

## مهندسی ارزش در پروژه احداث پل

مهندسیدادات مکی، مرضیه احمدی

شرکت پرشین پادنا

ایران

واژه های کلیدی: مهندسی ارزش، تحلیل کارکرد- هزینه، شاخص ارزش، پل، بهبود سیستم

چکیده:

مهندسی ارزش فرآیندی است که بر بهبود کارکرد یک محصول از نظر کیفیت، زمان و گسترش دامنه کارکرد بدون افزایش هزینه ها متمرکز می شود. به دلیل بالا بودن هزینه پروژه های عمرانی، اجرای مهندسی ارزش در این پروژه ها حائز اهمیت است. در این مقاله به شرح مراحل استفاده از این فرآیند برای ایجاد صرفه جویی در هزینه های پروژه احداث پل می پردازیم.

ضمن معرفی مختصر پروژه مورد نظر، روند انجام مطالعه ارزش را بر روی آن شرح می دهیم. مهندسی ارزش در این پروژه موجب ۱۰٪ کاهش هزینه و ۳۰٪ افزایش ارزش گردیده است. از دستاوردهای دیگر انجام این پروژه، پی بردن به این نکته است که مهندسی ارزش می تواند به جای بهبود کارکردها، کل سیستم را در جهت بهبود تغییر دهد.

تاریخچه مهندسی ارزش به سالهای پس از جنگ جهانی دوم باز می‌گردد. در سال ۱۹۴۷ میلادی، شرکت جنرال موتور به علت کمبود مواد نسوز به دنبال روش یا ماده جایگزینی بود که پس از مطالعه و بررسی به ماده ارزانتر و با کارایی بالاتر دست یافت. لاری مایلز، این روش را بهترین راه جهت کاهش هزینه و ساخت با کارایی بالا دانست و آن را تحلیل ارزش نام گذاری کرد. بعدها سازمان دفاع آمریکا به کارایی مؤثر این روش پی برد و در جهت استفاده از منابع محدود به کار گرفت و آن را مهندسی ارزش نامید. در دهه های اخیر، مهندسی ارزش در بخش های مختلف گسترش یافته و به عنوان یک روش مهم در عرصه فعالیتهای مهندسی شناخته شده است. از سال ۱۹۵۵، کشور ژاپن مطالعات مهندسی ارزش را آغاز کرد و جهت تقویت کادر خود گروهی را به آمریکا اعزام نمود که تاکنون در این زمینه پیشرفت های خوبی داشته اند. [۵]

۱-۳ گام های مهندسی ارزش

فرآیند مهندسی ارزش در ۶ مرحله انجام می شود:

۱-۳-۱ فاز اطلاعات

پس از مشخص شدن صورت مسئله و سازمان دهی تیم مهندسی ارزش، نوبت به جمع آوری اطلاعات مورد نیاز می رسد. این اطلاعات در مشخص تر شدن صورت مسئله و آگاهی نسبت به ابعاد مختلف آن کمک کرده و زمینه را برای ارائه راه حل های مناسب فراهم می کند.

۱-۳-۲ فاز تحلیل کارکرد

تجزیه و تحلیل کارکرد- هزینه، مهمترین قدم فرآیند مهندسی ارزش را تشکیل می دهد. پس از تکمیل فاز اطلاعات، وظیفه بعدی آنالیز کارکرد، مشخص نمودن هزینه های آن و تعیین ارزش است. یکی از تکنیک های آنالیز کارکرد با دیدی سیستمی، استفاده از نمودار FAST می باشد.

۱-۳-۳ فاز خلاقیت

پس از مشخص شدن کارکردهای اصلی و فرعی و رسم نمودار FAST، کارکردهای بحرانی تعیین می گردد. سپس در جلسه طوفان فکری، ایده های خلاق در جهت بهبود این کارکردها مطرح می شود.

افزایش دوره ساخت پروژه های عمرانی به علت کمبود بودجه های کشور و در نتیجه معطل ماندن هزینه های انجام شده پروژه، زیان فراوانی را بر اقتصاد کشور وارد می کند. [۱] بازگشت سریعتر هزینه های سرمایه ای، به منظور کاهش زیان اقتصادی، ضروری بوده و مستلزم انجام سریعتر پروژه ها می باشد. شتابزدگی و بی توجهی برای بالا بردن سرعت اجرا موجب کمرنگ شدن مؤلفه های کیفی می شود. در نتیجه یکی از اهداف اجرایی پروژه های عمرانی (زمان به موقع، کیفیت بالا، هزینه مناسب) محقق نمی شود. [۲]

برای اولین بار حدود ۶۰ سال پیش، فردی به نام لاری مایلز، مفهوم تجزیه و تحلیل ارزش را مطرح کرد. کشورهای زیادی در جهان با به کارگیری مبحث مهندسی ارزش توانستند صرفه جویی های چشمگیری در پروژه های عمرانی و صنعتی خود ایجاد کنند. در کشور ما از سال ۱۳۷۸ بحث مهندسی ارزش آغاز شده است. به دنبال تلاشهای گسترده در زمینه ترویج فرهنگ مهندسی ارزش، سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، اجرای برنامه مهندسی ارزش را در دوره ساخت الزامی کرده است.

در همین راستا تصمیم گرفتیم مطالعه مهندسی ارزش را در زمینه احداث پل انجام دهیم که در این مقاله به شرح مراحل و دستاوردهای آن می پردازیم. [۳]

## ۱- مهندسی ارزش

۱-۱ تعریف مهندسی ارزش: مهندسی ارزش مجموعه ای از تکنیک ها و روش هایی است که با نگرش سیستمی، کارکردهای اصلی و فرعی یک محصول را شناسایی کرده و ارزش هر کارکرد را مورد تجزیه و تحلیل قرار می دهد. علاوه بر این، به عنوان یک ابزار مدیریتی در انتخاب بهترین (کم هزینه ترین) روش ایجاد این کارکردها در محصول مورد نظر به تصمیم گیران کمک می کند. [۴]

۱-۲ تاریخچه

### ۱-۳-۴ فاز ارزیابی

در این فاز، گزینه های پیشنهاد شده در فاز قبل مورد بررسی و در نهایت گزینه مناسب تر انتخاب می شود.

### ۱-۳-۵ فاز توسعه

در این فاز، میزان بهبود گزینه انتخاب شده نسبت به طرح اولیه محاسبه می شود.

### ۱-۳-۶ فاز ارائه

در این فاز، یک طرح منسجم با استفاده از راه حل انتخاب شده، شکل می گیرد و به صورت مکتوب یا شفاهی ارائه می گردد.

## ۲- مورد مطالعه: پروژه مهندسی ارزش در احداث پل

### ۲-۱ فاز اطلاعات

پس از مطالعه نقشه ها و محاسبه هزینه ها، آبروی دالی همسطح با دهانه ۸ متر و ارتفاع ۴/۵ متر برای مطالعه مهندسی ارزش انتخاب شد. مطالعات دقیق تر بر روی هزینه اجزاء و هزینه عملیات انجام گردید. اجزای این آبرو را پی، دیوار کوله، بخش بتنی دال و بخش فولادی دال در نظر گرفتیم. عملیات احداث آبرو را به عملیات خاکی، قالب بندی، بتن ریزی، آرماتور بندی و عایق کاری تقسیم کردیم.

نمودارهایی بر اساس درصد هزینه هر یک از اجزاء به کل و نیز درصد هزینه هر عملیات به کل عملیات ها رسم کردیم.

نتایج به دست آمده از هر یک از نمودارها نشان دهنده بیشترین هزینه ها می باشد که در اجزاء به ترتیب بخش بتنی دال و دیوار کوله دارای بیشترین هزینه بودند.

در عملیات ها نیز عملیات قالب بندی و بتن ریزی بیشترین هزینه ها را به خود اختصاص دادند.

درصدی از کل هزینه	اجزاء آبرو
٪۴۰	بخش بتنی دال
٪۲۶	دیوار کوله
٪۱۹	بخش فولادی دال
٪۱۵	پی

جدول شماره (۱)

درصدی از کل هزینه	عملیات احداث آبرو
٪۳۷	قالب بندی
٪۳۶	بتن ریزی
٪۱۹	آرماتور بندی
٪۶	عملیات خاکی
٪۲	عایق کاری

جدول شماره (۲)

۲-۲ فاز تحلیل کارکرد

پروژه احداث پل بتنی					
تعریف کارکردها					
نوع کارکرد		کارکرد		جزء	شماره
فرعی	اصلی	اسم	فعل		
	NF	نیرو	انتقال	پی	۱
	NF	پایداری	تأمین		
	NF	تکیه گاه	ایجاد	دیوار کوله	۲
SF		از حرکت طولی	جلوگیری		
	NF	نیرو	انتقال		
	NF	ارتفاع	ایجاد		
SF		از خاکریز	حفاظت		
SF		آب	هدایت		
	NF	نیرو	انتقال		
	HOF	حرکت	امکان	بخش بتنی دال	۳
	NF	بستر	ایجاد		
	BF	ارتباط	برقراری		
	NF	اتصال	ایجاد		
	NF	نیرو	توزیع		
	NF	فشار	تحمل		
	NF	کشش	تحمل		
	NF	کشش	تحمل	بخش فولادی دال	۴

جدول شماره (۳)

کارکرد فرعی (پشتیبان): Supporting Function  
(SF)

کارکرد اصلی (ضروری): Necessary Function  
(NF)

کارکرد با بالاترین مرتبه:

(HOF) Highest Order Function

(BF) Basic Function: کارکرد پایه:

اجزاء	کارکردها	امکان حرکت	برقراری ارتباط	ایجاد بستر	ایجاد ارتفاع	انتقال نیرو	تحمل فشار	تحمل کشش	توزیع نیرو	ایجاد اتصال	ایجاد تکیه گاہ	تأمین پایداری	هزینه (میلیون ریال)
پی						٪۶۰ ۵۹/۵						٪۴۰ ۳۹/۶	۹۹/۲
دیوار کولہ				٪۱۰ ۱۶/۵	٪۷۰ ۱۱۵/۷						٪۲۰ ۳۳/۲		۱۶۵/۳
بخش بتنی دال	٪۴ ۹/۷	٪۴ ۹/۷	٪۸ ۱۹/۴		٪۲۰ ۴۸/۵	٪۲۰ ۴۸/۵			٪۴۰ ۹۷	٪۴ ۹/۷			۲۴۲/۵
بخش فولادی دال	٪۲ ۲/۲۰	٪۲ ۲/۲۰	٪۴ ۴/۶		٪۵ ۵/۹	٪۵ ۵/۹	٪۷۰ ۸۶	٪۱۰ ۱۲/۱	٪۲ ۲/۲۰				۱۲۱/۲
هزینه کارکرد (میلیون ریال)	۱۲ ٪۲	۱۲ ٪۲	۲۴ ٪۳	۱۶/۵ ٪۳	۲۲۹/۵ ٪۳۷	۵۴/۵ ٪۸/۵	۸۶ ٪۱۴	۱۰۹ ٪۱۷	۱۲ ٪۲	۳۳/۲ ٪۵	۳۹/۶ ٪۶/۵		۶۲۸/۳

جدول شماره(۴): اجزاء- کارکرد - هزینه

پروژه احداث پل بتنی			
تحلیل کارکرد - هزینه - اهمیت			
کارکرد	درصد هزینه (C)	درصد اهمیت (I)	ارزش (I/C)
امکان حرکت	٪۲	٪۲۰	۱۰
برقراری ارتباط	٪۲	٪۱۰	۵
ایجاد بستر	٪۳	٪۱۰	۳/۳
ایجاد اتصال	٪۲	٪۱۰	۵
ایجاد ارتفاع	٪۳	٪۱۰	۳/۳
ایجاد تکیه گاه	٪۵	٪۸	۱/۶
تأمین پایداری	٪۶/۵	٪۸	۱/۲۳
انتقال نیرو	٪۳۷	٪۶	۰/۱۶
تحمل فشار	٪۸/۵	٪۶	۰/۷
تحمل کشش	٪۱۴	٪۶	۰/۴
توزیع نیرو	٪۱۷	٪۶	۰/۳۵

جدول شماره (۵)

در جدول شماره (۴)، هزینه هر یک از اجزاء به کارکردهای آن تخصیص داده شده است. در نتیجه میزان هزینه هر یک از کارکردها نسبت به هزینه کل پل بدست آمد. نتایج بدست آمده به صورت زیر می باشد:

انتقال نیرو: ۳۷٪، توزیع نیرو: ۱۷٪، تحمل کشش: ۱۴٪، تحمل فشار: ۸/۵٪، تأمین پایداری: ۶/۵٪، ایجاد تکیه گاه: ۵٪، ایجاد ارتفاع: ۳٪، ایجاد بستر: ۳٪، برقراری ارتباط: ۲٪، امکان حرکت: ۲٪.

در جدول شماره (۵)، شاخص ارزش بر اساس درصد اهمیت و در صد هزینه هر یک از کارکردها محاسبه شده است. کارکردهایی با شاخص ارزش بیش از یک، مطلوب و با شاخص ارزش کمتر از یک نا مطلوب هستند. کارکردهای نامطلوب، دارای اهمیت کمتری بوده در حالی که هزینه بیشتری را به خود اختصاص داده اند، در نتیجه این کارکردها باید در مراحل بعدی مورد توجه قرار گیرند. کارکردهایی که شاخص ارزش آنها کمتر از یک است:

- انتقال نیرو با شاخص ارزش ۰/۱۶
- تحمل فشار با شاخص ارزش ۰/۷
- تحمل کشش با شاخص ارزش ۰/۴
- توزیع نیرو با شاخص ارزش ۰/۳۵

#### ۳-۲ فاز خلاقیت

برای انجام فاز خلاقیت و رسیدن به ایده هایی برای بهبود گزینه مینا(پل بتنی)، جلسه طوفان فکری برگزار شد. در این جلسه از کارشناسان خبره و اساتید محترم دانشگاه دعوت به عمل آمد. ایده پیشنهاد شده در جلسه: در سازه های خاکی- فولادی، عملیات بتن ریزی و قالب بندی ناچیز است. این ایده ممکن است در هزینه کل پل، کاهش قابل ملاحظه ای ایجاد کند.

#### ۴-۲ فاز ارزیابی

به منظور ارزیابی طرح پیشنهادی و محاسبه میزان بهبود آن نسبت به طرح مینا باید شاخص ارزش را تعیین کرد. روش اول محاسبه شاخص ارزش:

$$\text{درصد اهمیت کارکرد} \times \text{درصد اهمیت کارکرد} = \text{شاخص ارزش کارکرد}$$

درصد هزینه کارکرد ÷ نسبت هزینه پل به پل بتنی

درصد اهمیت کارکرد: میزان اهمیت کارکرد در یک پل راحتی انجام کارکرد: میزان راحتی انجام هر یک از کارکردها درصد هزینه کارکرد: نسبت هزینه کارکرد به هزینه کل پل قیمت تقریبی کل پل بتنی بدون احتساب هزینه حمل مصالح و ضریب منطقه: ۶۳۰ میلیون ریال قیمت تقریبی کل پل خاکی - فولادی بدون احتساب هزینه حمل مصالح و ضریب منطقه: ۵۷۰ میلیون ریال

#### ۲-۵ فاز توسعه:

از آنجایی که ایده مطرح شده در فاز خلاقیت یک سیستم جدید برای ساخت پل می باشد، به منظور مشاهده میزان بهبود ارزش پل باید به روش زیر شاخص ارزش پل را محاسبه کنیم:

روش دوم محاسبه شاخص ارزش:

$$\text{درصد اهمیت کارکردها} \times \text{درصد اهمیت کارکردها} = \text{شاخص ارزش پل}$$

درصد هزینه (نسبت هزینه پل به پل بتنی)

درصد اهمیت کارکردها: میزان اهمیت کارکردها در یک پل



راحتی انجام کارکردها: میزان راحتی انجام هر یک از کارکردها

درصد هزینه: نسبت هزینه کل پل به کل پل بتنی

$$\text{شاخص ارزش پل بتنی} = \frac{(0/2 \times 1 + 0/1 \times 1 + 0/1 \times 1 + 0/1 \times 1 + 0/1 \times 3 + 0/0.8 \times 1 + 0/0.8 \times 3 + 0/0.6 \times 1 + 0/0.6 \times 2 + 0/0.6 \times 1 + 0/0.6 \times 1) \times 100}{100 \times (630 \div 630)}$$

$$\text{شاخص ارزش پل بتنی} = 1/42$$

$$\text{شاخص ارزش پل خاکی- فولادی} = \frac{(0/2 \times 1 + 0/1 \times 1 + 0/1 \times 4 + 0/1 \times 2 + 0/1 \times 1 + 0/0.8 \times 1 + 0/0.8 \times 1 + 0/0.6 \times 1 + 0/0.6 \times 1 + 0/0.6 \times 4 + 0/0.6 \times 3) \times 100}{100 \times (570 \div 630)}$$

$$\text{شاخص ارزش پل خاکی- فولادی} = 1/87$$

### ۳- نتیجه گیری

درصد کاهش هزینه	میزان صرفه جویی (میلیون ریال)	قیمت طرح پیشنهادی (میلیون ریال)	قیمت طرح مبنا (میلیون ریال)
٪۱۰	۶۰	۵۷۰	۶۳۰
درصد افزایش ارزش	میزان افزایش ارزش	شاخص ارزش طرح پیشنهادی	شاخص ارزش طرح مبنا
٪۳۰	۰/۴۵	۱/۸۷	۱/۴۲

جمع بندی:

- همان گونه که اشاره کردیم هزینه های اجرای پروژه های عمرانی بسیار زیاد است که با انجام فرآیند مهندسی ارزش، علاوه بر کاهش هزینه ها، ارزش کل نیز بهبود می یابد. در پروژه مهندسی ارزش احداث پل، میزان صرفه جویی گزینه پیشنهادی، ۶۰ میلیون ریال و میزان افزایش ارزش آن، ۰/۴۵ می باشد. به عبارت دیگر هزینه ها ۱۰٪ کاهش و ارزش ۳۰٪ افزایش یافته است. اما نکته قابل توجه این است که در مهندسی ارزش، ایده ای برای تغییر کل سیستم در نظر گرفته نشده است در نتیجه اگر در فاز خلاقیت سیستم جدیدی پیشنهاد شود، با محاسبه ارزش به روش اول، فقط بهبودکارکردهای پل قابل مشاهده است در حالی که با استفاده از روش دوم می توان میزان بهبود ارزش کل سیستم را مشاهده کرد.

منابع:

- ۱- جبل عاملی، محمد سعید، میرمحمد صادقی، علیرضا، "تحلیل عملکرد در فرآیند اجرایی مهندسی ارزش"، مجموعه مقالات نخستین سمینار ملی مهندسی ارزش، دی ۱۳۸۰.
- ۲- بیات، حبیب الله، نژاد حسینیان، سید عبدالمجید، "مهندسی ارزش در پروژه های عمرانی و جدول فرآیند عملیات ساختمانی"، مجموعه مقالات نخستین سمینار ملی مهندسی ارزش، دی ۱۳۸۰.
- ۳- شایان فرد، مزدک، "مطالعه موردی مهندسی ارزش پروژه قطار شهری"، مجموعه مقالات دومین کنفرانس مهندسی ارزش، آذر ۱۳۸۴.
- ۴- آراستی، محمد رضا، ذوالقدر، حسین، "تجزیه و تحلیل فرآیند مهندسی ارزش: ارائه یک چهارچوب نظری"، مجموعه مقالات نخستین سمینار ملی مهندسی ارزش، دی ۱۳۸۰.