

ارایه مدل تابع هزینه تعمیر و نگهداری آزادراه‌های ایران

هادی گنجی زهرایی*، مربی، پژوهشگرده مالی و اقتصاد راه، مسکن و شهرسازی، تهران، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: Ganjihadi@gmail.com

دریافت: ۹۶/۰۴/۰۸ - پذیرش: ۹۶/۰۹/۱۸

صفحه ۷۵-۸۰

چکیده

برآورد هزینه‌های تعمیر و نگهداری آزادراه‌ها به منظور انجام برنامه‌ریزی هر چه دقیق‌تر برای تخصیص بودجه و سایر اقدامات همواره، مطرح است. در این خصوص، معمولاً از روش‌های سنتی یا بهره‌گیری از ضرایب بین‌المللی استفاده می‌شود. در این مقاله با استفاده از روش رگرسیون، مدلی برای تابع کل هزینه تعمیر و نگهداری آزادراه‌های ایران ارایه شده است. نتایج حاکی از آن است که مدل غیرخطی بوده و شامل متغیرهای توصیفی سن راه و میزان بار استاندارد محور بر مسیر است. همانطور که انتظار می‌رود سن تاثیر منفی با ضریب ۰/۳۳ بر مجموع هزینه تعمیر و نگهداری در کل دوران بهره‌برداری و برعکس، بار استاندارد محور دارای تاثیر مثبت با ضریب ۱/۲ داشته است. با استفاده از این تابع، مدل هزینه نهایی آزادراه‌ها نیز برآورد شده است. بر اساس این مدل، هزینه نهایی آزادراه اردکان-مهریز که در برنامه ساخت قرارداد برای دوره بهره‌برداری ۳۰ ساله برابر ۰/۱۱ ریال خواهد بود. با توجه به این مدل با توجه به سن راه می‌توان حساسیت هزینه را نسبت به بار اضافی برآورد کرد.

واژه‌های کلیدی: تعمیر و نگهداری، تابع هزینه، هزینه نهایی

۱- مقدمه

را از نظر مالی تحت تاثیر قرار می‌دهد. به استفاده‌کنندگان با توجه به کیفیت پایین خسارت وارد می‌شود. برای سرمایه‌گذاران نیز در صورت داشتن قراردادهای با شرایط پرداخت بر اساس کیفیت، می‌تواند نقصان در پرداخت را در پی داشته باشد. از طرف دیگر، در قراردادهای با شرایط انتقال دارایی به دولت، موضوع کیفیت بسیار حائز اهمیت است. چرا که در این صورت اصل سرمایه مورد تحدید بوده یا هزینه بالایی برای بهره‌برداری بر اساس استانداردهای بهره‌برداری موجب می‌شود Anastasopoulos

تعمیر و نگهداری از سرفصل‌های مطرح در ارزیابی مالی برای سرمایه‌گذاری در پروژه‌ها است. این موضوع از آن جهت دارای اهمیت است که به واقعی شدن پیشنهاد قیمتی و جذب بخش خصوصی جهت مشارکت کمک می‌کند. دقت در برآورد صحیح، عاملی برای واقعی شدن جریان نقدی، به‌ویژه در زمان بهره‌برداری است که، نتیجه آن قیمت‌گذاری واقعی‌تر برای استفاده از زیرساخت است. در کنار آن، تعمیر و نگهداری در ارایه خدمات تاثیر مستقیم دارد. این موضوع هر دو بهره‌برداران و سرمایه‌گذار

(2004). بهره‌برداری از مسیر تابع استانداردهایی است که، برای دستیابی به آن لازم است تا اقداماتی چون: اقدامات زمستانی، نصب و نگهداری تجهیزات هوشمند، تابلوها، گاردریل، خط‌کشی، ترددشمار، اقدامات ایمنی و در کنار آن تعمیر و نگهداری رویه آسفالتی انجام پذیرد. تعمیر و نگهداری زمانی لازم است که مسیر استانداردهای تعریف شده اولیه را نداشته باشد. استانداردهای بهره‌برداری نیز معمولاً بوسیله شاخص ترک‌خوردگی مشخص می‌شوند. این ترک‌ها بر اساس سه نوع ترک طولی، عرضی و سطحی است (Hajek, 1993). به طور کلی دو نوع تعمیر و نگهداری دوره‌ای و بازسازی اساسی از جمله مواردی است که همواره منظور می‌شود. البته در این بین برخی تعمیر و رسازی موردی در دوره‌ای خاص نیز مطرح می‌باشد. در اکثر مطالعات، هزینه رسازی بر کل هزینه‌ها چیره بوده و معمولاً سایر هزینه‌ها نادیده گرفته می‌شوند (Anani, 2010). حال آن‌که این موضوع در کل نمی‌تواند در راستای برآورد صحیح هزینه تعمیر و نگهداری کمک حال باشد.

بعد اقتصادی تعمیر و نگهداری شامل طراحی فرایندی برای پیش بینی میزان هزینه و زمان لازم برای آن است. این موضوع از دیدگاه برنامه‌ریزی برای اختصاص بودجه لازم از اهمیت بالایی برخوردار است. در راستای دستیابی به این هدف با توجه به دخیل بودن عوامل مختلف و یکسان نبودن سهم این عوامل، روش‌های گوناگونی به کار برده می‌شود. در بررسی مطالعات مشخص می‌گردد که، هزینه تعمیر و نگهداری بخشی از هزینه کل منظور شده و بیشتر از دید سازندگان بررسی و دیدگاه دولتی برای نگهداری منظور نمی‌شود. بخش دیگری از مطالعات به تشخیص هزینه ثابت و متغیر، و رتبه‌بندی آن‌ها بر اساس به کارگیری روش‌های تجربی، مهندسی و قضاوت کارشناسی می‌پردازد (Link, 2003). از نمونه‌های مورد استفاده در این زمینه روش، قانون نیروی چهارم AASHTO است. این روش با استفاده از تجربه مهندسان به ارتباط بین میزان آسیب و وزن بار محوری می‌پردازد، با فرض این‌که هزینه بازسازی نسبتی از آسیب به راه است، شاخصی برای تابع هزینه است (Ahmed, 2003).

روش مهندسی و رگرسیونی دو روش عمده برای بررسی تابع هزینه تعمیر و نگهداری است. در عمل برتری مطلقی برای هیچ‌یک وجود ندارد. داده‌ها و کیفیت آن‌ها معیاری تعیین‌کننده در شیوه

به کارگیری است. در روش رگرسیونی، تابع هزینه بر مبنای مشاهده هزینه‌های روی داده برای تعمیر و نگهداری، ملاک عمل قرار می‌گیرد، حال آن‌که این مقادیر، لزوماً پوشش دهنده هزینه مورد نیاز تعمیر و نگهداری نیست. این شرایط اقتصادی و سایر متغیرهای اجتماعی است که مقدار بودجه اختصاص یافته تعمیر و نگهداری را تعیین می‌کند. از طرف دیگر در روش مهندسی، این هزینه بر اساس میزان مصرف از زیرساخت مشخص می‌شود. حال آن‌که این مقدار نیز لزوماً، تضمینی برای هزینه‌کرد، نیست (Berndt, 2015).

در این مقاله با استفاده از روش رگرسیونی به ارایه و برآورد تابع هزینه کل و نهایی تعمیر و نگهداری آزادراه‌ها پرداخته شده است. برای این منظور ابتدا مدل‌های مختلف تابع هزینه تعمیر و نگهداری ارایه شده است. در بخش بعد، به تبیین مدل برای آزادراه‌های ایران پرداخته شده است. سپس بر اساس آمار و اطلاعات آزادراه‌های ایران تابع هزینه کل و هزینه نهایی برآورد و در نهایت نتیجه‌گیری ارایه شده است.

۲- تابع هزینه تعمیر و نگهداری

مدل‌های رگرسیونی، هزینه تعمیر و نگهداری را عمدتاً تابعی لگاریتمی از ترافیک در نظر می‌گیرند (Berndt, 2015).

$$\begin{aligned} \ln C_i &= c + \beta \ln u_i \\ &+ \sum_{j=1}^k \gamma_j x_{ij} + \varepsilon_i \end{aligned} \quad (1)$$

که در آن u متغیر ترافیک که می‌تواند متغیرهایی همچون: طبقه‌بندی خودروها، مسافت پیمود شده، تن-کیلومتر و بار هر محور، نسبت خودروهای سواری به باری و تعداد خودروها می‌تواند باشد. البته از نظر آماری نیز باید موضوع هم‌خطی در هنگام استفاده از انواع متغیرهایی نظیر میانگین سالانه نسبت خودروهای باری و مسافری یا تعداد ماشین‌ها را مورد نظر داشت. C متغیر هزینه (بهره‌برداری تعمیر و نگهداری، هزینه تعمیر و نگهداری ساخت، هزینه بهبود و بازسازی) برای مناطق مختلف i است. X نیز سایر متغیرهای توصیفی از قبیل قیمت،

برد (Puterman, 2015) در قسمت بعد به تبیین مدل تابع هزینه تعمیر و نگهداری برای آزادراه‌های ایران پرداخته شده است.

۳- تبیین مدل

هزینه تعمیر و نگهداری آزادراه‌ها تابعی از میزان بار وارده بر سطح روسازی است. برای این منظور لازم است تا، کل وزن وارده بر روسازی برای تمامی زمان‌های مورد استفاده محاسبه شود.

$$ESAL_{Annual} = AADT * T_f * D_f * F_F * E_{18} \times 365 \quad (4)$$

$$G = \frac{[(1 + g)^n - 1]}{g} \quad (5)$$

$$ESAL = ESAL_{Annual} \times G \quad (6)$$

که در آن AADT ترافیک روزانه، T_f عامل جهت، F_F تعداد خطوط در هر جهت، E_{18} ضریب هم‌سنگی (مورد استفاده برای راه روستایی، راه دو طرفه، آزادراه یا بزرگراه)، g نرخ رشد ترافیک روزانه است و ESAL نیز مجموع بار وارده بر سطح در طول دوران بهره‌برداری است (Dalla Valle, 2017). جز دیگر، برآورد هزینه به روز شده هزینه انواع تعمیر و نگهداری‌ها است. به طور نمونه اگر در نظر گرفته شود که در هر ۲۰ سال نیاز به روکش مجدد، هر ۱۰ سال روکش ضخیم، هر ۲ سال برای رفع ترک‌های سطحی است، این هزینه‌ها در ابتدا برآورد و به ارزش حال تبدیل می‌شوند.

$$PW(PC) = \sum_{i=1}^{m1} \frac{Cost_i^{RM}}{(1+r)^{t-Rehab}} + \sum_{i=1}^{m2} \frac{Cost_i^{PM}}{(1+r)^{t-PM}} + \sum_{i=1}^{m3} \frac{Cost_i^{RM}}{(1+r)^{t-RM}} \quad (7)$$

سن راه، شرایط جوی، تاریخچه (زمان و نوع تعمیر و نگهداری) است. وجود داده‌های باکیفیت تنها عامل محدود کننده برای متغیرهای مستقل در مدل است. برای برآورد پارامترها می‌توان از هر نوع داده، بسته به نیاز و هدف به صورت برش زمانی، تابلویی یا سری زمانی نیز استفاده کرد (Link, 2010).

در رویکرد مهندسی، پایه اصلی برای برآورد زمانی لازم برای فاصله روکش مجدد، بار استاندارد محوری است که، بر اساس ترافیک بر مسیر وارده محاسبه می‌شود. مطالعات تجربی بیان می‌دارد که مقدار بار استاندارد تابعی از حجم ترافیک عبوری است. بر این اساس و با استفاده از شاخص ترک‌خوردگی دوره زمان مورد نیاز برای روکش مجدد برآورد می‌شود. معادله ۲ نمونه‌ای از این توانع را نشان می‌دهد.

$$T = \left[\frac{\Theta(Q)}{Q} \right] e^{-mt} \quad (2)$$

که در آن T طول عمر روسازی، Θ تعداد محورهای استاندارد که بر اساس طراحی برای روسازی در نظر گرفته شده است، Q ترافیک سالیانه بر اساس محور استاندارد و m شرایط آب‌وهوا است. برای ساده سازی در اکثر موارد این دست از تغییرات نادیده گرفته می‌شود (Ahmed, 2015). با گرفتن مشتق نسبت به حجم ترافیک عبوری، کشش خرابی بدست می‌آید. هزینه نهایی که عبارت است از کوتاه شدن دوره خرابی بر اثر بار بیشتر ناشی از حجم ترافیک از مشتق ارزش حال سالیانه راه نسبت به حجم ترافیک سالیانه بدست می‌آید (ASSHTO, 1993).

$$\varepsilon = \frac{dT}{dQ} \frac{Q}{T} \quad (3)$$

در این بین مدل‌هایی نیز وجود دارد که، مستقیم هزینه را مورد بررسی قرار نمی‌دهد بلکه با استفاده از توابع پیش‌بینی نوع خرابی راه و هزینه واحد هر خرابی به برآورد هزینه تعمیر و نگهداری می‌پردازد. این مدل‌ها شامل مدل‌های تجربی تا احتمالاتی نظیر مارکوف، نیمه مارکوف و بی‌زین است. روش‌های دیگری نظیر شبکه عصبی یا پویایی سیستم را نیز می‌توان برای پیش‌بینی به‌کار

زمان بهره‌برداری t از پروژه بدست می‌آید (Dalla Vall, 2016).

مرحله نهایی تدوین مدل نهایی است که ارتباط بین میزان بار و هزینه تعمیر و نگهداری در کل زمان بهره‌برداری است.

$$EUAC = f(ESAL, x_i) \quad (9)$$

برای نمونه تعدادی از مدل‌هایی که در مطالعات گوناگون به‌کار برده شده در روابط ۱۰-۱۴ بدان اشاره شده است.

$$EUAC = \beta_0 + \beta_1 \times \ln(ESAL) + \beta_2 \times Ptype + \beta_3 \times Age + \varepsilon \quad (10)$$

$$EUAC = \beta_0 + \beta_1 \times (ESAL)^{1/2} + \beta_2 \times Ptype + \beta_3 \times Age + \varepsilon \quad (2)$$

$$EUAC = \beta_0 + \beta_1 \times (ESAL)^{\beta_2} + \beta_3 \times Ptype + \beta_4 \times Age + \varepsilon \quad (3)$$

$$EUAC = \beta_0 + \beta_1 (\ln(ESAL))^{1/2} + \varepsilon \quad (40)$$

$$EUAC = \beta_0 \ln(ESAL)^{\beta_1} (Age)^{\beta_2} \varepsilon \quad (5)$$

استانداردهای بین‌المللی، ۲ تا ۶ درصد هزینه به‌روز شده احداث برای تعمیر و نگهداری سالیانه اختصاص می‌یابد. به منظور بررسی و مقایسه عملکردی در ایران ۱۰ آزادراه مورد بهره‌برداری مورد بررسی قرار گرفته است. مجموع این ده آزاد راه طولی برابر با ۱۰۳۳ کیلومتر و هزینه‌ای بالغ بر ۵۸۹۰۰ میلیارد ریال برای احداث آن در سال ۹۱ هزینه شده است. مجموع درآمد این آزادراه‌ها ۱۳۴۳ میلیارد بوده که در کل ۴ درصد از هزینه احداث برای تعمیر و نگهداری آن هزینه شده است. در مجموع به طور میانگین ۹ درصد از هزینه‌ای که باید بر اساس استانداردهای جهانی برای

هزینه بروز شده بر اساس نرخ تنزیل r و برای تمامی انواع هزینه‌های تعمیر و نگهداری محاسبه می‌شود. این هزینه‌ها در طول دوران بهره‌برداری از آزادراه هر یک می‌تواند m بار تکرار شود. ثابت می‌شود.

$$EUAC_t = \frac{Pw(PC)}{A_{t,r}} \quad (8)$$

$$A_{t,r} = \frac{1 - \frac{1}{(1+r)^t}}{r}$$

این مقدار از طریق حاصل تقسیم ارزش حال مربوط به تعمیر و نگهداری بر ارزش حال عامل سالیانه $A_{t,r}$ برای طول

در این مدل‌ها نوع روسازی مورد استفاده در مسیر $Ptype$ ، و سن راه Age نیز در مدل وارد شده است.

۴- تابع تعمیر و نگهداری در آزادراه‌های ایران

به منظور برآورد مدل تابع هزینه‌ی تعمیر و نگهداری آزادراه‌های ایران بر پایه بار استاندارد محور وارده در کل زمان بهره‌برداری، ۱۰ آزادراه در حال بهره‌برداری انتخاب شده است. هزینه تعمیر و نگهداری در آزادراه‌های ایران طبق قانون مشارکت، ۱۵ درصد درآمد آزادراه است. در کنار این موضوع بر اساس

تعمیرونگهداری این آزادراه‌ها صرف می‌شده، اختصاص یافته است.

جدول ۱. اطلاعات آزادراه‌های مورد بررسی در ایران

نام آزادراه	طول محور	هزینه احداث به روز شده (میلیارد ریال)	درآمد در سال ۱۳۹۱	نسبت هزینه راهداری به هزینه احداث به روز شده (درصد)	نسبت هزینه راهداری در ایران نسبت به استانداردهای جهانی
تهران-ساوه	۱۱۳	۳۳۴۰۰	۱۵۰	۰/۷٪	٪۱۷
قم-کاشان	۱۰۴	۲۸۰۰	۹۱	۰/۵٪	٪۱۲
مشهد-بانچه	۳۹	۱۶۰۰	۶۰	۰/۶٪	٪۱۴
ساوه-سلفچگان	۶۵	۲۸۰۰	۱۰۵	۰/۶٪	٪۱۴
زنجان-تبریز	۲۸۸	۱۱۷۰۰	۱۴۰	۰/۲٪	٪۲
اهواز-بندر امام	۹۰	۶۴۰۰	۱۶۰	۰/۴٪	٪۹
کنارگذر غرب اصفهان	۸۰	۳۰۰۰	۳۰	۰/۲٪	٪۴
قزوین-رشت	۱۲۷	۸۲۰۰	۱۸۱	۰/۳٪	٪۸
خرم‌آباد-پل زال	۱۰۴	۱۵۰۰۰	۲۴۰	۰/۲٪	٪۶
تهران-پردیس	۲۳	۴۰۰۰	۱۸۶	۰/۷٪	٪۱۷

اطلاعات مربوط به این آزادراه‌ها در

روش کمترین خطا برآورد شده است. نتایج مدل انتخابی بر اساس نیکویی برازش مدل در جدول ارائه شده است.

جدول ۱ ارائه شده است (www.rmto.ir). بر اساس آمار بدست آمده از آزادراه‌ها مدل‌های گوناگونی بر روی داده‌ها با استفاده از

جدول ۲. مشخصات مدل انتخابی برای هزینه تعمیر و نگهداری آزادراه‌ها

Model: $EUAC = \beta_0 Ln(ESAL)^{\beta_1} (Age)^{\beta_2} \varepsilon$		
Coefficient	Coefficient Value	P-Value
β_0	۱۳۱	<۰.۰۰۵
β_1	۱/۲	<۰.۰۰۵
β_2	-۰/۳۳	<۰.۰۰۵

$$\frac{D(\text{EUAC})}{D(\text{ESAL})} = \beta_0 \times \frac{\beta_1}{\text{ESAL}} \times \text{Age}^{\beta_2} \quad (15)$$

-Anani, S.B. and S.M. Madanat, (2010), "Estimation of highway maintenance marginal cost under multiple maintenance activities". *Journal of Transportation Engineering*, 136(10): pp.863-870.

-Ahmed, A., et al., (2015), "Estimating the marginal cost of pavement damage by highway users on the basis of practical schedules for pavement maintenance, rehabilitation and reconstruction". *Structure and Infrastructure Engineering*, 11(8): pp. 1069-1082.

-Berndt, E.R. and L.R. (1973), "Christensen, The translog function and the substitution of equipment", structures, and labor in US manufacturing 1929-68. *Journal of econometrics*, 1(1): pp. 81-113.

-Hajek, J., S. Tighe, and B. Hutchinson, (1998), "Allocation of pavement damage due to trucks using a marginal cost method". *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, pp. 50-56.

-Link, H., (2003), "Estimates of marginal infrastructure costs for different modes of transport Highway, A.A.o.S. and T. Officials, AASHTO Guide for Design of Pavement Structures. Vol. 1. 1993: AASHTO.

-Dalla Valle, P. and N. Thom, (2017), "Inclusion of design variability in flexible highway pavement life-cycle cost analysis". *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Construction Materials*,: pp. 1-12.

-Puterman, M.L., (2014), "Markov decision processes: discrete stochastic dynamic programming". John Wiley & Sons.

-<http://www.rmtto.ir/Pages/WaysAssistants.aspx>.

با استفاده از تابع هزینه برآورد شده می‌توان هزینه نهایی را نیز به‌دست آورد. (همانطور که مشخص است این مقدار به تعداد سال بهره‌برداری از آزادراه بستگی دارد. به طور نمونه برای آزادراه اردکان مهریز، که آزادراهی ساخته نشده است و در لیست برنامه‌های احداث قرار دارد، برای سال اول بهره‌برداری و با میانگین تردد ۱۴۰۰۰ خودرو در سال، هزینه نهایی برابر با ۰/۱۱ ریال بازا افزایش یک واحد در بار استاندارد به محور خواهد بود.

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله با استفاده از روش رگرسیون تابع هزینه کل تعمیر و نگهداری آزادراه‌های ایران برآورد شده است. مدل انتخاب شده غیرخطی است. با استفاده از این مدل، تابع هزینه نهایی آزادراه‌های ایران نیز ارایه شده است. محاسبات برای آزاد راه اردکان-مهریز حاکی از آن است که با افزایش یک واحد بار واحد استاندارد به سطح روسازی، ۰/۱۱ ریال هزینه مربوط به تعمیر و نگهداری افزایش پیدا می‌کند. از جمله مزایای این مدل می‌توان به مقایسه هزینه برای آزادراه‌ها در سنین مختلف بهره‌برداری اشاره داشت. در کنار آن، در زمان برآورد هزینه فایده پروژه، می‌توان مقایسه‌ای از هزینه تعمیر و نگهداری کل و سالیانه بر اساس استانداردهای مهندسی و شرایط ایران داشت.

۵- مرجع

-ب.م.ا.، (۱۳۹۱)، "ارایه مدل تخصیص هزینه‌های تعمیر و نگهداری راه در کشور، در یازدهمین کنفرانس مهندسی حمل و نقل و ترافیک ایران.

-Anastasopoulos, P.C., J.E. Haddock, and S. Peeta, (2014), "Cost overrun in public-private partnerships: Toward sustainable highway maintenance and rehabilitation". *Journal of Construction Engineering and Management*, 140(6): pp. 04014018.