طراحی سیستم تهویه تونل امیرکبیر

حسن مدنی[۱*] - سید نجم الدین الماسی [۲] – محمد رضا گلیان [۳]

۱- استادیار دانشکده مهندسی معدن، متالورژی و نفت - دانشگاه صنعتی امیرکبیر ـ تهران

۲- عضو هیئت علمی دانشگاه لرستان

۳- کارشناس ارشد مهندسی معدن

چکیده:

تونل امیرکبیر به طول بیش از ۲ کیلومتر، یکی از مهمترین تونلهای کشور است که در محور کرج ـ چالوس در حوالی سد امیرکبیر قرار دارد. علیرغم آلودگی بالا، تاکنون هیچگونه سیستم تهویه مکانیکی برای این تونل در نظر گرفته نشده است. به منظور طراحی سیستم تهویه تونل مزبور، با استفاده از آمار موجود، میزان ترافیک برای ۱۰ سال آینده معادل ۱۰۷۰ وسیله نقلیه در ساعت پیش‌بینی شد و محاسبات براساس آن انجام گرفت. میزان هوای مورد نیاز تهویه تونل به منظور رقیق کردن مونواکسید کربن، دوده و اکسیدهای ازت به روشهای مختلف و در وضعیتهای متفاوت و در حالتهای راه بندان و آتش سوزی محاسبه شد و در نهایت میزان هوای مورد نیاز در حالت ترافیک عادی ۱۴۰ متر مکعب در ثانیه و در حالت آتش سوزی و ترافیک سنگین ۲۸۰ متر مکعب در ثانیه به دست آمد. برای تامین این میزان هوا، روشهای مختلفی مانند تهویه طولی بااستفاده از بادبزن سقفی، دویل میانی و تهویه نیمه عرضی با نصب کانال هواکش در سقف تونل مورد بررسی قرار گرفت که در این مقاله فقط روش استفاده از بادبزن سقفی تشریح شده است.

واژه‌های کلیدی: تهویه تونلها – تهویه طولی – جت فن – تهویه عرضی – تونل امیرکبیر

مقدمه

تهویه تونل یکی از مهمترین مسائل در احداث تونلها، چه در زمان حفر و چه در زمان بهره‌برداری است. با توجه به طویل‌تر شدن تونلها به علت تکنولوژی حفر مکانیزه، تهویه آنها حساسیت و اهمیت بیشتری یافته است و مطالعات جامع‌تری را در این زمینه می‌طلبد. در سالهای اخیر وزارت راه و ترابری در راستای ایمن‌تر کردن تونلهای راه، فعالیتهای متعددی را در این زمینه انجام داده است. تحقیقات مربوط به تونل امیرکبیر، در قالب قراردادی که با دانشگاه صنعتی امیرکبیر منعقد شده، انجام گرفته است.

۱ـ مشخصات کلی تونل

تونل امیرکبیر در مجاورت سد امیرکبیر در جاده کرج ـ چالوس، احداث شده و علت حفر آن، به زیر آب رفتن قسمتهایی از جاده کرج ـ چالوس توسط آب دریاچه به دنبال احداث سد کرج بوده است.
طول تونل ۲۱۴۵ متر، عرض ان ۸/۲ متر، ارتفاعش ۶/۵ متر و سطح مقطع آن ۴۴ متر مربع است. تونل تقریباً افقی است و در ارتفاع ۱۶۵۰ متر از سطح دریا قرار دارد. شکل ۱ مقطع عرضی تونل را نشان می‌دهد.

۲ـ تحلیل وضعیت ترافیک تونل

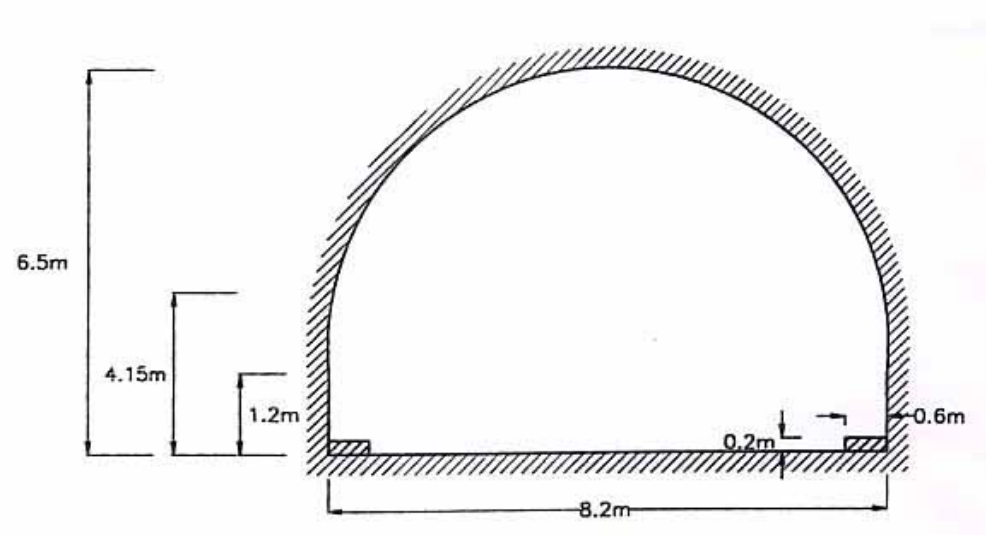
اولین قدم را راه طراحی سیستم تهویه تونلها، آگاهی از وضعیت ترافیک در زمان مورد نظر است. در مورد تونل امیرکبیر نیز، اولین مرحله از تحقیقات را تحلیل وضعیت ترافیک و تحلیل اوج آن تشکیل می‌دهد. بدین منظور، آمار موجود در زمینه ترافیک تونل طی سالهای گذشته بررسی شد (آمار تردد ... ۱۳۷۵ ـ میزان تردد ... ۱۳۷۷). سپس براساس این داده‌ها، وضعیت ترافیک در سال ۱۳۸۷ پیش‌بینی شد و همین وضعیت، مبنای طراحی قرار گرفت. در محاسبات تحلیل ترافیک، محور کرج ـ چالوس و محور مقابل آن مورد ارزیابی قرار گرفت. در محور کرج به چالوس مختصات سه نقطه از منحنی روند رشد ترافیک به دست آمد و خطی با معادله زیر بر آنها برازش داده شد (الماسی، ۱۳۷۸):

$$y = 34/5x - 2478/5 \qquad (۱)$$

که در آن y میزان ترافیک ساعتی و x سال مورد نظر است. با توجه به ضریب همبستگی که در این مورد معادل ۰/۹۹۹ به دست آمد، منحنی پیش‌بینی شده، اعتبار لازم را دارد. به روش مشابهی، روند رشد ترافیک در مسیر چالوس ـ کرج تحلیل شد و در این مورد معادله زیر با ضریب همبستگی ۰/۷۲۴ برازش داده شد (الماسی، ۱۳۷۸):

$$y = 8.5x - 504.67 \qquad (۲)$$

براساس این مطالعات وضعیت ترافیک و میزان کل تردد در محور مورد نظر به شرح جدولهای ۱ و ۲ به دست آمد.



شکل ۱ـ مشخصات مقطع تونل امیرکبیر

جدول ۱ـ پیش‌بینی میزان ترافیک در سال ۱۳۷۸ (برحسب معادل سواری در ساعت)

محور	ترافیک اوج مسیر	ترافیک عادی مقابل	جمع
محورکرج ـ چالوس	۱۰۰۷	۲۸۱	۱۲۸۸
محور چالوس ـ کرج	۶۸۴	۵۲۳	۱۲۰۵

جدول ۲ـ برآورد میزان کل تردد در محور کرج ـ چالوس در سال ۱۳۸۷

نوع وسیله	سواری و وانت	مینی‌بوس	اتوبوس	کامیون دو محوره	کامیون سه محوره و بیشتر	جمع
ضریب تبدیل	۱	۴	۵/۵	۵/۷	۷/۵	---
کرج ـ چالوس (معادل سواری)	۱۰۱۸	۸۲	۴۴	۹۲	۵۲	۱۲۸۸
کرج ـ چالوس (نوع وسیله نقلیه) M(veh/h)	۱۰۱۸	۲۱	۸	۱۶	۷	۱۰۷۰

۳ـ بررسی ضرورت انجام تهویه مکانیکی در تونل

برای بررسی ضرورت انجام تهویه مکانیکی، در کشورهای مختلف استانداردهای متفاوتی وجود دارد. در این مورد، استاندارد کشورهای نروژ، فرانسه و ژاپن مدنظر قرار گرفت و براساس تمامی آنها مشخص شد که تونل نیاز به تهویه مکانیکی دارد. به عنوان مثال، مطابق استاندارد نروژ، حداکثر طول یک تونل بدون تهویه مصنوعی از رابطه زیر تعیین می‌شود (مدنی، ۱۳۷۸):

$$L_1 = \frac{C_0 AaV}{120 \times q} \qquad (۳)$$

که در آن C_o حداکثر حد مجاز مونواکسید کربن، A سطح مقطع تونل، V سرعت متوسط وسایط نقلیه و a فاصله دو اتومبیل است. با جایگذاری مقادیر عددی در رابطه ۳، طول L معادل ۱۰۷۶ متر به دست می‌آید و با توجه به طول تونل، انجام تهویه مکانیکی ضرورت می‌یابد.

۴ـ محاسبه شدت جریان هوای لازم

به منظور تعیین شدت جریان هوای لازم برای تهویه تونل، شدت جریان هوای لازم برای رقیق کردن مونواکسید کربن، دوده و اکسیدهای ازت در حالتهای مختلف یعنی ترافیک عادی، ترافیک متراکم، حالت راه بندان و مواقع آتش سوزی محاسبه شد. برای محاسبه هر یک از این حالتها، روشهای مختلفی وجود دارد. به عنوان مثال شدت جریان لازم برای رقیق کردن مونواکسید کربن به روش فرانسوی از رابطه زیر به دست می‌آید (مدنی، ۱۳۷۸):

$$Q = \frac{10^3 \times q.Mf_i f_h}{60 \times C_o} \qquad (۴)$$

که در آن q. میزان مونواکسیدکربن تولید شده به وسیله هر اتومبیل، M تعداد وسایل نقلیه در یک کیلومتر از تونل، f_I ضریب مربوط به شیب تونل، f_h ضریب ارتفاع تونل از سطح دریا و C_o غلظت مجاز مونواکسید کربن است.

برای محاسبه شدت جریان براساس سایر پارامترها نیز فرمولهای مشابهی در کشورهای مختلف وجود دارد. (Haerter, 1973). خلاصه محاسبات مربوط به شدت جریان در جدول ۳ درج شده است.

با توجه به جدول ۳ می‌توان با ارائه سیستم متقارن، طراحی را به گونه‌ای انجام داد که در حالت ترافیک عادی ۱۴۰ متر مکعب در ثانیه و در حالت ترافیک سنگین ۲۸۰ مترمکعب در ثانیه هوا در تونل به جریان بیفتد. رقم ۲۸۰ مترمکعب در ثانیه به نحو مناسبی جوابگوی همه حالتها به ویژه به هنگام آتش سوزی است (الماسی، ۱۳۷۸).

۵ ـ طراحی سیستم تهویه

برای به جریان انداختن شدت جریان هوای محاسبه شده، روشهای مختلف تهویه شامل روش استفاده از بادبزنهای سقفی (جت فن)، روش تهویه نیمه عرضی، روش تهویه طولی با استفاده از دویل میانی و استفاده از تونل افقی بررسی شد که شرح هر کدام موضوع مقاله جداگانه‌ای است و در این مقاله فقط به شرح روش استفاده از بادبزن سقفی بسنده می‌شود.

در این روش، با نصب تعدادی بادبزن در سقف تونل، تهویه طولی انجام می‌شود (شکل ۲). از جمله امتیازات این روش سهولت نصب بادبزنهاست و در عوض کمی راندمان آنها را می‌توان به عنوان عیب این روش در نظر گرفت (مدنی، ۱۳۷۸).

جدول ۳ـ شدت جریان هوای لازم برای تهویه تونل امیرکبیر به روشهای مختلف (مترمکعب در ثانیه)

مبنای محاسبه / روش	در حالت ترافیک عادی			در حالت ترافیک متراکم		در حالت راه بندان	در حالت آتش سوزی
	رقیق کردن مونواکسید کربن	رقیق کردن دوده	رقیق کردن اکسیدهای ازت	رقیق کردن CO	رقیق کردن دوده		
انگلیسی	۱۷۴	۳۱/۱	۹۱/۶۷	---	---	---	---
فرانسوی	۱۴۷/۷	۶۳	---	۳۰۹	۷۱/۹۲	---	---
نروژی	۱۲۲/۱	۱۰۲/۲۲	---	---	---	---	۲۸۱/۶
ژاپنی	۱۵۸	۳۲/۲۴	---	---	---	---	---
آمریکایی	۹۸/۲۷	۲۱/۲۳	---	---	---	---	---
میانگین	۱۴۰	۵۰	۹۱/۶۷	۳۰۹	۷۱/۹۲	۲۲۷	۲۸۱/۶

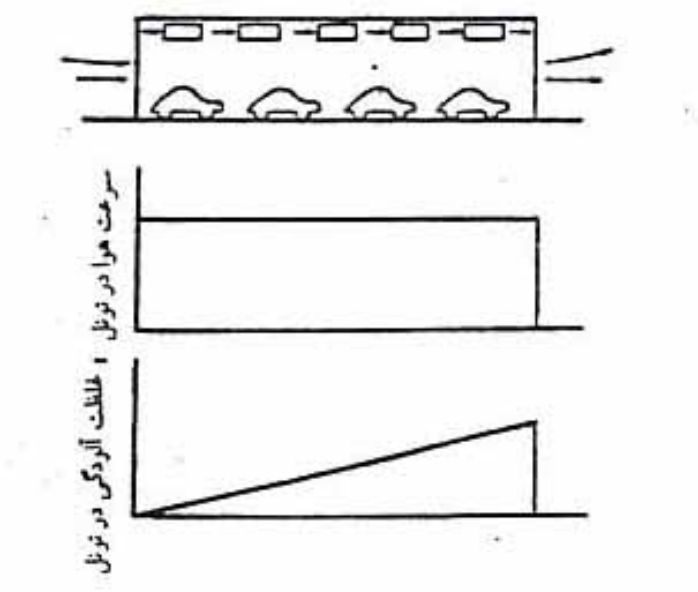
برای طراحی سیستم تهویه تونل امیرکبیر با این شیوه، از دو روش موسوم به روشهای روسی و پیارک استفاده شده است.

۵ ـ۱ـ روش روسی

در این روش، با مقایسه وضعیت تونل با تونلهایی که طرح تهویه آنها شده است، تعدادی بادبزن برای تهویه تونل در نظر گرفته می‌شود و بنابراین طول قسمتی از تونل که مربوط به هر بادبزن است از تقسیم تونل بر تعداد بادبزنها به دست می‌آید. سپس شدت جریان هوایی که در اثر نصب مجموعه بادبزنها در تونل به جریان می‌افتد، از رابطه زیر محاسبه می‌شود (مدنی، ۱۳۷۸):

$$Q_t = Q_f \sqrt{\frac{A}{a(8.2RA^2 + 1)}} \qquad (۵)$$

در این رابطه Q_f شدت جریان هوایی که از هر بادبزن خارج می‌شود، A سطح مقطع تونل، a سطح مقطع خروجی بادبزن یا لوله کوتاه متصل به آن و R مقاومت آئرودینامیکی قسمتی از تونل است که تهویه آن به عهده یکی از بادبزن‌ها است.



شکل ۲ ـ تهویه طولی با استفاده از بادبزن سقفی (جت فن) (Bickel, 2000).

برای تعیین Q_f، ابتدا بایستی منحنی مشخصه کلی بادبزن یعنی منحنی تغییرات مجموعه فشارهای استاتیکی و دینامیکی هوای بادبزن را نسبت به تغییرات شدت جریان آن رسم کرد. سپس در همان دستگاه

مختصات، منحنی مشخصه لوله کوتاه متصل به بادبزن را نیز رسم می‌کنند. طول نقطه تلاقی این دو منحنی، Q_f را به دست می‌دهد. به هر حال پس از محاسبه شدت جریان کلی، آنرا با شدت جریان مورد نظر مقایسه می‌کنند و در صورتی که از شدت جریان دلخواه کمتر یا بیشتر بود، فاصله بادبزنها را کمتر یا بیشتر در نظر می‌گیرند و محاسبات را تکرار می‌کنند تا سرانجام فاصله مناسب به دست می‌آید. بنابراین فاصله بین بادبزنها و در نتیجه تعداد مورد نیاز آنها برای تهویه تونل، به مشخصات بادبزن و مقاومت تونل بستگی دارد.

در مورد تونل امیرکبیر، دو نوع بادبزن یکی ساخت خارج و دیگری ساخت داخل مورد بررسی قرار گرفت.

الف ـ بادبزنهای ساخت خارج

در این مورد، بادبزنهای ساخت شرکت سیترون اسپانیا مدل JZR10-37/4 با قطر پره یک متر و قطر خروجی ۱/۲ متر مورد بررسی قرار گرفت و تعداد بادبزنهای لازم ۳۰ زوج به دست آمد که بایستی به فاصله ۷۱/۵ متر از هم در سقف تونل نصب شوند. در حالت ترافیک عادی، تنها یکی از زوج بادبزنها کار خواهند کرد و مجموعه آنها شدت جریان ۱۴۰ متر مکعب در ثانیه را در تونل به جریان خواهند انداخت اما در حالت ترافیک متراکم، تمام بادبزنها یعنی جمعاً ۶۰ بادبزن کار می‌کنند و مجموعه آنها سبب خواهند شد که شدت جریان ۲۸۰ متر مکعب در ثانیه در تونل به جریان افتد.

از آنجا که توان هر بادبزن ۳۷ کیلو وات است لذا توان لازم برای ترافیک عادی و متراکم به ترتیب ۱۱۱۰ و ۲۲۲۰ کیلو وات بدست می‌آید.

ب ـ بادبزنهای ساخت داخل

با توجه به توانایی سازندگان بادبزن در داخل کشور، بادبزنهای پیشنهادی شرکت هوا صنعت به قطر ۹۹۰ میلیمتر نیز مطالعه شد. محاسبات نشان داد که در صورت استفاده از این بادبزنها، فاصله نصب زوج بادبزنها باید ۶۹ متر و تعداد زوج بادبزنهای لازم ۳۱ جفت باشد. با توجه به توان این بادبزنها که در حد ۳۰ کیلو وات برآورد می‌شود، مصرف برق در ترافیک عادی و متراکم به ترتیب ۹۳۰ و ۱۸۶۰ کیلو وات خواهد بود.

۵ ـ۲ـ روش پیارک (PIARC)

در سال ۱۹۹۵ میلادی، انجمن پیارک، رابطه زیر را برای محاسبه تعداد بادبزنهای سقفی مورد نیاز تهویه تونلها ارائه کرد (PIARC, 1995):

$$n_J \times \Delta P_J = \Delta P_{veh} + \Delta P_{tu} + \Delta P_{MT} \qquad (۶)$$

در این رابطه n_J تعداد بادبزن سقفی مورد نیاز، ΔP_J فشار محوری بادبزن، ΔP_{veh} افت فشار مربوط به اثر پیستونی اتومبیل‌ها، ΔP_{tu} افت فشار مربوط به مقاومت تونل و ΔP_{MT} افت فشار مربوط به باد و دمای محیط است.

هر یک از اجزای رابطه (۶)، خود طی روابط جداگانه‌ای به شرح زیر محاسبه می‌شوند (PIARC, 1995):

$$\Delta P_J = \rho Q_J (U_F - U_T) \frac{1}{A_T} \eta_1 \eta_2 \eta_3 \quad (۷)$$

$$\Delta P_{veh} = [\frac{ML}{V}][\frac{C_w A_{veh}}{AT}][\frac{\rho}{2}](V \pm U_T) \quad (۸)$$

$$\Delta P_{tu} = (1 + \xi + \frac{\lambda L}{D})\frac{\rho}{2} U_T^2 \quad (۹)$$

$$\Delta P_{MT} = (\frac{1}{2})\rho U_w^2 \quad (۱۰)$$

در این روابط ρ جرم مخصوص هوا، Q_J شدت جریان تولیدی به وسیله هر بادبزن، U_F سرعت هوای خروجی از بادبزن، U_T سرعت هوای داخل تونل، A_T سطح مقطع تونل، η_1 ضریب کارکرد بادبزن سقفی، η_2 ضریب اصطکاک دیواره تونل، η_3 ضریب مربوط به فاصله طولی، M ترافیک ساعتی، L طول تونل، V_1 سرعت متوسط وسیله نقلیه در تونل، C_w مقاومت وسیله نقلیه، A_{veh} سطح مقطع موثر وسیله نقلیه، ξ ضریب افت فشار، λ ضریب اصطکاک تونل، D قطرهیدرولیکی تونل و U_w سرعت باد است.

در این مورد نیز هر دو نوع بادبزن داخلی و خارجی مورد مطالعه قرار گرفت.

الف ـ بادبزنهای ساخت خارج

در این مرحله نیز ابتدا همان بادبزنهای ساخت شرکت سیترون اسپانیا مدل jzR10-37/4 مورد بررسی قرار گرفت که با این روش تعداد زوج بادبزنهای لازم ۲۷ زوج و فاصله آنها ۷۹/۵ متر به دست آمد. در این مورد نیز در ترافیک عادی فقط یکی از زوج بادبزنها در حال کار خواهد بود و در ترافیک متراکم هر دو به کار خواهد افتاد. توان مصرفی در دو حالت یاد شده به ترتیب ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ کیلو وات است.

ب ـ بادبزنهای ساخت داخل

مطالعه در مورد بادبزنهای ساخت داخلی نشانگر آن است که تعداد زوج بادبزن لازم در این مورد ۳۴ زوج است که باید به فاصله ۶۳ متر در سقف تونل نصب شوند. بدین ترتیب توان لازم برای ترافیک عادی و متراکم به ترتیب ۱۰۲۰ و ۲۰۴۰ کیلو وات خواهد بود.

۶ ـ مطالعه اقتصادی

اگر چه سیستم تهویه تونل امیرکبیر با گزینه‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت ولی در این مقاله فقط به شرح سیستم تهویه طولی با استفاده از بادبزن سقفی (جت فن) پرداخته‌ایم. برای آنکه امکان مقایسه گزینه‌های مختلف این روش فراهم شود، هزینه‌های هر کدام از گزینه‌ها به دو روش "مجموع هزینه‌های سرمایه گذاری فعلی "و" ارزش فعلی مجموع هزینه‌های عملیاتی و سرمایه گذاری" محاسبه شد که نتایج آن در جداول ۴ تا ۷ آمده است.

۷ـ نتیجه‌گیری

عدم توجه به تهویه تونلهای راه در مرحله احداث، مشکلات بسیاری را در پی‌دارد. در صورتی که در مرحله احداث تونل امیرکبیر، امکانات اجرای سیستم تهویه نیمه عرضی پیش‌بینی می‌شد، اجرای آن ساده‌تر و ارزان‌تر و راندمان آن بالاتر بود. اما به علت عدم پیش‌بینی این تاسیسات، به نظر می‌رسد به ناچار باید از روش بادبزن سقفی استفاده کرد. به ویژه آنکه نزدیکی تونل به سد امیرکبیر امکان استفاده از آتشباری و در نتیجه امکان استفاده از روشهای دویل میانی و تونل افقی را منتفی می‌سازد. با توجه به این مشکلات، توصیه می‌شود که در مرحله طراحی و احداث تونلهای راه و راه‌آهن، حتماً مسئله تهویه به عنوان یکی از ویژگیهای اصلی مدنظر قرار گیرد تا در مرحله بهره‌برداری، مشکلاتی پیش نیاید.

جدول ۴ـ جمع‌بندی محاسبات اقتصادی مربوط به بادبزن سقفی ساخت شرکت سیترون اسپانیا (روش پیارک)

قطر پره (mm)	فاصله بادبزنها (m)	مجموع هزینه‌های سرمایه گذاری فعلی (ریال)	ارزش فعلی مجموع هزینه‌های عملیاتی و سرمایه گذاری (ریال)	هزینه کلی سالیانه (ریال)	توان هر بادبزن (kw)	تعداد بادبزن مورد نیاز		توان مصرفی کل (kw)	
						ترافیک عادی	ترافیک متراکم	ترافیک عادی	ترافیک متراکم
۱۰۰۰	۷۹/۴۴	۵۱۴/۸۱۱/۲۰۰ ۲/	/۱۲۸/۲۱۵ ۸/۹۷۶	/۳۳۰/۶۹۵ ۱/۹۹۷	۳۷	۲۷	۵۴	۹۹۹	۱۹۹۸

جدول ۵ ـ جمع‌بندی محاسبات اقتصادی مربوط به بادبزن سقفی ساخت شرکت هوا صنعت تهران (روش پیارک)

قطر پره (mm)	فاصله بادبزنها (m)	مجموع هزینه‌های سرمایه گذاری فعلی (ریال)	ارزش فعلی مجموع هزینه‌های عملیات و سرمایه گذاری (ریال)	هزینه کلی سالیانه (ریال)	توان هر بادبزن (kw)	تعداد بادبزن مورد نیاز		توان مصرفی کل (kw)	
						ترافیک عادی	ترافیک متراکم	ترافیک عادی	ترافیک متراکم
۱۰۰۰	۶۳/۱	۱/۷۴۶/۰۴۴/۱۶۰	۸/۱۷۰/۸۱۰/۳۶۸	۱/۸۱۸/۱۵۹/۸۵	۳۰	۳۴	۶۸	۱۰۲۰	۲۰۴۰

جدو ل ۶ـ جمع‌بندی محاسبات اقتصادی مربوط به بادبزن سقفی ساخت شرکت سیترون اسپانیا (روش روسی)

قطر پره (mm)	فاصله بادبزنها (m)	مجموع هزینه‌های سرمایه گذاری فعلی (ریال)	ارزش فعلی مجموع هزینه‌های عملیات و سرمایه گذاری (ریال)	هزینه کلی سالیانه (ریال)	توان هر بادبزن (kw)	تعداد بادبزن مورد نیاز		توان مصرفی کل (kw)	
						ترافیک عادی	ترافیک متراکم	ترافیک عادی	ترافیک متراکم
۱۰۰۰	۷۱/۵۱	۲/۷۷۶/۳۸۷/۲۰۰	۹/۹۵۵/۶۲۸/۳۳۴	۲/۲۱۵/۲۸۴/۹۳۱	۳۷	۳۰	۶۰	۱۱۱۰	۲۲۲۰

جدول ۷ـ جمع‌بندی محاسبات اقتصادی مربوط به بادبزن سقفی ساخت شرکت هوا صنعت تهران (روش روسی)

قطر پره (mm)	فاصله بادبزنها (m)	مجموع هزینه‌های سرمایه گذاری فعلی (ریال)	ارزش فعلی مجموع هزینه‌های عملیات و سرمایه گذاری (ریال)	هزینه کلی سالیانه (ریال)	توان هر بادبزن (kw)	تعداد بادبزن مورد نیاز		توان مصرفی کل (kw)	
						ترافیک عادی	ترافیک متراکم	ترافیک عادی	ترافیک متراکم
۹۹۰	۶۹/۲	۱/۵۹۱/۹۸۱/۴۴۰	۷/۴۷۶/۹۷۶/۳۰۱	۱/۶۶۳/۷۶۸/۶۴۷	۳۰	۳۱	۶۲	۹۳۰	۱۸۶۰

فهرست منابع به ترتیب الفبا

[۱] آمار تردد و سایل نقلیه در محورهای مختلف استان مازندران (۱۳۷۵) ـ سازمان حمل و نقل و پایانه‌های کشور ـ وزارت راه و ترابری

[۲] الماسی، سید نجم الدین (۱۳۷۸) ـ طراحی سیستم تهویه تونل امیرکبیر ـ پایان نامه کارشناسی ارشد ـ دانشگاه صنعتی امیرکبیر

[۳] قاسمی، دوستعلی و دیگران (۱۳۷۰) ـ بررسی و محاسبه طرح تهیه تونلها ـ مرکز تحقیقات و مطالعات وزارت راه و ترابری

[۴] مدنی، حسن (۱۳۷۸) ـ تونلسازی ـ جلد دوم، خدمات فنی ـ انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر

[۵] میزان تردد و سایل نقلیه در برخی از محورهای استان مازندران (۷۷ـ۱۳۷۳) ـ سازمان حمل و نقل و پایانه‌های کشور ـ وزارت راه و ترابری

[۶] نیکوکار، مسعود (۱۳۷۲) ـ آمار و احتمالات مهندسی ـ انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر

[7] Bickel John. O. (2000) – Tunnel Engineering Handbook – Van Nostrand Reinhold Co.

[8] Haerter A. A. (1973) Fresh Air Requirements for Road Tunnels International symposium on the Aerodynamics and Ventilation of Vehicle Tunnels.

[9] PIARC Committee on Road Tunnels (1995) – Vehicle Emissions Air Demand Environment longitudinal ventilation.

[10] Road World Assocition (1999) – Pollution by Nitrogen Dioxide and Ventilation Control Based on Traffic in Road Tunnels – PIARC Committee on Road Tunnels.