

امکان سنجی پتانسیل‌های مهندسی ارزش در راه‌سازی بر اساس مدل‌سازی هزینه‌های احداث

بهنام امینی

عضو هیات علمی دانشگاه بین‌المللی امام خمینی

Bamini@ikiu.ac.ir

چکیده

مهندسی ارزش به عنوان روشی برای بازنگری خلاقانه و سازمان‌یافته ارزش‌ها و هزینه‌ها به منظور پیشینه‌کردن شاخص‌های ارزش در راه‌سازی، کاربردهای فراوانی دارد. هزینه‌های چشم‌گیر و اقلام متعدد هزینه در پروژه‌های راه‌سازی بستر مناسبی برای اعمال مهندسی ارزش فراهم می‌سازد. در این مقاله نتایج یک کار تحقیقی با هدف امکان‌سنجی پتانسیل‌های مهندسی ارزش در راه‌سازی ارائه می‌شود. روش کار این تحقیق مبتنی بر توسعه‌ی مدل هزینه احداث و تحلیل متغیرهای آن است. برای این منظور در ابتدا ۲۴ پروژه‌ی راه‌سازی در شرایط مختلف توپوگرافی و اقلیمی از میان ۴۵۰ پروژه با اتکا بر روش‌های آماری انتخاب شدند. در مرحله‌ی بعد برای هر یک از این پروژه‌ها ریزه‌زینه‌های احداث بدنه راه بادقتی در حد سرفصل‌های فهرست بهای راه‌سازی و همچنین ریزه‌زینه‌های مدیریتی و سرمایه‌ای و تملک جمع‌آوری شد. نهایتاً سعی شد براساس پایگاه اطلاعاتی فراهم‌شده تابع هزینه احداث بدست آید. با توجه به اطلاعات موجود فرم خطی بهترین نتیجه برازش رگرسیون را بدست داد. با تجزیه و تحلیل هر یک از متغیرها و آنالیز همبستگی آنها سرفصل‌های با بالاترین اولویت مهندسی ارزش مشخص شد. همچنین امکان مقایسه‌ی نسبی هر یک از متغیرها با سایر کشورها فراهم شد.

کلمات کلیدی: راه‌سازی - مهندسی ارزش - هزینه‌ی احداث

۱- مقدمه

گرچه مهندسی ارزش از حدود پنجاه سال پیش در کشورهای پیشرفته برای تحلیل عملکرد یک محصول یا خدمت و ارائه یک گزینه قابل قبول با کمترین هزینه مطرح و در پروژه‌های مختلف بکار گرفته شده، ولی در کشور ما فقط در سالهای اخیر به اهمیت موضوع پرداخته شده و گامهای نخستین برای کاربرد آن برداشته شده است. مع‌الوصف هنوز فاصله زیادی تا نهادینه شدن اصول مهندسی ارزش وجود دارد.

یکی از زیرساخت‌های اساسی کشور شبکه راه‌های مواصلاتی است که می‌توان به حق آن را شریان حیاتی کشور و زیربنای توسعه قلمداد کرد. رشد فزاینده اقتصادی- اجتماعی کشور توسعه شبکه راه‌ها را الزامی ساخته است و این در حالی است که احداث راه‌ها با کمبود شدید منابع مواجه است. در سالهای اخیر علیرغم افزایش حجم اعتبارات و بودجه راهسازی کشور میزان احداث راه روند نزولی داشته است. حجم عظیم منابع مالی و انسانی که در امر راهسازی بکار گرفته می‌شود پتانسیل چشمگیری برای بکارگیری اصول مهندسی ارزش در راهسازی را فراهم می‌سازد.

۲- طرح مسئله و هدف تحقیق

علیرغم سوابق طولانی راهسازی در کشور تاکنون مطالعه جامعی در رابطه با هزینه‌های احداث راه در کشور صورت نگرفته است. دلایل زیادی در این امر دخیل هستند که از جمله آنها می‌توان به طیف گسترده عوامل مؤثر در هزینه احداث، فقدان و یا عدم دسترسی به اطلاعات دقیق هزینه اشاره نمود.

هدف از این کار پژوهشی امکان‌سنجی پتانسیل‌های مهندسی ارزش در فن راهسازی از طریق تجزیه و تحلیل هزینه‌های احداث راه‌ها بوده است. برای این منظور کسب اطلاعات هزینه یک نمونه معرف از راه‌های کشور و سپس مدلسازی هزینه احداث واحد طول برحسب عوامل مؤثر مورد توجه قرار گرفت. نتایج این بررسی‌ها و مقایسه تراز هزینه پروژه‌های مختلف می‌تواند پتانسیل‌های کاهش هزینه از طریق بکارگیری روشهای مختلف مهندسی ارزش را نشان دهد.

۳- طرح نمونه‌گیری راه‌های کشور

شبکه راه‌های برونشهری کشور شامل بیش از ۱۸۰,۰۰۰ کیلومتر از انواع راه‌های اصلی، فرعی و روستایی است که به روش‌های مختلفی برنامه‌ریزی، طراحی و احداث می‌شوند. با توجه به شرایط کاملاً متفاوت رده‌بندی راه‌ها در این مطالعه فقط راه‌های اصلی کشور که جمعاً حدود ۲۲۰۰۰ کیلومتر است به عنوان جامعه آماری در نظر گرفته شد. ولی چون بخش قابل توجهی از این راه‌ها در سالهای دور احداث شده‌اند که مشخصات و شرایط کاملاً متفاوتی داشته یک چارچوب آماری شامل کلیه راه‌های اصلی احداث شده در ۳۰ سال اخیر در نظر گرفته شد که شامل حدود ۸۰۰۰ کیلومتر راه است.

برای آنکه نمونه راه‌های مطالعاتی معرف جامعه باشد دو عامل تعیین کننده هزینه یعنی توپوگرافی و موقعیت جغرافیایی به عنوان معیار در نظر گرفته شد. مطابق آئین‌نامه طرح هندسی راه‌های ایران راه‌ها براساس شرایط توپوگرافی محل به سه رده کوهستانی، تپه ماهوری و دشتی طبقه‌بندی می‌شوند. همچنین براساس ضوابط وزارت راه و ترابری ۵ حوزه جغرافیایی شامل مرکز و شمال، غرب و مرکز، شمال‌غرب، جنوب و جنوب شرق برای راه‌های کشور در نظر گرفته شده است.

در این کار تحقیقاتی سه روش نمونه‌گیری خوشه‌ای، طبقه‌بندی و تصادفی ساده ابتدائاً در نظر گرفته شد و با یک نمونه آزمایشی ۵۰۰ کیلومتری میزان واریانس برآورد میانگین هر یک بدست آمد. مقایسه مقادیر واریانس این سه روش حاکی از دقت بیشتر روش طبقه‌بندی بود که در آن راه‌های هر حوزه جغرافیایی به عنوان یک طبقه در نظر گرفته شد. با انتخاب این روش نمونه‌گیری برآورد حجم نمونه اصلی از رابطه زیر امکان پذیر شد:



$$e \leq z_{1-\frac{\alpha}{2}} \frac{\sigma(\bar{y}_{st})}{\sqrt{n}} \Rightarrow n \geq \frac{1.96^2 \times \sigma^2(\bar{y}_{st})}{e^2}$$

که در آن $\sigma^2(\bar{y}_{st})$ برآوردگر واریانس میانگین جامعه، e حداکثر خطای برآورد و Z احتمال توزیع نرمال استاندارد و $(1-\alpha)$ ضریب اطمینان است.

با استفاده از این رابطه حداقل حجم نمونه لازم برای اینکه با اطمینان بیش از ۹۵٪ خطای برآورد حداکثر ۱۵٪ باشد معادل ۲۴ پروژه است که براساس روش متناسب با حجم هر یک از طبقات و به روش تصادفی از بین راه‌های موجود در هر حوزه جغرافیایی بدست آمده‌اند.

۴- جمع‌آوری و پردازش اطلاعات هزینه راه‌های نمونه

براساس مستندات و صورت وضعیت‌های قطعی پروژه‌های نمونه اطلاعات جامعی راجع به پروژه‌های مختلف راهسازی گردآوری شد. مهم‌ترین اقسام اطلاعاتی عبارتند از:

- ۱- مشخصات عمومی پروژه از قبیل مبدأ- مقصد، سال شروع و اتمام ساخت، برآورد اولیه هزینه، مشاور و پیمانکار طرح.
 - ۲- مشخصات هزینه پروژه از قبیل هزینه‌های مهندسی شامل طراحی، نظارت و آزمایشگاه، هزینه‌های تملیک، هزینه‌های ساخت به تفکیک ۲۱ سرفصل فهرست بها و سایر هزینه‌ها از قبیل تجهیز کارگاه، بالاسری و سرمایه‌ای.
- اطلاعات فوق طی یک روند طولانی و پر زحمت استخراج و در فایل‌های کامپیوتری ذخیره گردید. در مرحله بعد پردازش اطلاعات صورت گرفت که شامل تصحیح و تقویم هزینه‌ها بود. از آنجا که صرف هزینه‌ها در مقاطع زمانی مختلف صورت گرفته بود باید کلیه هزینه‌ها به یک سال پایه یکسان تقویم می‌شد لذا با استفاده از ضرایب تعدیل پروژه‌ها کلیه هزینه‌ها به سال پایه ۸۲ تبدیل گردید تا بنحو مطلوب‌تری قابل قیاس باشند.

۵- تجزیه و تحلیل اطلاعات و مدلسازی تابع هزینه احداث

اطلاعات هزینه پروژه‌های مطالعاتی به روش‌های آماری تجزیه و تحلیل شد و نمودارهای توزیع فراوانی هیستوگرام و تغییرات زمانی و همچنین جداول مشخصات آماری هر یک از اقسام بدست آمد. در شکل ۱ نمونه‌ای از این نمودارها و جداول ارائه شده است. نمودارها نشان می‌دهد که تغییرات چشمگیری در هزینه کل و حجم عملیات اقسام پروژه‌های مختلف وجود دارد که خود بیانگر پتانسیل صرفه‌جویی و کاهش است.

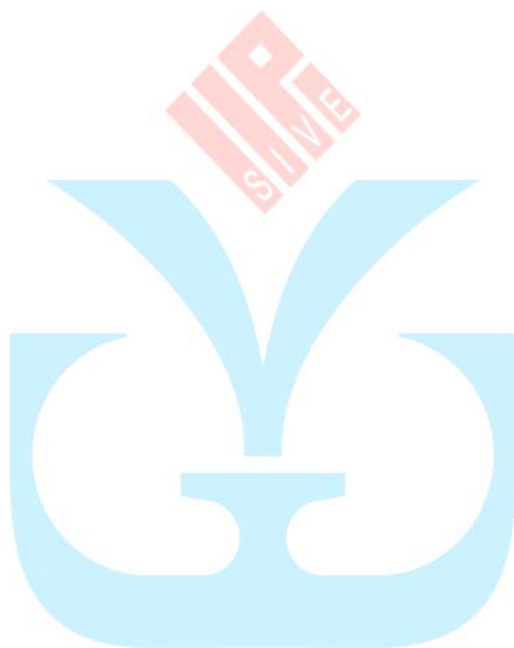
در شکل ۲ نمودار مقایسه‌ای میانگین هزینه‌های ریز صرف شده در هر یک از سرفصل‌های فهرست بها ملاحظه می‌شود. مطابق این شکل بالاترین سهم‌ها به ترتیب مربوط به عملیات خاکی با ماشین عملیات بنائی با سنگ، بتن‌ریزی درجا، اساس و زیراساس و آسفالت است. همچنین در شکل ۳ نمودار مقایسه‌ای میانگین هزینه‌های درشت پروژه‌ها شامل تملیک، مهندسی، ساخت، مدیریتی و ... ارائه شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود بالاترین درصدها به ترتیب مربوط به تعدیل و ساخت و مدیریتی و مهندسی است.

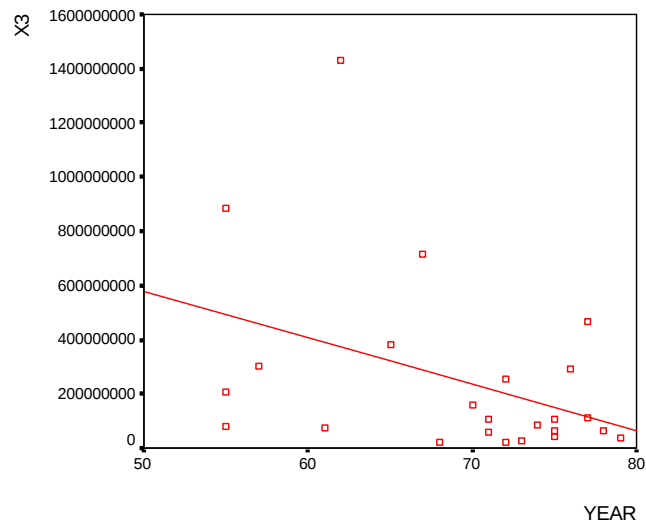
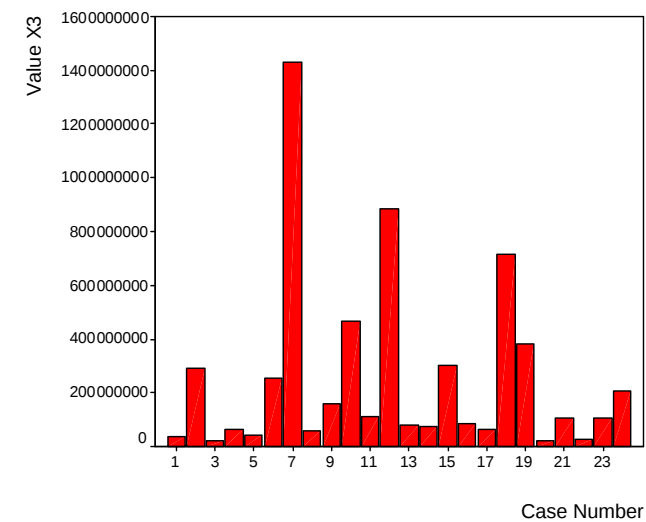
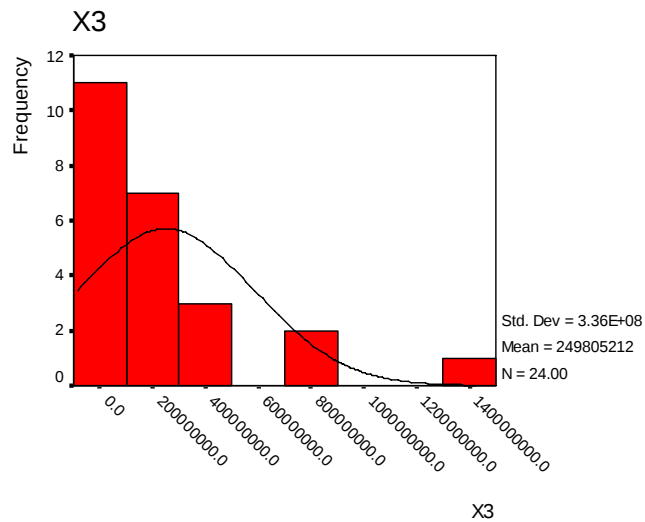
به منظور شناسایی میزان تأثیرگذاری عوامل مؤثر در هزینه و براساس سنجش همبستگی میان متغیرها اقدام به مدلسازی هزینه‌ها شد. در این راستا متغیرهای زیر به عنوان عوامل تأثیرگذار مستقل در نظر گرفته شد:

- متغیرهای زمانی شامل کل زمان احداث ZTT، تأثیر در اتمام پروژه ZDT و نسبت تأخیر به مدت زمان اولیه ZDS
- متغیرهای طول پروژه شامل طول قطعه پیمان ZLE و میانگین احداث طول راه در مدت یکسال ZLT که شاخصی از سرعت راهسازی است.



- متغیرهای هزینه طراحی ZDC، نظارت ZSC و اجرا ZMC
- متغیرهای مجازی (۰ و ۱) برای سنجش تأثیر عوامل محیطی از قبیل وقوع جنگ ZDV و مسائل اجتماعی و سیاسی ZDR و انجام کار توسط پیمانکار دولتی یا غیردولتی ZDP



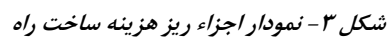
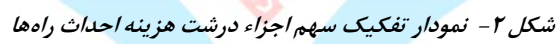


Statistics

X3		
N	Valid	24
	Missing	0
Std. Deviation		33572072
Variance		6.399
		11270840
		61336018
		00.000
Skewness		2.412
Std. Error of Skewness		.472
Minimum		20640088
Maximum		14314786
		12

شکل ۱- نمونه نمودارهای ستونی تابع توزیع فراوانی و جدول مشخصات آنها





- متغیرهای توپوگرافی شامل درصد طولی از راه که در نواحی کوهستانی X_M ، تپه ماهوری X_R و هموار X_L قرار دارند. با توجه به این عوامل یک رابطه خطی از طریق تحلیل رگرسیون Backward به صورت زیر بدست آمد:

$$YTC = 1.9310^{10} + 8.4310^8 ZDT - 7.6310^9 ZDS - 2.7310^{10} ZDC - 2.8310^{10} ZMC \\ t=3.3 \quad t=2.7 \quad t=-2.4 \quad t=-2.1 \quad t=-3.2 \\ -2.5310^8 ZLT - 1.9310^9 ZDR - 1.0310^8 X_R - 9.4310^6 X_L \\ t=-2.0 \quad t=-1.9 \quad t=-1.9 \quad t=-2.2 \quad (R=0.86)$$

همان‌گونه که در تابع هزینه فوق ملاحظه می‌شود به استثناء متغیر تأخیر در احداث ZDT سایر متغیرها رابطه منفی با هزینه کل احداث دارند به عبارت دیگر با افزایش آنها هزینه کل کاهش می‌یابد. برعکس متغیر تأخیر در اتمام پروژه به هزینه‌ها می‌افزاید. متغیر ZDS نسبت تأخیر به مدت زمان احداث پیش‌بینی شده بیانگر دقت عملکرد پیش‌بینی اجرا توسط مهندس مشاور طراح و دستگاه نظارت و کارفرما است و هر چه این دقت بالاتر باشد هزینه کل کاهش خواهد یافت. متغیرهای ZMC و ZDC به ترتیب نسبت هزینه نظارت و مدیریت اجرا به کل هزینه احداث هستند نیز رابطه مشابهی دارند و با افزایش آنها هزینه کل کاهش خواهد یافت.

ZLT که بیانگر سرعت راهسازی است با هزینه کل نسبت معکوس دارد. به عبارت دیگر با افزایش سرعت احداث هزینه کل کاهش می‌یابد.

دو متغیر X_R و X_L که به ترتیب درصد طول راه در دشت و تپه ماهور است نیز رابطه منفی با هزینه کل احداث دارند ولی مقایسه ضرایب آنها نشان می‌دهد که درصد تپه ماهور تأثیر کاهنده به مراتب بیشتری دارد.

با حذف نقاط اطلاعاتی غیرعادی (پرت) تخمین به مراتب بهتری از میانگین هزینه‌ها بدست می‌آید که موسوم به میانگین بریده است. شناسایی اطلاعات پرت با استفاده از تحلیل آماری جعبه‌ای (Box Analysis) صورت گرفت. درصد کاهش میانگین هزینه با حذف نقاط پرت می‌تواند شاخص خوبی از پتانسیل کاهش هزینه‌ها باشد. بر این اساس پتانسیل کاهش اقلام درشت هزینه به شرح جدول زیر بدست آمد:

جدول ۱- درصد کاهش میانگین هزینه‌های درشت احداث راه با حذف نقاط پرت

ردیف	اقلام درشت هزینه	درصد کاهش میانگین	درصد کاهش هزینه احداث
۱	مهندسی	۱۸	۲/۳
۲	تملیک	۲۲	۰/۲
۳	تعدیل تأخیر	۱۴	۵/۶
۴	ساخت	۱۴	۴/۳
۵	مدیریت	۱۷	۲/۵۵

۶- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این کار پژوهشی براساس تحلیل اجزاء مختلف هزینه‌های احداث راه تلاش گردید مؤثرترین عوامل کاهش هزینه شناسایی شود و پتانسیل بکارگیری روشهای مهندسی ارزش مشخص گردد. تحلیل آماری هزینه‌ها نشان داد که بالاترین پتانسیل‌های کاهش هزینه در عملیات خاکی با ماشین است. همچنین با کاهش مدت اجرای پروژه‌ها می‌توان به مقدار چشمگیری از هزینه‌ها کاست. در مورد سایر اقلام هزینه نیز می‌توان با بکارگیری روشهای مهندسی ارزش از هزینه کل احداث کاست.

تشکر و قدردانی



بدینوسیله مؤلف از پژوهشکده حمل و نقل وزارت راه و ترابری و سایر ادارات و مهندسان مشاور و پیمانکاران راهسازی که در تحقق این پروژه تحقیقاتی سهیم بوده‌اند تشکر و قدردانی می‌نماید.

منابع

- ۱- امینی، بهنام. «کاربردهای مهندسی ارزش در مهندسی ترابری»، مجموعه مقالات نخستین سمینار مهندسی ارزش. تهران. ۱۳۸۰.
- ۲- امینی، بهنام. «مبانی مهندسی ترابری». انتشارات دانش پژوهان. ۱۳۸۴
- ۳- آئین‌نامه طرح هندسی راه‌های کشور، نشریه شماره ۱۶۱، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی
- ۴- دستورالعمل ارجاع کار و انعقاد قرارداد با واحدهای خدمات مهندسی ارزش، نشریه شماره ۳۲۹۱۸، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور
- 5- Vale Engineering on Federal – Aid Projects ,FHWA, 1993.
- 6- Miller R.W. Value Engineering in Preliminary Design . Proceedings of the AASHTO VE Conference Washington D.C. 1993

