با ۱۳ دهانه ۳۰متری تیر بتنی پیش تنیده پیش ساخته که حائز بالاترین شاخص ارزش نسبت به گزینه‌های دیگر بود به عنوان گزینه اجرایی بهینه از نظر فنی و اقتصادی انتخاب گردید.

واژه‌های کلیدی: شاخص ارزش، پل راه‌آهن، روش اجرایی، عرشه

۱- مقدمه

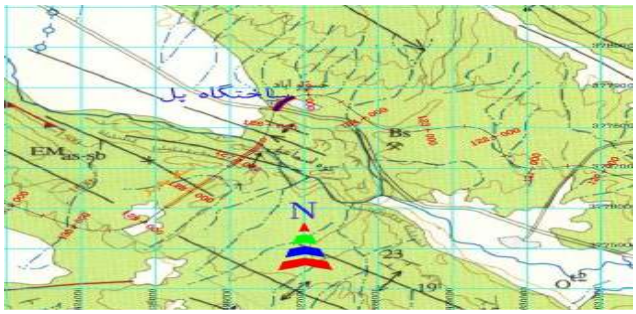
اجرای پل‌های خاص راه‌آهن با توجه به شرایط و ساختگاه پل و گزینه‌های متفاوت اجرایی از اهمیت بسزایی برخوردار است. برای بررسی امکان سنجی نوع اجرای پل بایستی ابتدا به بررسی شرایط زمین‌شناسی ساختگاه پل پرداخته شود، سپس سیستم‌های متداول برای اجزای مختلف سازه پل مورد بحث قرار می‌گیرد که در این بخش موارد زیر بسیار حائز اهمیت می‌باشد:
– طول دهانه (کوتاه، متوسط و بلند)
- مصالح اصلی مورد مصرف، مانند بنایی، بتن مسلح، بتن پیش تنیده، فولاد، آلومینیوم و غیره.
- شیوه ساخت عرشه، مانند اجرای درجا، پیش‌ساخته، طره‌ای و غیره.
- کاربری پل و قرارگیریی آن به عنوان گذرگاه عابر پیاده، جاده، راه آهن، بزرگراه و غیره.
- نظام سازه‌ای عرشه، در شکل‌های صفحه‌ای، تیر و شاه تیری، خرپایی، قوسی، معلق، ترک‌های، قابی و غیره (zahedi and bayat,2013).

با توجه به شرایط ساختگاه و جانمایی پل در پلان، گزینه‌های اجرایی مختلف مورد بحث قرار گرفته و با توجه به معیارهای فنی و اقتصادی، گزینه برتر پیشنهاد می‌شود. در این مقاله پل کیلومتر ۲۳۶+۱۲۵ راه‌آهن کرمانشاه–خسروی به عنوان مطالعه موردی مورد بحث و

بررسی قرار گرفته است که بر مبنای روش‌های اجرایی متداول و معیارهای ارزیابی گزینه مورد نظر جهت اجرا انتخاب می گردد.

۲- زمین‌شناسی

با توجه به تقسیم‌بندی ساختارهای زمین‌شناسی ایران،گستره مورد بررسی جزء پهنه رسوبی ساختاری زاگرس چین‌خورده می‌باشد. کمربند کوه‌زایی زاگرس نتیجه بازشدن و بسته‌شدن پوسته اقیانوسی نئوتتیس است و از شمال خاوری به جنوب باختری پهنه‌های سنندج- سیرجان و کمربند زاگرس چین‌خورده - رانده شده را در خود جای داده است. این دو ناحیه توسط راندگی کوه سفید از یکدیگر تفکیک می‌شوند. زاگرس چین خورده به مجموعه پستی و بلندی‌های منظم و ویژه‌ای گفته می‌شود که در جنوب غربی زاگرس مرتفع از کردستان جنوبی تا حوالی تنگه هرمز گسترده شده‌اند. ساخت زمین‌شناسی آن ساده، ملایم و شامل مجموعه‌های از رشته تاقدیس‌های نزدیک هم با سطح محوری متغیر ولی در مجموع روند شمال غربی- جنوب شرقی دارد. از نظر تاثیر ساختمان طبقات در شکل ظاهری کوه‌ها، زاگرس یکی از انواع مهم چین خوردگی‌ها است که در دنیا به نام چین خوردگی ژورائی شناخته می‌شود. منشاء نمونه ژورائی حاصل، مطابقت شکل ناهمواری با تغییر شکل زمین ساختی است که در آن کوه‌ها منطبق بر هسته تاقدیس‌ها و چاله‌ها منطبق بر ناودیس‌ها هستند(Hexa,۲۰۱۵).



شکل ۱. موقعیت پل بر روی نقشه زمین شناسی

۳- مبانی انتخاب و طرح سازه پل

با مشخص شدن شرایط منطقه‌ای، زمین شناسی و نوع خاک محل پروژه و همچنین تصویب پلان و پروفیل مسیر، بررسی گزینه مناسب سازه پل برای تأمین گذر مطمئن راه آهن از محدوده تقاطع خود با گذر درهای، طبق معیارها و ضوابط طراحی سازه پل به شرح زیر صورت خواهد پذیرفت. در یک تقسیم‌بندی کلی، سازه پل از دو بخش زیرسازه و روسازه تشکیل گردیده که در طبقه‌بندی پل‌ها، عوامل به شرح زیر تاثیر گذار خواهند بود.

- طول دهانه (کوتاه، متوسط و بلند)
- مصالح اصلی مورد مصرف، مانند بنایی، بتن مسلح، بتن پیش تنیده، فولاد، آلومینیوم و غیره.
- شیوه ساخت عرشه، مانند اجرای درجا، پیش ساخته، طره‌ای و غیره.
- کاربری پل و قرارگیریی آن به عنوان گذرگاه عابر پیاده، جاده، راه آهن، بزرگراه و غیره.
- نظام سازه‌ای عرشه، در شکل‌های صفحه ای، تیر و شاه تیری، خرپایی، قوسی، معلق، ترک‌های، قابی و غیره.

ازآن جا که در طول هر مسیر و در محل‌های تقاطع آن با عوارض طبیعی مانند دره‌ها، رودخانه‌ها و یا سایرمسیرها، پل برای ایجاد ارتباط مورد استفاده قرار می‌گیرد، عوامل محیطی می‌توانند تأثیر بسزایی در تعیین مشخصات هندسی و نظام سازه‌ای آن داشته باشند. در این ارتباط لازم است با انجام بررسی‌های کامل محلی و ارزیابی شرایط زمین و با در نظر گرفتن محدودیت‌های اجرایی، طول و تعداد دهانه‌ها و نیز موقعیت پایه‌ها و سایر مشخصات هندسی پل مشخص گردد. با توجه به اینکه ابعاد سازه پل از لحاظ باربری رابطه مستقیمی با دهانه آن دارد، لذا طبقه‌بندی عرشه پل‌ها به لحاظ باربری، می‌توان در دو حالت مورد بررسی قرارداد.

- پل‌های با دهانه‌های کوتاه و متوسط.
-پل‌های با دهانه‌های بلند (whitney,2013).

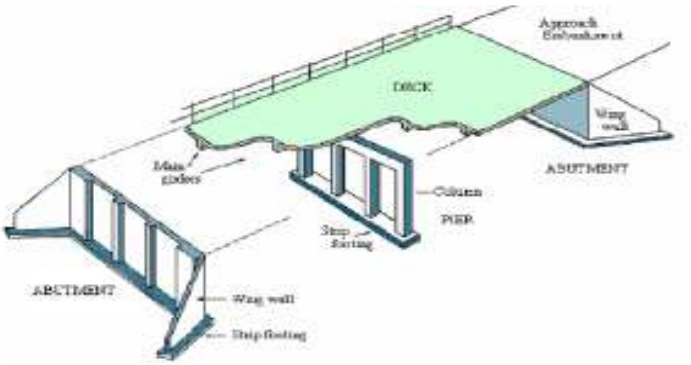
٤- گزینه‌های پیشنهادی

٤-١- گزینه اول: تیرهای بتنی پیش‌ساخته پیش تنیده

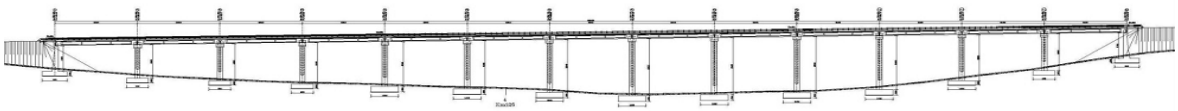
در این گزینه یک پل با ۱۳ دهانه ۳۰ متری به طول کلی ۳۹۰ متر آکس به آکس کوله با تابلیه از نوع تیر و دال با تیرهای پیش ساخته بتنی پیش تنیده در نظر گرفته شده است.

٤-١-١- عرشه

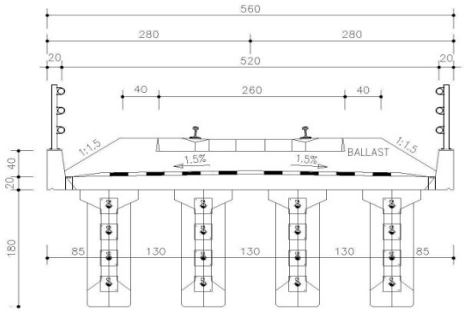
تابلیه متشکل از ٤ تیر بتنی پیش ساخته پیش تنیده به ارتفاع ۱۸۰سانتی‌متر می باشد که به فاصله ۱۳۰سانتی‌متری از هم قرار دارند و با استفاده نئوپرن بر روی کوله‌ها و پایه میانی قرار می‌گیرند. عرض بال فوقانی، تحتانی و ضخامت جان به ترتیب برابر ٦٠، ٨٠ و ٢٠سانتی‌متر خواهد بود و همچنین بر روی تیرها دال بتنی به ضخامت ۲۰ سانتی‌متر و به صورت درجاریز اجرا می‌شود. در هر دهانه بر روی تکیه‌گاه و در وسط دهانه، تیرهای عرضی وظیفه توزیع بار جانبی و پیچش را برعهده خواهند داشت. عرض تابلیه با احتساب قرنیزهای طرفین ٥/٦ متر می‌باشد که در هر سمت عرشه، به میزان ۸۵ سانتی‌متر کنسول در نظر گرفته شده است.



شکل ۲. نمایش اجزای یک نمونه پل



شکل ۳. پروفیل طولی گزینه اول پیشنهادی



شکل ٤. مقطع عرضی عرشه گزینه اول

٤-١-٢-پایه‌های میانی

این گزینه دارای ۱۲پایه میانی می‌باشد که با توجه به جانمایی آنها در پلان، در دو تیپ با مقاطع جعبه‌ای در نظر گرفته شده است. تیپ اول که مربوط به پایه‌های اول، دوم، سوم و دوازدهم می‌باشد که دارای ابعاد خارجی

200×400و ابعاد داخلی 140×340 و ارتفاع به ترتیب 18/50 ،۵۰/۱۶ ،۱۵و 16/50متر می باشد که بر روی پی متکی بر شالوده شمعی به ابعاد 8×10متر و ضخامت ۲ متر قرار گرفته است. تیپ دوم که مربوط به پایه‌های چهارم تا یازدهم می‌باشد که دارای ابعاد خارجی 200×400 و ابعاد داخلی 140×340 و ارتفاع به ترتیب ۲۴ ،۲۵ ،۵۰/۲۵ ،۵۰/۲۵ ،۵۰/۲۳ ،۵۰/۲۱ ،۲۰و ۲۰/۵۰متر می باشد که بر روی پی متکی بر شالوده شمعی به ابعاد 10×12متر و ضخامت ۲/۵ متر قرار گرفته است.

۴-۱-۳-کوله‌ها

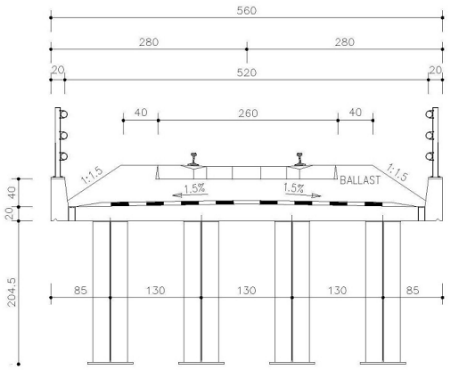
کوله‌ها به صورت دیوار بتن مسلح و از نوع بسته و در یک تیپ در نظر گرفته شده اند. ارتفاع دیوار کوله اول و دوم یکسان و از زیر نئوپرن تا روی پی به ترتیب برابر ۱۱/۵متر و ضخامت دیواره برابر ۲۲۰ سانتی‌متر می باشد که بر روی پی متکی بر شالوده شمعی به ابعاد 6/5×9متر و ضخامت ۲ متر قرار گرفته است.

۴-۲- گزینه دوم: تیرهای فلزی پیش ساخته

در این گزینه یک پل با ۱۳دهانه ۳۰ متری به طول کلی ۳۹۰ متر آکس به آکس کوله با تابلیه از نوع تیر و دال با تیرهای پیش ساخته فلزی در نظر گرفته شده است.

۴-۲-۱- عرشه

تابلیه متشکل از۴ تیرورق فولادی به ارتفاع جان ۲۰۰ سانتی‌متر و به فاصله ۱۳۰سانتی‌متر از یکدیگر می‌باشد. ابعاد بال فوقانی، تحتانی و جان تیر ورق به ترتیب برابر 25×650 ،20 ×500 و 15×2000 میلی‌متر خواهد بود. بر روی تیرورقها دال بتنی به ضخامت ۲۰سانتی‌متر و به صورت درجا اجرا می‌شود. عرض تابلیه با احتساب قرنیزهای طرفین ۵/۶ متر می‌باشد که در هر سمت عرشه، به میزان ۸۵ سانتی‌متر کنسول در نظرگرفته شده است.



شکل ۵. مقطع عرضی عرشه گزینه اول

۴-۲-۲- پایه‌های میانی

این گزینه دارای ۱۲پایه میانی می‌باشد که با توجه به جانمایی آن‌ها در پلان، در دو تیپ با مقاطع جعبه‌ای در نظر گرفته شده است. تیپ اول که مربوط به پایه‌های اول، دوم، سوم و دوازدهم می‌باشد که دارای ابعاد خارجی 200×400 و ابعاد داخلی 140×340 و ارتفاع به ترتیب ۱۸ ،۱۶/۵ ،۱۴/۵ و ۱۶متر می باشد که بر روی پی متکی بر شالوده شمعی به ابعاد8×10متر و ضخامت ۲ متر قرار گرفته است. تیپ دوم که مربوط به پایه‌های چهارم تا یازدهم می‌باشد که دارای ابعاد خارجی 200×400 و ابعاد داخلی 140×340 و ارتفاع به ترتیب ۲۳/۵ ،۲۵ ،۲۵/۵ ،۲۵ ،۲۳ ،۲۱/۵ ،۱۹/۵و ۲۰/۵ متر می‌باشد که بر روی پی متکی بر شالوده شمعی به ابعاد 10×12متر و ضخامت۲ متر قرار گرفته است.

۴-۲-۳-کوله‌ها

کوله‌ها به صورت دیوار بتن مسلح و از نوع بسته و در یک تیپ در نظر گرفته شده‌اند. ارتفاع دیوار کوله اول و دوم یکسان و از زیر نئوپرن تا روی پی به ترتیب برابر ۱۱متر و ضخامت دیواره برابر ۲۲۰ سانتی‌متر می‌باشد که بر روی

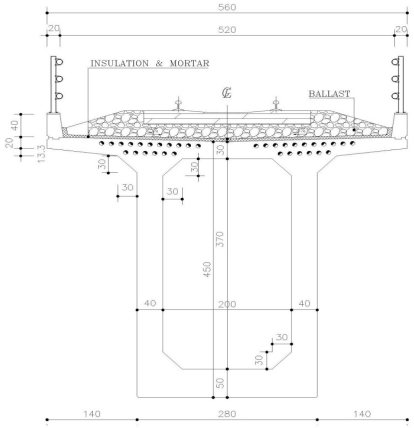
پی متکی بر شالوده شمعی به ابعاد 9×6/5 متر و ضخامت ۲ متر قرار گرفته است.

٤-۳- گزینه سوم: بتن پیش‌تنیده سگمنتال درجاریز با روش اجرای طره آزاد

در این گزینه یک پل با ٦ دهانه ۳۰متری، ۲دهانه ۳۸ متری و ۲دهانه ٦۷متری و بـه طـول کلـی ۳۹۰ متـر آکس به آکس کوله می باشد که درآن سیستم عرشه دهانه‌های ۳۰متری از نوع تیر و دال بـا تیـرهـای پـیش ساخته پیش تنیده بتنی و مابقی دهانه‌ها با عرشه بتن پیش تنیـده درجـاریز بـا روش اجـرای طـره آزاد مـدنظر خواهد بود.

٤-۳-۱- عرشه

این گزینه دارای دو سیستم مختلف باربر می‌باشد. در دهانه‌های ۳۰متری، تابلیه متشکل از ٤ تیر بتنـی پـیش ساخته پیش تنیده به ارتفاع ۱۸۰سانتی متر می‌باشد که به فاصله ۱۳۰سانتی‌متری از هم قرار دارند و بـا اسـتفاده نئوپرن بر روی کوله‌ها و پایه میانی قرار می‌گیرند. عرض بال فوقانی، تحتانی و ضخامت جان به ترتیب برابـر۸۰،٦۰ و۲۰سانتی متر خواهد بود و همچنین بر روی تیرها دال بتنی به ضخامت ۲۰سـانتی‌متر و بـه صـورت در جاریز اجرا می‌شود. در دهانه‌های ۳۸ و ٦۷ متری، پل به صورت طره آزاد و با اسـتفاده از دسـتگاه شـاریو نوعی از قالب است که از آن برای بتن ریزی عرشه پل‌ها به صورت درجا استفاده می‌شود. در هر دهانه بر روی تکیه‌گاه و در وسط دهانه، تیرهای عرضی وظیفه توزیـع بـار جـانبی و پـیچش را برعهده خواهند داشت. همانطور که در نقشه‌های پیوست مشاهده می‌گردد مقطع در نظـر گرفتـه شـده بـرای قسمت‌های طره آزاد به صورت جعبه‌ای می‌باشد که ارتفاع مقطع بر روی پایه هـا و وسـط دهانـه بـه ترتیـب برابر ٤/۵ و ۲/٦ متر خواهد بود. مقطع عرضی شامل عرض پشت تا پشت جعبه برابر ۲/۸ متـر و دو کنسـول ۱/٤متری در طرفین می باشد. ضخامت جان و بال فوقانی در طول دهانه ثابـت و بـه ترتیـب برابـر ٤۰ و ۳۰ سانتی متر و ابعاد بال تحتانی به صورت متغیر در نظر گرفته شده است به طوریکه ضـخامت آن بـر روی پایـه برابر ۵۰ و در وسط دهانه برابر ۲۵سانتی متر انتخاب گردیده است. عرض تابلیه با احتساب قرنیزهای طـرفین ۵/٦ متر است.



شکل ٦. مقطع عرضی سیستم طره آزاد گزینه سوم پیشنهادی

٤-۳-۲- پایه میانی

این گزینه دارای ۹پایه میانی و قابل ارایه در ۳ تیپ خواهد بود. تیپ یـک کـه مربـوط بـه پایـه ۳ ،۲ ،۱و ۹ بوده که دارای ابعاد خارجی 200×400 و ابعاد داخلی 140×340 و ارتفاع به ترتیب برابر ۵۰/۱۸ ،۵۰/۱٦ ،۱۵ و ۱٦/۵۰متر می‌باشد که بر روی پی سطحی به ابعاد 8×10متر و ضخامت ۲متر قرار گرفته اسـت. تیـپ دو مربوط به پایه چهارم و هشتم بوده که دارای ابعاد خارجی 250×360 و ابعاد داخلی 130×240 و ارتفـاع بـه ترتیب برابر ۲۰متر می‌باشد که بر روی پی سطحی به ابعاد 12×14متر و ضخامت ۳ متر قرار گرفتـه اسـت. تیپ سه مربوط به پایه پنجم تا هفتم بوده کـه دارای ابعـاد خـارجی 250×400 و ابعـاد داخلـی 130×280و ارتفاع به ترتیب برابر ۵۰/۲۳ ،۲۰ و۲۲/۵۰ متر

می‌باشد که بر روی پی سطحی به ابعاد 12×14متر و ضخامت ۳ متر قرار گرفته است.

٤-۳-۳-کوله‌ها

کوله‌ها به صورت دیوار بتن مسلح و از نوع بسته و در یک تیپ در نظر گرفته شده اند. ارتفاع دیوار کوله اول و دوم یکسان و از زیر نئوپرن تا روی پی به ترتیب برابر ۱۱/۵متر و ضخامت دیواره برابر ۲۲۰ سانتی‌متر می باشد که بر روی پی متکی بر شالوده شمعی به ابعاد 6/5×9 متر و ضخامت ۲ متر قرار گرفته است.

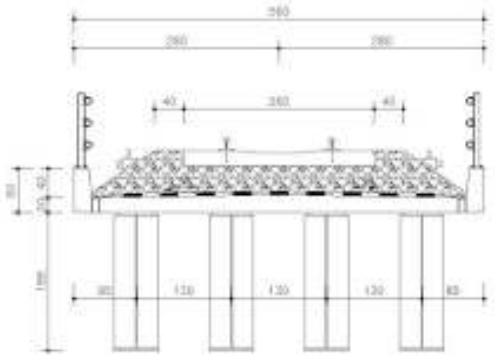
٤-٤- گزینه چهارم: تیرورقه‌ای فولادی

در این گزینه یک پل با ٤دهانه ۵۵متری و ٤دهانه ٤۲/۵متری به طول کلی ۳۹۰ متر آکس به آکس کوله با تابلیه از نوع تیر و دال با تیرهای پیش‌ساخته فلزی با مقطع متغیر در نظر گرفته شده است.

٤-٤-۱- عرشه

تابلیه متشکل از ٤ تیر ورق فولادی به ارتفاع جان ۲۷۰ سانتی‌متر بر روی تکیه گاه و ۱۸۰سانتی‌متر در وسط دهانه می‌باشد و فاصله تیرها از یکدیگر برابر ۱۳۰سانتی‌متر در نظر گرفته شده است. ابعاد بال فوقانی، تحتانی و جان تیرورق بر روی پایه به ترتیب برابر 40×600 ،40×500و 15×2700 میلی‌متر و ابعاد بال فوقانی، تحتانی و جان تیرورق در وسط دهانه به ترتیب برابر 40×600 ،40×500و 15×1800میلی‌متر خواهد بود.

بر روی تیرورقها دال بتنی به ضخامت ۲۰ سانتی‌متر و به صورت درجا اجرا می‌شود. عرض تابلیه با احتساب قرنیزهای طرفین ۵/٦متر می‌باشد که در هر سمت عرشه، به میزان ۵۸۵ سانتی‌مترکنسول درنظر گرفته شده است.



شکل ۷. مقطع عرضی عرشه گزینه چهارم

٤-٤-۲-پایه‌های میانی

این گزینه دارای ۷ پایه میانی و قابل ارایه در ۲ تیپ خواهد بود. تیپ اول مربوط به پایه‌های ۲ ،۱و۷ بوده که دارای ابعاد خارجی 200×400 و ابعاد داخلی 140×340 و ارتفاع به ترتیب ۱۸ ،۱٤/۵ و 1۷متر می‌باشد، که بر روی پی سطحی با ابعاد 10×12متر و ضخامت ۲/۵ متر قرار گرفته است.

تیپ دوم مربوط به پایه‌های ۳ تا ٦ می باشد، دارای ابعاد خارجی 200×400 و ابعاد داخلی 140×340 و ارتفاع به ترتیب ۲۵ ،۵۰/۲۰ ،۵۰/۲٤،۲۳/۵۰متر می‌باشد که بر روی پی سطحی با ابعاد 12×14متر و ضخامت ۳ متر قرار گرفته است.

٤-٤-۳-کوله‌ها

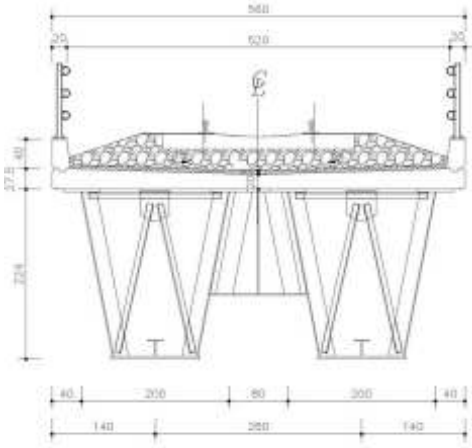
کوله‌ها به صورت دیوار بتن مسلح و از نوع بسته و در یک تیپ در نظر گرفته شده‌اند. ارتفاع دیوار کوله اول و دوم یکسان و از زیر نئوپرن تا روی پی به ترتیب برابر ۱۱/۵متر و ضخامت دیواره برابر ۲۲۰سانتی متر می‌باشد که بر روی پی متکی بر شالوده شمعی به ابعاد 6/5×9 متر و ضخامت ۲ متر قرار گرفته است.

٤-٥- گزینه پنجم: تیرهای باکس فلزی

در این گزینه یک پل با ٤ دهانه ٥٥ متری و ٢دهانه ٤٠متری به طول کلی ١٨٠ متر آکس به آکس کوله با تابلیه از نوع تیر و دال با تیرهای پیش ساخته جعبه ای فولادی در نظر گرفته شده است.

٤-٥-١-عرشه

تابلیه متشکل از ٢ تیر جعبه‌ای فولادی به ارتفاع ٢٢٤سانتی متر و عرض فوقانی و تحتانی مقطع جعبه‌ای به ترتیب برابر ٢٥٠ و ١٢٠سانتی متر تشکیل شده است که به واسطه نئوپرن‌ها بر روی کوله و پایه‌های میانی قرار گرفته‌اند. بر روی تیرهای فولادی دال بتنی به ضخامت٢٠سانتی‌متر اجرا می‌گردد. ابعاد بال فوقانی، تحتانی و جان تیرورق به ترتیب برابر 40×1200 و 15×2200 میلی‌متر خواهد بود. فاصله آکس به آکس تیرها ٢/٨ متر است. در هر دهانه بر روی تکیه گاه و در وسط دهانه، تیرهای عرضی وظیفه توزیع بار جانبی و پیچش را برعهده خواهند داشت. عرض تابلیه با احتساب قرنیزهای طرفین ٥/٦ متر می‌باشد که در هر سمت عرشه، به میزان ٤٠ سانتی‌متر کنسول در نظر گرفته شده است.



شکل ٨ مقطع عرضی عرشه گزینه پنجم

٤-٥-٢- پایه‌های میانی

این گزینه دارای ٧ پایه میانی و قابل ارایه در ٢ تیپ خواهد بود. تیپ اول مربوط به پایه‌های ٢ ،١و ٧ بوده که دارای ابعاد خارجی 200×400 و ابعاد داخلی 140×340و ارتفاع به ترتیب ١٨/٥٠ ،١٥و ١٨متر می باشد، که بر روی پی سطحی با ابعاد 10×12متر و ضخامت ٢/٥ متر قرار گرفته است. تیپ دوم مربوط به پایه‌های ٣ تا ٦می‌باشد، دارای ابعاد خارجی 200×400 و ابعاد داخلی 140×340 و ارتفاع به ترتیب، ٥٠/٢٤،٢٥ ،٢١، ٢٤ متر می‌باشد که بر روی پی سطحی با ابعاد 12×14متر و ضخامت ٣متر قرار گرفته است.

٤-٥-٣-کوله‌ها

کوله‌ها به صورت دیوار بتن مسلح و از نوع بسته و در یک تیپ در نظر گرفته شده‌اند. ارتفاع دیوار کوله اول و دوم یکسان و از زیر نئوپرن تا روی پی به ترتیب برابر ١١متر و ضخامت دیواره برابر٢٢٠ سانتی‌متر می‌باشد که بر روی پی متکی بر شالوده شمعی به ابعاد 6/5×9متر و ضخامت ٢ متر قرار گرفته است.

٤-٦- گزینه ششم: خاکریز به همراه آبروی طاقی

در این گزینه گذر درهای مسیر راه آهن به صورت خاکریز در نظر گرفته شده که جهت عبور مسیل از محور راه آهن، آبروی طاقی شکل مدنظر خواهد بود. ارتفاع خاکریز در آکس محور و از روی سابگرید تا زمین طبیعی برابر ٢٦/٩٤متر و بیشترین عرض پای خاکریز برابر ١٠٢/٢٥متر خواهد بود. طول دهانه آبروی طاقی و ارتفاع آزاد آن به ترتیب برابر ٨ و ٧ متر می باشد. جهت جلوگیری از افزایش هزینه ساخت آبرو، بخشی از طول آن حذف و گزینه دیوار بتنی غیرمسلح به طول مجموع ٤٧ مترجایگزین

گردیده است. ضخامت در نظر گرفته شده برای طاق از ۱۲۰تا ۳۵۰ سانتی‌متر می‌باشد.

۵- تحلیل نتایج

۵-۱- برآورد اقتصادی گزینه‌ها

یکی از موارد مهم در تصمیم‌گیری برای انتخاب گزینه بهینه هزینه اجرای سازه می‌باشد. بنابراین در این بخش از به مقایسه برآوردهای انجام عملیات ساختمانی هریک از گزینه‌ها پرداخته می شود که بر اساس قیمت‌های مندرج در فهرست بهاء سال ۱۳۹٤تهیه شده است (جدول ۱). در صورتی که نتایج آزمایش مکانیک خاک مغایر فرضیات پیش‌بینی شده در مطالعات مرحله اول باشد، نتیجه برآوردهای ارایه شده نیز متغیر خواهد بود.

جدول ۱. برآورد ریالی گزینه‌های مختلف

گزینه	شرح	هزینه-ریال
۱	۱۳ دهانه ۳۰ متری تیر بتنی پیش تنیده پیش ساخته	٦٤،۷۰۰،٤٤۰،۱۲
۲	۱۳ دهانه۳۰ متری تیر ورق فولادی	۹٦،۲۳۸،۰۳۰،۲۳۰
۳	۲ دهانه ٦۷متری و ۲ دهانه ۳۸ متری طره آزاد و ٦ دهانه ۳۰ متری تیر بتنی‌پیش تنیده پیش ساخته	۷۱،۲۵۰،۷٤۹،۸٤۵
٤	٤ دهانه ۵۵متری و ٤ دهانه ٤۲/۵ متری تیر پیش ساخته فلزی	۱۱۲،۸۸۷،٤۷۰،۳۹۰
۵	٤ دهانه ۵۵ متری و ٤ دهانه ٤۲/۵ متری باکس پیش ساخته فلزی	۱۲۰،۵۷۲،۲٦۲،۸٤٤
٦	خاکریز به همره آبرو طاقی	٤٤۰،۰۲٤،۰۰۹،۵۱۸

۵-۲ مقایسه فنی گزینه‌ها

در انتخاب بهترین گزینه برای اجرای این پل، عوامل مختلفی جهت مقایسه فنی و اقتصادی گزینه‌های مورد مطالعه، بررسی خواهد شد. این عوامل عبارت خواهند بود از:

- هزینه تمام شده ساخت
- هزینه نگهداری در طول مدت بهره برداری
- زیبایی ظاهری و چشم انداز پل
- سهولت اجرا
- سرعت اجرا (طاحونی،۱۳۷۹)

از نظر پارامتر زیبایی گزینه طره آزاد به واسطه داشتن دهانه‌های بلند و مقاطع ماهیچه ای بالاترین امتیاز ممکن را به خود اختصاص خواهد داد. پس از آن گزینه های تیر فلزی I شکل با مقطع متغیر و تیرهای جعبه‌ای فلزی دارای دهانه های بلند و زیبایی خواهند بود اما موضوعی که زیبایی تیر فلزی I شکل با مقطع متغیر را نسبت به نمونه جعبه‌ای خود افزایش خواهد داد مقاطع متغیر آن خواهد بود. پس از این دو گزینه تیرهای پیش تنیده و فلزی با دهانه‌های ۳۰ متری می‌باشند که از نظر طول دهانه دارای شرایط یکسان بوده اما تیرهای پیش تنیده به واسطه استفاده از مصالح یکسان در زیرسازه خود دارای زیبایی بالاتری نسبت به تیرهای فلزی ساده خواهند داشت. در نهایت گزینه خاکریز با توجه به فضای حجیمی که به خود اختصاص داده و در نتیجه آن شرایط اکوسیستم ساختگاه را از حالت متوازن خود خارج نموده، از پائینترین امتیاز ممکن برخوردار خواهد بود. از نظر پارامتر سهولت ساخت در بین گزینه‌های احداث پل، گزینه‌های فلزی به نسبت گزینه‌های پیش تنیده به واسطه وزن کمتر و همچنین انجام عملیات ساخت در کارخانه برتری قابل ملاحظه‌ای خواهند داشت. در بین گزینه‌های فلزی، تیرهای ساده ۳۰ متری به دلیل داشتن وزن پایین تر، بالاترین امتیاز را به خود اختصاص خواهند داد. تیر فلزی I شکل با مقطع متغیر دارای وزن کمتری نسبت به نمونه جعبه‌ای خود خواهد بود و از طرفی تیرهای جعبه‌ای به واسطه شکل هندسی خود شرایط نصب راحت تری خواهند داشت بنابراین، تیر فلزی I شکل با مقطع متغیر و تیرهای جعبه‌ای فلزی دارای امتیاز یکسانی می‌باشند. در گزینه‌های پیش تنیده، تیرهای ۳۰ متری ساخت راحت‌تری نسبت به سیستم اجرای طره آزاد خواهند داشت. بنابراین از بین تمامی گزینه‌های پیشنهادی برای سیستم سازه ای پل، گزینه طره آزاد دارای کمترین امتیاز ممکن خواهد بود. اما با قیاس کلی بین سیستم‌های سازه‌ای موجود و گزینه احداث خاکریز، با توجه به شرایط اجرایی این سیستم و پایین‌ترین سطح تکنولوژی ساخت مورد نیاز از بیشترین امتیاز سهولت ساخت بهره مند خواهد گردید. از نظر پارامتر سرعت ساخت گزینه‌های دارای کمترین تعداد دهانه و سیستم عرشه با امکان پیش سازی در کارخانه در اولویت قرار خواهند داشت. به همین دلیل گزینه تیر فلزی I شکل با مقطع متغیر به دلیل

تعداد پایه کم و همچنین ساخت راحت شاه تیرها در کارخانه بالاترین امتیاز را به خود اختصاص خواهد داد. در گزینه تیرهای جعبه‌ای با اینکه تعداد پایه‌ها مشابه گزینه تیر فلزی I شکل با مقطع متغیر می‌باشد اما به دلیل نوع سیستم عرشه، سرعت ساخت این گزینه در رتبه دوم قرار خواهد داشت و پس از آن گزینه تیرهای ۳۰ متری فلزی ساده در رتبه سوم قرار خواهند گرفت. با توجه به عدم تفاوت چندان در تعداد پایه‌ها در گزینه تیر پیش ساخته پیش تنیده و گزینه طره آزاد و همچنین صعوبت اجرایی سیستم طره آزاد نسبت به ساخت تیرهای پیش تنیده، این گزینه در پایین‌ترین رتبه نسبت به سایر سیستم‌های سازه‌ای پیشنهاد شده قرار خواهد گرفت. در نهایت با توجه به حجم بالای عملیت خاکی گزینه خاکریز و وابستگی کامل زمان اجرای آن نسبت به شرایط جوی، این گزینه از پایین ترین امتیاز ممکن در بین تمامی گزینههای پیشنهادی برخوردار خواهد بود. از نظر پارامتر هزینه نگهداری به طور کلی گزینه‌های فلزی به دلیل مشکلات خود در مقابل عوامل جوی در سطح پایین‌تری نسبت به نمونه‌های بتنی قرار خواهند گرفت. در سیستم های بتنی در مقایسه با یکدیگر، گزینه طره آزاد به دلیل داشتن سطح محصور و همچنین وجود دسترسی‌های مخصوص بالاترین امتیاز را به خود اختصاص خواهد داد و پس از آن گزینه تیرهای ۳۰ متری پیش تنیده قرار خواهد داشت. در بین گزینه‌های فلزی، گزینه تیرهای جعبه ای به دلیل داشتن سطح محصور و امکان دسترسی مخصوص بالاترین امتیاز را به خود اختصاص خواهد داد. تیرهای ۳۰ متری ساده به دلیل داشتن سطح کمتر فلز در مقایسه با نمونه تیرهای متغیر که در معرض عوامل جوی قرار خواهند داشت، رتبه چهارم را کسب خواهد کرد. پایین‌ترین امتیاز ممکن نیز با توجه به عدم قطعیت بالای لایه‌های خاکریز، به این گزینه اختصاص خواهد یافت. از نظر پارامتر زیست محیطی، سیستم‌های سازه ای که کمترین تعداد پایه را دارند از بیشترین امتیاز بهره مند خواهند شد. بنابراین، گزینه‌های تیر فلزی با مقطع متغیر و تیرهای جعبه‌ای از بیشترین امتیاز و گزینه‌های تیرهای فلزی ۳۰ متری و تیرهای پیش تنیده از کمترین امتیاز دز بین سیستم‌های سازه‌ای برخوردار خواهند گردید. گزینه طره آزاد به جهت داشتن تعداد پایه‌های حد میانگین گزینه‌های مورد اشاره، امتیاز میانگین و متعادلی خواهد داشت. به گزینه خاکریز با توجه در پی‌داشتن آثار مخرب زیست محیطی هیچگونه امتیازی تعلق نخواهد گرفت.

۵-۳- ارزش گذاری

با در نظر گرفتن کلیه عوامل تاثیرگذار بر شرایط فنی اقتصادی گزینه‌ها و مجموع امتیاز قابل حصول به میزان ۱۰۰درصدهای قابل اطلاق به عوامل شش گانه مد نظر از دیدگاه کارشناسی در جدول ۲ آورده شده است. به کمک معیارها، امتیاز هر یک از آیتم‌ها تعیین و در نهایت جمع بندی امتیازها و تعیین شاخص ارزش، صورت گرفته است (جدول ۳).

جدول ۲. عوامل موثر و سهم هر یک در انتخاب بهترین گزینه

عامل	شرح	وزن
۱	زیبایی	۱۰
۲	سهولت اجرا	۲۵
۳	کوتاهی زمان ساخت	۲۰
٤	نگهداری	۳۰
۵	محیط زیست	۱۵
مجموع		۱۰۰

جدول۳. بررسی گزینه های مختلف با استفاده از شاخص ارزش

گزینه	زیبایی	سهولت اجرا	کوتاهی زمان ساخت	نگهداری	محیط زیست	VI
۱	۸۰	۸۵	۸۰	۹۰	۹۰	۵۹
۲	۷۰	۹۵	۹۰	۷۰	۹۰	۳۹
۳	۱۰۰	٦۵	۷۰	۱۰۰	۹۵	۵۳

٤	۹۰	۷۵	۱۰۰	٦۰	۱۰۰	۳۲
۵	۸۰	۷۵	۹۰	۸۰	۱۰۰	۳۱
٦	۳۰	۱۰۰	۵۰	۵۰	۰	۵۳

٦- نتیجه‌گیری

در این پژوهش روش‌های اجرایی پل‌های راه‌آهن از نظر فنی و اقتصادی مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است. با توجه به ساختگاه، برای اجرای پل خاص در کیلومتر ۱۲۵+۲۳٦ راه آهن کرمانشاه-خسروی اجرای گزینه‌های زیر مطرح گردید:

- ۱۳ دهانه ۳۰ متری تیر بتنی پیش تنیده پیش ساخته
- ۱۳ دهانه ۳۰ متری تیر ورق فولادی
- ۲ دهانه ٦۷متری و ۲ دهانه ۳۸ متری طره آزاد و ٦ دهانه ۳۰ متری تیر بتنی پیش تنیده پیش ساخته
- ٤ دهانه ۵۵متری و ٤ دهانه ٤۲/۵ متری تیر پیش ساخته فلزی
- ٤ دهانه ۵۵ متری و ٤ دهانه ٤۲/۵ متری باکس پیش ساخته فلزی
- خاکریز به همره آبرو طاقی

در معیارهایی مختلفی برای بررسی جوانب پل مطرح شدند که عبارتند از:

- هزینه تمام شده ساخت
- هزینه نگهداری در طول مدت بهره برداری
- زیبایی ظاهری و چشم انداز پل
- سهولت اجرا
- سرعت اجرا

که برای هر یک از این معیارها با توجه به شاخص ارزش امتیازدهی انجام شد و هر یک از گزینه‌ها امتیاز دهی شدند و نهایتاً گزینه اول یعنی پل با ۱۳ دهانه ۳۰ متری تیر بتنی پیش تنیده پیش ساخته که حائز بالاترین شاخص ارزش نسبت به پنج گزینه دیگر بوده است به عنوان گزینه اجرایی انتخاب گردید.

۷- مراجع

-زاهدی، م. و بیات، ر.، (۱۳۹۲)، "مروری بر مسائل اجرایی پل‌های خاص درپروژه‌های راه‌آهن مطالعه موردی: پل کیلومتر۱۸٦+٤۲۳ راه‌آهن غرب"، اولین کنفرانس ملی زیر ساخت‌های حمل و نقل، تهران، پژوهشکده حمل و نقل، دانشگاه علم و صنعت ایران.

-طاحونی، ش.، (۱۳۷۹)، "طراحی و اجرای پل"، مرکز نشر دانشگاهی، چاپ نهم.

-مهندسین مشاور هگزا، (۱۳۹٤)، "مطالعات فاز اول پل ۱۲۵+۲۳٦ "، تهران.

- واحدی، خ. علی تبار، الف.، (۱۳۸۷)، "چالش‌های اجرای مهندسی ارزش در سازمان‌ها"، سومین کنفرانس ملی مهندسی ارزش. تهران.

-واحدی، خ. منطقی، م. و تاجیک، ک.، (۱۳۸٦)، "مهندسی ارزش پارادایمی برای تغییر"، تهران. انتشارات ایران خودرو.

-Hannan, Donnald, (2005), "Value Methodology: Its Philosophy Strategies Techniques & Development", NSWAustralia.

-"Value Engineering Project Selection Process Control System Flow Chart", (2003), Value Engineering Office, Florida Department Of Transportation, Tallahassee, OCT.

-Whitney, Charles S., (2013), "Bridges of the World: Their Design and Construction. Mineola, NY: Dover Publications".

Choosing Executing method for Railway Bridges by Using Value Index (Case Study)

R. Bayat, Sama Technical and Vocational Training College, Islamic Azad University, Kermanshah Branch, Kermanshah, Iran.
S. Talatahari, Associate Professor, College of Civil Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
M. R. Habibi, Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Kermanshah Branch, Islamic Azad University, Kermanshah, Iran.

E-mail: ramin.bayat67@gmail.com

Received: September 2019- Accepted: December 2019

ABSTRACT
Performing Railway Bridge is of great importance with regard to conditions and the origin of bridge and different operational options. At first, to examine the feasibility of how to perform the bridge, the examination of geological conditions of the origin of bridge should be considered. Then, common systems for different components of bridge structure will be discussed .Executing railway bridge is dealed with various conditions and methods. For Executing railway bridge of 236+125 of Kermanshah-Khosravi railway, geology circumstances was inspected firstly and then various methods such as prestressed concrete beams, prefabricated steel beams, run in place of segmental concrete, steel sheets, steel box beams, and embankment with arched culvert were conducted. After that each of the methods scored with value and index and factors like construction cost, maintenance cost, elegance, landscape, Ease of implementation and construction time and finally prestressed concrete bridge with 13 openings of 30 meters that had maximum scores in comparison to the others was selected as executing method.

Keywords: Value Index, Railway Bridges, Executing Method, Slab