

## بررسی میزان نشت هوا در سیستم تهویه تونل شماره یک آزادراه تهران-پردیس به روش زوج دوپل میانی

هادی رسولی<sup>۱</sup>، حسن مدنی<sup>۲\*</sup>

- ۱- دانشجوی دکتری مهندسی استخراج معدن، دانشگاه صنعتی امیرکبیر؛ [hadi.rasouli@aut.ac.ir](mailto:hadi.rasouli@aut.ac.ir)  
۲- استادیار دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی معدن و متالورژی؛ [hmadani@aut.ac.ir](mailto:hmadani@aut.ac.ir)

(دریافت ۲۵ خرداد ۱۳۹۰، پذیرش ۲۸ آبان ۱۳۹۱)

### چکیده

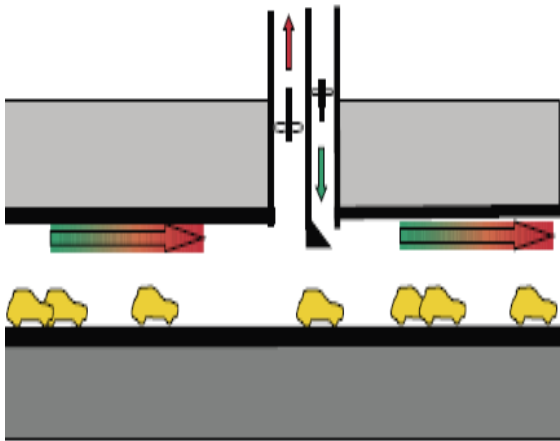
روش تهویه طولی به وسیله یک دوپل میانی در تونل‌های یک طرفه استفاده نمی‌شود زیرا در تونل‌های یک طرفه در نیمه اول تونل، جهت حرکت وسایل نقلیه با جهت تهویه یکی است و اثر پیستونی ناشی از آن به تهویه کمک خواهد کرد در حالی که در نیمه دوم تونل، جهت حرکت وسایل نقلیه در خلاف جهت تهویه اند و اثر پیستونی ناشی از آن مانع تهویه شده و در نتیجه، تمرکز آلودگی در نیمه دوم تونل بیشتر می‌شود. تهویه طولی با استفاده از دوپل میانی در تونل‌های یک طرفه به صورت زوج دوپل انجام می‌گیرد. بدین منظور حوالی مرکز تونل دو دوپل یکی برای خروج هوای آلوده و دیگری برای ورود هوای تمیز احداث می‌شود. منظور از نشت هوا، برآورد مقدار هوای آلوده‌ای است که به وسیله دوپل مکشی خارج نشده و به صورت نشت وارد قسمت دوم تونل می‌شود. برای بررسی این موضوع با استفاده از روش تحلیلی، این روش تهویه در تونل شماره یک آزادراه تهران-پردیس بررسی و مشخص شد که حدود ۱۹/۶ درصد از هوای آلوده نیمه اول تونل وارد قسمت دوم می‌شود. به منظور بررسی جریان هوا در تونل و تعیین فشار و سرعت در هر نقطه دلخواه از تونل، مدل سه بعدی از تونل به طول ۱۵۵۰ متر با نرم افزار FLUENT تهیه و جریان مغشوش سیال با استفاده از مدل k-ε استاندارد شبیه سازی شد. نتایج روش عددی نشان می‌دهد که سرعت نقطه‌ای در بعضی قسمت‌ها از سرعت مجاز تجاوز می‌کند.

### کلمات کلیدی

سیستم تهویه طولی، تونل شماره یک تهران-پردیس، دینامیک سیالات محاسباتی، زوج دوپل میانی، نازل ساکاردو

\*نویسنده مسئول مکاتبات

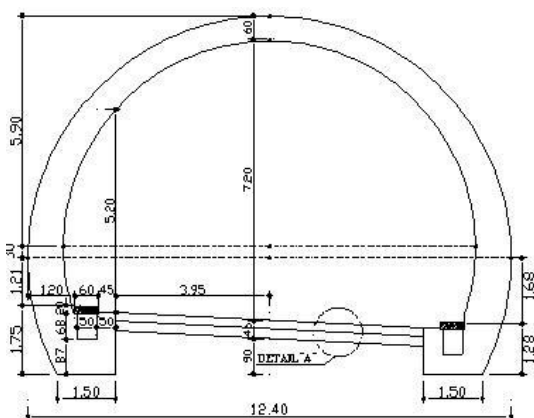
## ۱- مقدمه



شکل ۱: تهویه طولی با استفاده از زوج دوپلمیانی در تونل‌های یک طرفه

## تهران-پردیس [5]

آزادراه تهران-پردیس به طول ۲۳ کیلومتر چهار خطه با پیش بینی خط کندرو در سر بالایی‌ها و در بعضی فواصل پنج خطه با عرض پلاتفورم ۲۸ متری و به طول حدود ۲۳ کیلومتر است. حداقل شعاع آن ۷۰۰ متر و حداکثر شیب آن ۶ درصد است و چهار تونل دارد که طول طولانی‌ترین آن‌ها موسوم به تونل شماره یک ۱۵۵۰ متر است. تونل شماره یک از کیلومتر ۲ آزادراه تهران-پردیس احداث شده است. شعاع انحنای این تونل ۳۵۰۰ متر و شیب طولی آن ۲/۵ در صد است. این تونل دو خطه به پهنای ۹ متر، ارتفاع ۷/۲ و سطح مقطع ۶۳/۲۵ متر مربع است. شکل ۲ سطح مقطع تونل شماره یک را نشان می‌دهد [1].



شکل ۲: سطح مقطع تونل شماره یک تهران-پردیس [۱]

با توجه به کوهستانی بودن قسمتی از کشور ما، در بعضی جاده‌ها یک یا چند تونل احداث شده اما در کمتر موردی مسئله تهویه به طور جدی مد نظر قرار گرفته است. از طرفی با توجه به اهمیت تهویه از نظر سلامتی افراد، موضوع تهویه چه در زمان حفر تونل‌ها و چه به هنگام بهره‌برداری، از جمله مهمترین مسائل در احداث تونل‌ها به حساب می‌آید. علاوه بر این به علت پیشرفت تکنولوژی حفاری مکانیزه و طولانی شدن تونل‌ها، تهویه آن‌ها حساسیت بیشتری یافته است و مطالعات جامع‌تری را در این زمینه می‌طلبد. در تونل‌های جاده‌ای یک-طرفه هوای مورد نیاز تهویه در شرایط عادی یا اضطراری به روش تهویه طولی با استفاده از بادبزن نصب شده در سقف تونل تأمین می‌شود. در تونل شماره یک تهران-پردیس نیز سیستم تهویه طولی تونل با استفاده از بادبزن سقفی طراحی و مشخص شد که با این روش می‌توان تونل را تهویه کرد [1]. هدف از این مقاله بررسی میزان هوای آلوده وارد شده از قسمت اول تونل به قسمت دوم تونل است. در تونل‌های یک-طرفه در نیمه اول تونل جهت حرکت وسایل نقلیه با جهت تهویه یکی است و اثر پیستونی ناشی از آن به تهویه کمک خواهد کرد در حالیکه در نیمه‌ی دوم تونل، جهت حرکت وسایل نقلیه در خلاف جهت تهویه اند و اثر پیستونی ناشی از آن مانع تهویه شده و در نتیجه، تمرکز آلودگی در نیمه دوم تونل بیشتر می‌شود. در این روش، آلودگی از ورودی تونل تا انتهای تونل به صورت خطی افزایش می‌یابد [2,3]. استفاده از روش دوپلمیانی امروزه در بیشتر تونل‌های راه مورد استفاده قرار گرفته است. شکل ۱ تهویه طولی با استفاده از زوج دوپلمیانی را در تونل‌های یک طرفه نشان می‌دهد. در تونل توحید تهران، که یک تونل دوقلوی شهری است با ۲۱۳۶ متر طول و بزرگترین تونل ایران به شمار می‌رود. در شاخه غربی آن از تهویه طولی به وسیله‌ی ترکیب دوپلمیانی و بادبزن سقفی استفاده شده است [4].

### ۱- مبانی تئوری نازل ساکاردو

با توجه به پیوستگی جرم و معادله‌ی ۱، می‌توان ضریب افزایش فشار استاتیکی در مجاورت نازل ساکاردو،  $\xi_{23}$ ، را به صورت زیر نوشت [۶]:

$$\xi_{23} = \frac{(P_1 - P_2)}{\frac{1}{2} \rho v_2^2} = 2\varepsilon \left( 2 - \varepsilon \left( 1 + \frac{n_j \cos(\theta)}{\alpha} \right) \right) \quad (2)$$

که در آن  $\varepsilon = \frac{v_3 A_3}{v_2 A_2}$  و  $\alpha = \frac{A_3}{A_2}$  است.

طبق معادله‌ی ۲ فشار استاتیکی پایین دست نازل ساکاردو، موقعی افزایش پیدا خواهد کرد که شدت جریان کافی توسط نازل فراهم شود به طوری که رابطه‌ی ۳ برقرار باشد [۶].

$$\varepsilon > \frac{2}{1 + \frac{n_j \cos(\theta)}{\alpha}} \quad (3)$$

نازل ساکاردو اغلب به دو صورت کلی، یکی برای تزریق هوای تمیز به تونل و دیگری برای تخلیه‌ی هوای آلوده از تونل به کار می‌رود که شدت جریانی که باید توسط نازل ساکاردو تامین شود برای هر دو حالت از رابطه‌ی ۴ محاسبه می‌شود [۶].

$$\omega^2 \left( \alpha^2 \left( 1 - \frac{1}{2} \left( K_1 + \lambda \frac{L_1}{D_h} \right) \right) + \alpha n_j \cos(\theta) \right) + \omega \alpha \left( 2 - \left( K_1 + \lambda \frac{L_1}{D_h} \right) \right) - \frac{1}{2} \left( K_1 + \lambda \frac{L_1}{D_h} + K_2 + \lambda \frac{L_2}{D_h} \right) = 0 \quad (4)$$

که در آن،  $\omega = \frac{v_3}{v_2}$ ،  $\alpha = \frac{A_3}{A_2}$ ،  $K_1$  و  $K_2$  به ترتیب

ضرایب افت ورود و افت خروج،  $\lambda$  ضریب اصطکاک و  $D_h$  قطر هیدرولیکی تونل است.

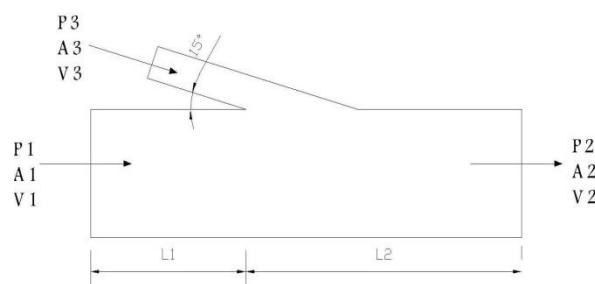
در معادله‌ی ۴ اگر افت فشار ناشی از وجود وسایل نقلیه ( $\Delta P_{Veh}$ ) و افت ناشی از باد محلی ( $\Delta P_w$ ) را نیز منظور کنیم، خواهیم داشت [6]:

در تهویه‌ی طولی با استفاده از نازل ساکاردو هوا با سرعت بسیار بالا (تأحد  $30 \text{ m/s}$ ) و با زاویه‌ی کمی نسبت به محور تونل (۱۵ تا ۲۰ درجه) در جهت حرکت وسایل نقلیه به داخل تونل تزریق و یا از تونل تخلیه می‌شود. نازل ساکاردو اغلب در دهانه‌ی تونل‌ها و چاه‌ها نصب می‌شود و شدت جریان هوای لازم در آن به وسیله‌ی بادبزن‌های جریان‌محوری تأمین می‌شود. مزایای اصلی استفاده از نازل ساکاردو نسبت به بادبزن سقفی عبارت است از [6,7]:

- عدم کاهش ارتفاع مجاز تونل
- کاهش نگهداری قطعات متحرک
- نگهداری بدون اختلال حرکت در ترافیک
- کاهش سرو صدا در تونل

- راندمان بالای بادبزن

شکل ۳ حجم کنترل برای نازل ساکاردو را نشان می‌دهد که در آن  $P, A, V$  به ترتیب فشار، سطح مقطع و سرعت هوا است.

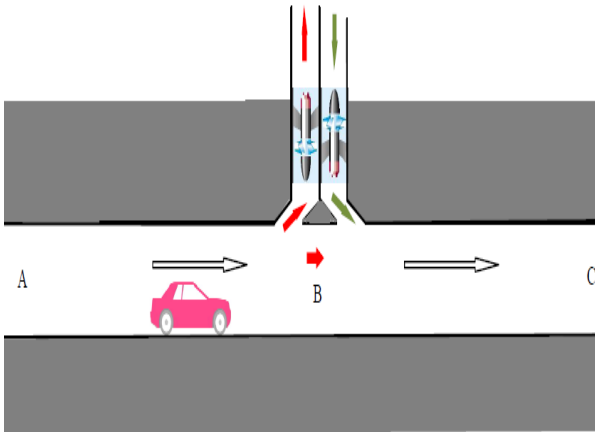


شکل ۳: حجم کنترل برای نازل ساکاردو

در معادله‌ی ۱ فرض شده است که سطح مقطع تونل در دهانه‌ها تغییر نکرده است ( $A_1 = A_2$ ). معادله‌ی اندازه حرکت در راستای طول تونل در همسایگی نازل ساکاردو را می‌توان به صورت معادله‌ی ۱ نوشت [6]:

$$(P_1 - P_2) A_2 = m_2 v_2 - m_1 v_1 - m_3 v_3 n_j \cos(\theta) \quad (1)$$

است. همچنین با توجه به اینکه سطح مقطع هر کدام از دوپل-ها ۱۹/۶ مترمربع است بنابراین سرعت در دوپل‌ها ۱۶/۶۵ مترمربع خواهد بود که در حدمجاز است. در عمل کل شدت جریان مسیر AB از دوپل مکش عبور نمی‌کند بلکه قسمتی وارد مسیر BC می‌شود، برای محاسبه شدت جریان هوایی که از مسیر AB وارد مسیر BC می‌شود از رابطه ۵ استفاده شده است.



شکل ۴: تهویه طولی با استفاده از نازل ساکار دو در دوپل میانی

#### ۴-۱- نازل ساکار دو برای تخلیه‌ی هوای آلوده از نیمه‌ی اول تونل

شکل ۵ مقطع نازل ساکار دو را در نیمه‌ی اول تونل نشان می‌دهد.

$$\begin{aligned} & \omega^2 \left( \alpha^2 \left( 1 - \frac{1}{2} \left( K_1 + \lambda \frac{L_1}{D_h} \right) \right) + \alpha n_j \cos(\theta) \right) \\ & + \omega \alpha \left( 2 - \left( K_1 + \lambda \frac{L_1}{D_h} \right) \right) \\ & - \frac{1}{2} \left( K_1 + \lambda \frac{L_1}{D_h} + K_2 + \lambda \frac{L_2}{D_h} \right) \\ & - \frac{\Delta P_{veh} + \Delta P_w}{\rho V_2^2} = 0 \end{aligned} \quad (5)$$

#### ۴-۲- تهویه‌ی طولی تونل شماره یک تهران-پردیس با استفاده از نازل ساکار دو در دوپل میانی

با توجه به آنکه در تونل‌های یک‌طرفه به دلیل ملاحظات ایمنی و اقتصادی منطقی نیست که جهت تهویه در داخل تونل بر خلاف جهت جریان ترافیک باشد، لذا در صورت استفاده از تهویه‌ی طولی به وسیله‌ی دوپل میانی برای آنکه جهت تهویه با جهت حرکت وسایل نقلیه در تونل یکی شود، در حوالی مرکز تونل هم هوای آلوده‌ی نیمه‌ی اول تونل را تخلیه می‌کنند و هم هوای تمیز لازم را برای تهویه‌ی نیمه‌ی دوم را به تونل تزریق می‌کنند. شکل ۴ تهویه‌ی طولی با استفاده از نازل ساکار دو را در دوپل میانی نشان می‌دهد که از دو ناحیه‌ی AB، BC، تشکیل شده است که هوای آلوده‌ی قسمت AB از نازل اولی تخلیه و هوای لازم برای تهویه‌ی نیمه‌ی دوم توسط نازل بعدی تامین می‌شود. با توجه به حداکثر شدت جریان هوای تازه برای تونل تهران-پردیس که ۶۵۳ متر مکعب بر ثانیه محاسبه شد و سطح مقطع تونل که ۶۳/۲۵ مترمربع- است، در صورت استفاده از طرح تهویه‌ی شکل ۴، سرعت هوا در هر دو نیمه‌ی تونل، در حدود ۵/۲ متر بر ثانیه است [1]. این سرعت از حد مجاز سرعت در تونلها (۱۰ متر بر ثانیه) کمتر

جدول ۱: مقادیر پارامترهای مربوط به محاسبه سرعت در دوپل مکشی در تونل شماره یک تهران- پردیس

نام پارامتر	$\alpha = A_3/A_2$	$V_2$	$K_1$	$K_2$	$\lambda$	$D_h$	$n_j$	$L_1$	$L_2$	$\theta$	$\Delta P_{veh}$	$\Delta P_w$	$\rho$
مقدار	۰/۳۱	۵/۱۶	۰/۵	۱	۰/۰۱۵	۸/۷۲۴	۰/۹	۷۷۱	۴	۱۵	۵۰/۲۸	۰	۱/۲

$D_h$ : قطر هیدرولیکی تونل است که مقدار آن برای تونل تهران-پردیس برابر  $8/724$  متر است [۱].

$L_1$ : برابر فاصله از ابتدای تونل تا دوپل مکشی است که در شکل ۵ نشان داده شده است.

$L_2$ : برابر فاصله از دوپل دهشی تا انتهای تونل است که در شکل ۵ نشان داده شده است.

$\Delta P_{wv}$  و  $\Delta P_{veh}$  به ترتیب افت فشار بر حسب پاسکال مربوط به افت و وسایل نقلیه و باد محلی در دهانه‌های تونل است که به ترتیب از روابط ۸ و ۹ بدست می‌آید [۱۱] و [۱۲].

$$\Delta P_{Veh} = N_{veh} \cdot \left( \frac{C_w \cdot A_{Veh}}{A_T} \right) \cdot \left( \frac{\rho}{2} \right) \cdot (V_T \pm V) \cdot |V_T \pm V| \quad (8)$$

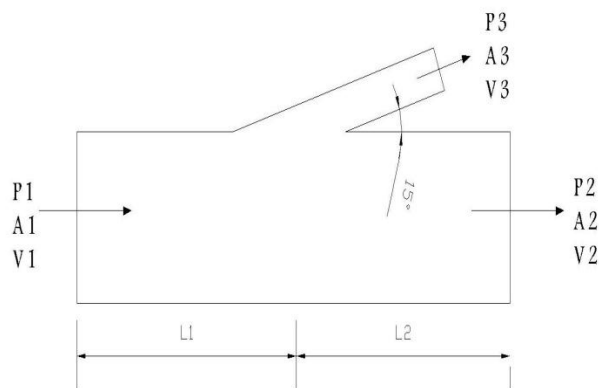
$$\Delta P_w = \frac{1}{2} \rho V_w^2 \quad (9)$$

$\rho$ : جرم مخصوص هوا است که برابر با  $1/2$  کیلوگرم بر متر مکعب است.

با جاگذاری مقادیر جدول ۱ در فرمول ۵ مقدار  $\omega = \frac{V_3}{V_2}$  برابر با  $2/71$  و مقدار  $V_3$  برابر با  $13/98$  متر بر ثانیه بدست می‌آید. با توجه این که سطح مقطع دوپل مکشی برابر با  $19/62$  متر مربع است بنابراین شدت جریان در داخل دوپل مکشی برابر با  $274/4$  متر مکعب بر ثانیه خواهد بود که معادل  $83/9$  درصد جریان در قسمت اول تونل (AB) است. یعنی  $16/1$  در صد از هوای آلوده قسمت اول معادل  $53/91$  مترمکعب بر ثانیه وارد قسمت دوم می‌شود.

#### ۵- تحلیل شدت جریان با استفاده از روش عددی

به منظور تحلیل شدت جریان در تونل شماره یک تهران-پردیس مدل سه بعدی از تونل به طول  $1550$  متر با استفاده از نرم افزار FLUENT تهیه و جریان مغشوش سیال با استفاده از مدل  $k-\epsilon$  استاندارد شبیه سازی شد. برای رسیدن به نتیجه مطلوب، آنالیز حساسیت شبکه بندی مدل انجام و مدل با استفاده از سلول های مثلثی با اضلاع مثلثی  $8$  سانتی متری در ناحیه زوج دوپل میانی،  $10$  سانتی متری در سطح مقطع تونل و  $80$  سانتی متری در سایر قسمت های تونل شبکه بندی شد.



شکل ۵: شکل شماتیک از مقطع تونل ونازل ساکاردو در نیمه اول تونل

پارامترهای لازم برای محاسبه مقدار هوای آلوده وارد شده به قسمت دوم تونل در جدول ۱ آورده شده است.

$\eta$ : راندمان نصب بادبزن است که مقدار آن برای تونل تهران-پردیس برابر  $0/9$  است [۱].

$\lambda$ : ضریب اصطکاک تونل که برای تونل های با پوششبتونی مقدار آن برابر  $0/015$  است [8] و [9].

$K_1$ : ضریب افت فشار است که مقدار آن برای دهانه‌ی ورودی تونل تهران-پردیس برابر  $0/5$  است [1] و [4]. برای محاسبه مقدار  $K_1$  از رابطه ۶ استفاده شده است.

$$\xi = k_1 \left( 1 + \frac{\alpha}{0.001} \right) \quad (6)$$

که  $\alpha$  ضریب اصطکاک تونل و  $\xi$  ضریب افت موضعی در نتیجه گشاد شدن ناگهانی مقطع است. که در تونل شماره یک تهران-پردیس به ترتیب  $0/002$  و  $1/5$  است [1]. که از رابطه فوق مقدار  $k_1$  برابر  $0/5$  بدست می‌آید.

$K_2$ : ضریب افت فشار است که مقدار آن از رابطه زیر بدست می‌آید [10]:

$$K_2 = 1 + 0,0374 |\min(s, 0)|^{0/8}$$

که در آن  $S$  شیب تونل است. برای دهانه‌ی خروجی تونل تهران-پردیس  $K_2$  برابر  $1$  است.

### ۵-۱- شرایط مرزی

شرایط مرزی زیر وارد شبیه سازی دینامیک سیالات محاسباتی شده:

است:

- جریان مغشوش سیال با استفاده از مدل  $k-\epsilon$  استاندارد شش شبیه سازی شد.
- دمای هوا ۳۰۰ درجه کلوین
- شبیه سازی هم دما است.

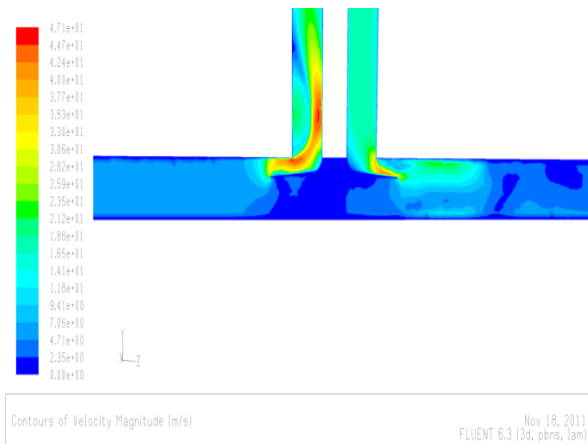
### ۵-۲- نتایج حاصل از مدل سازی

نتایج حاصل از مدل سازی در تونل شماره یک تهران-پردیس برای فشار و سرعت بررسی شده است.

#### ۵-۲-۱- نتایج حاصل از مدل سازی برای فشار

در شکل ۶ فشار هوا در نقاط مختلف تونل و دوپیل نشان داده شده است.

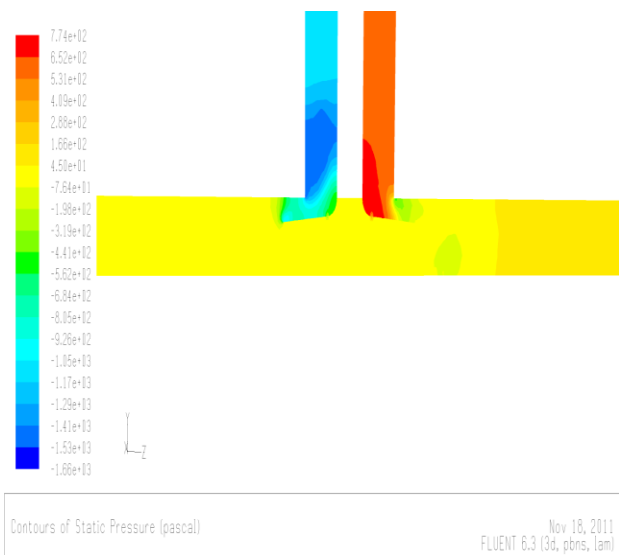
شکل ۷ یک سرعت جریان هوادر نقاط مختلف تونل و دوپیل را نشان می دهدو به کمک آن می توان سرعت در هر نقطه از تونل یا دوپیل را به دست آورد.



شکل ۷: نمایش مقادیر سرعت جریان هوا بر حسب متر در ثانیه در نقاط مختلف تونل و دوپیل در تونل شماره یک تهران-پردیس لوژاندر سمت چپ خوانا و مشخص نیست.

#### ۵-۲-۲- تحلیل جزئی نتایج حاصل از مدل سازی برای سرعت

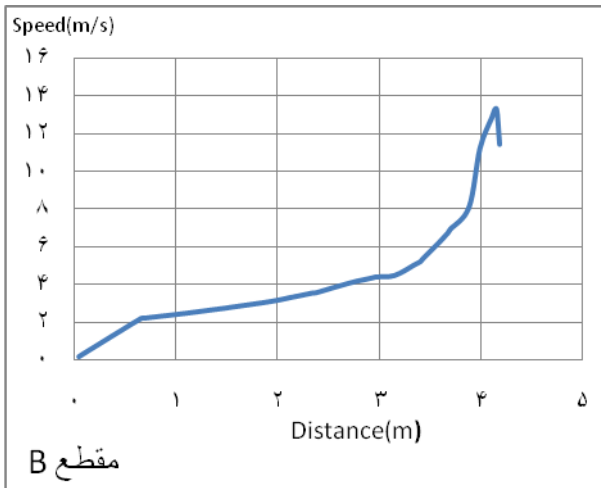
در شکل ۸ مقاطع و خطوط مختلفی که سرعت جریان هوا در آنها تحلیل شده، نشان داده شده است. برای این منظور مقاطع A و B و C و D در نزدیکی دوپیلها، خطوط E و F و G در طول تونل به ترتیب به ارتفاعهای ۱ و ۳ و ۵ متری از کف تونل و خطوط H و I در طول دوپیلهای مکشی و دهشی در نظر گرفته شد. ارتفاع های در نظر گرفته شده کاملا انتخابی بوده و فقط جهت نمایش مناطقی است که سرعت از حد مجاز بیشتر است. فاصله بین دو دوپیل ۳ متر و قطر دوپیلها ۵ متر است. طول صفحه خمیده جا گذاری شده در ورودی هر یک از دوپیلها ۷ متر و شیب آن ۱۵ درجه است.



شکل ۶: نمایش مقادیر فشار بر حسب پاسکال در نقاط مختلف تونل و دوپیل در تونل شماره یک تهران- پردیس

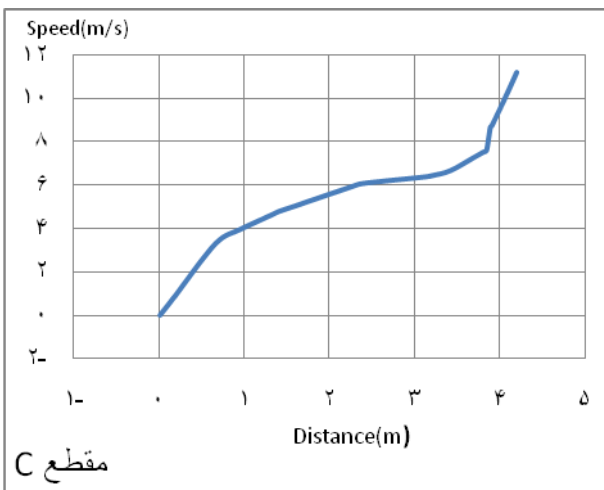
همانطور که در شکل ۶ مشاهده می شود فشار در دوپیل دهشی و مکشی به ترتیب بیشترین و کمتری مقادیر را دارد و در طول تونل مقدارش متوسط است.

#### ۵-۲-۱- نتایج حاصل از مدل سازی برای سرعت



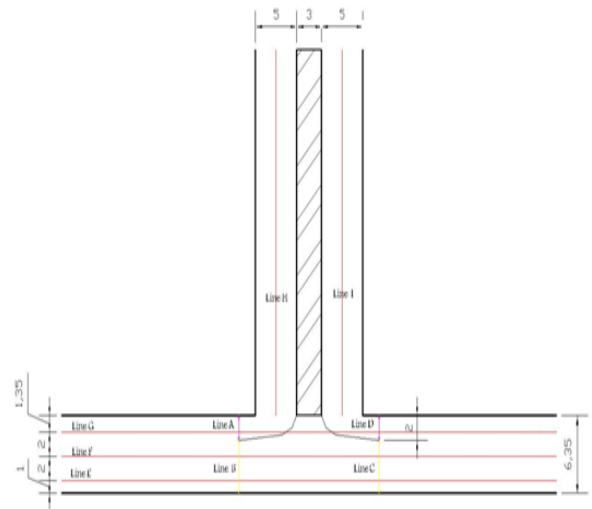
شکل ۱۰: مقادیر مختلف سرعت در سطح مقطع B در تونل

ب- سرعت هوا در برخی نقاط مقطع B از سرعت مجاز در تونلها (۱۰متر در ثانیه) بیشتر است.



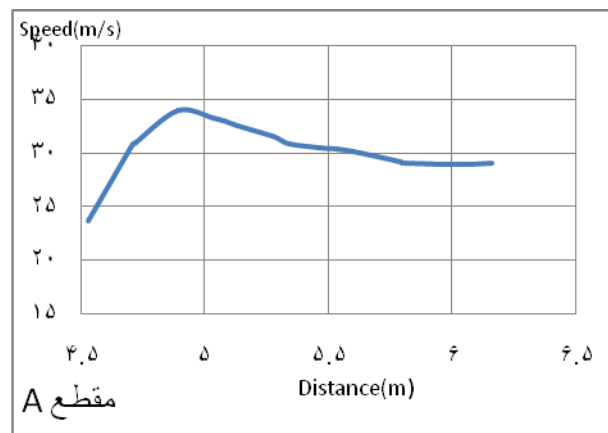
شکل ۱۱: مقادیر مختلف سرعت در سطح مقطع C در تونل

پ- سرعت هوا در برخی نقاط مقطع C از سرعت مجاز در تونلها (۱۰متر در ثانیه) بیشتر است. با توجه به محدودیت ارتفاع تونل در این مورد نیز نمی توان کاری کرد.



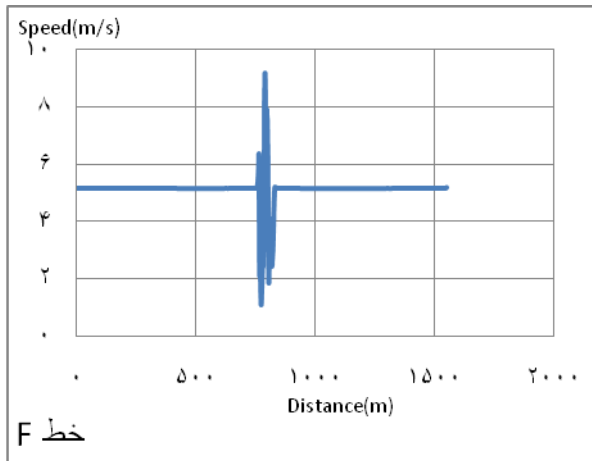
شکل ۸: مقاطع و خطوط مختلفی که سرعت جریان هوا در آنها تحلیل شده است

نتایج حاصل از مدلسازی در نمودارهای ۹ تا ۱۷ آورده شده است. با توجه به این شکلها می توان نتایج زیر را بیان کرد.



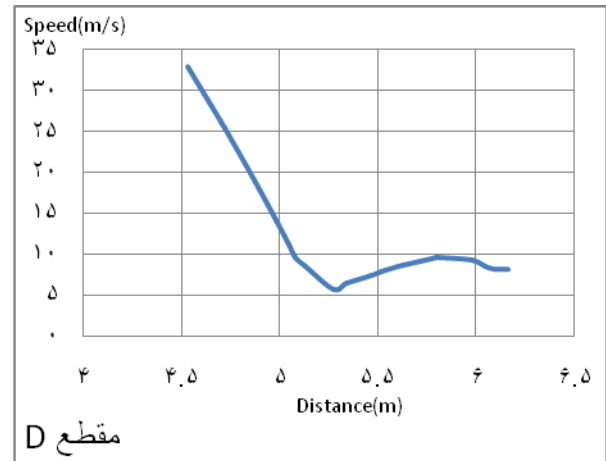
شکل ۹: مقادیر مختلف سرعت در سطح مقطع A در ورودی دوپل

الف- سرعت هوا در اکثر مناطق مقطع A از سرعت مجاز در دوپلها (۲۵متر در ثانیه) بیشتر است. برای رفع این مشکل باید قطر دوپل را بیشتر کرد که در این صورت هم هزینه های حفر تونل زیادتر می شود و هم افت فشار افزایش پیدا می کند. از طرف دیگر با افزایش سطح مقطع A محدودیت ارتفاع برای عبور وسایل نقلیه ایجاد می شود.



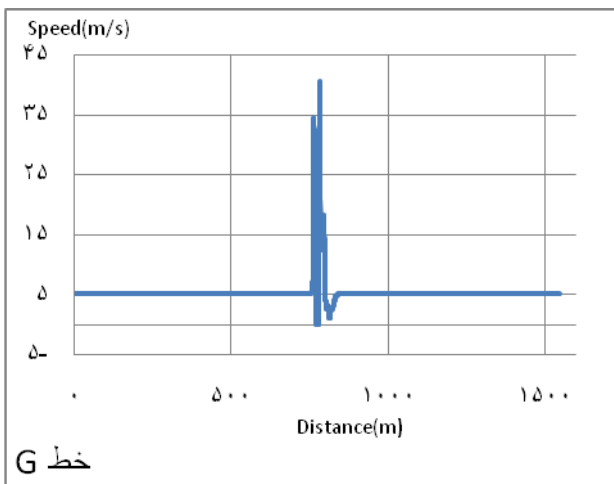
شکل ۱۴: مقادیر مختلف سرعت در امتداد خط F در تونل

ج- سرعت هوا به جز در فاصله نزدیک دوپل‌ها از سرعت مجاز در تونل‌ها (۱۰ متر در ثانیه) کمتر است.



شکل ۱۲: مقادیر مختلف سرعت در سطح مقطع D در تونل

ت- سرعت هوا به جز نقاط ابتدایی مقطع A از سرعت مجاز در دوپل‌ها (۲۵ متر در ثانیه) کمتر است.



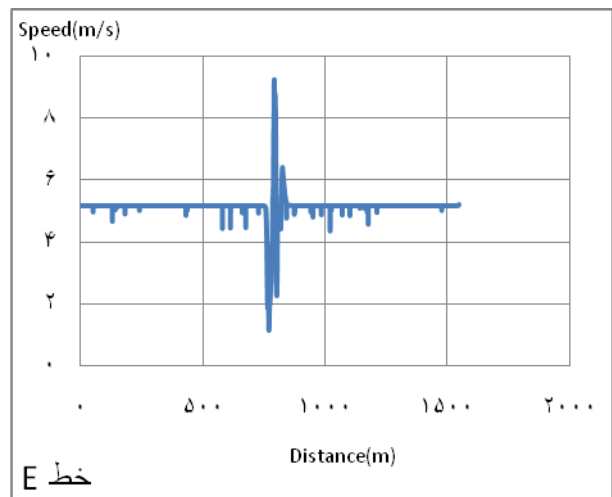
شکل ۱۵: مقادیر مختلف سرعت در امتداد خط G در تونل

ج- سرعت هوا به جز در فاصله نزدیک دوپل‌ها از سرعت مجاز در تونل‌ها (۱۰ متر در ثانیه) کمتر است.

ح - سرعت هوا به جز نقاط ابتدایی دوپل مکشی از سرعت مجاز در دوپل‌ها (۲۵ متر در ثانیه) کمتر است.

خ- سرعت هوا در تمام نقاط دوپل دهشی از سرعت مجاز در دوپل‌ها (۲۵ متر در ثانیه) کمتر است.

با توجه به شکل‌های ۷ و ۱۶-۹ مشخص است که سرعت در نقاط و فواصل متعددی از سرعت‌های مجاز در دوپل‌ها و تونل‌ها بیشتر است.



شکل ۱۳: مقادیر مختلف سرعت در امتداد خط E در تونل

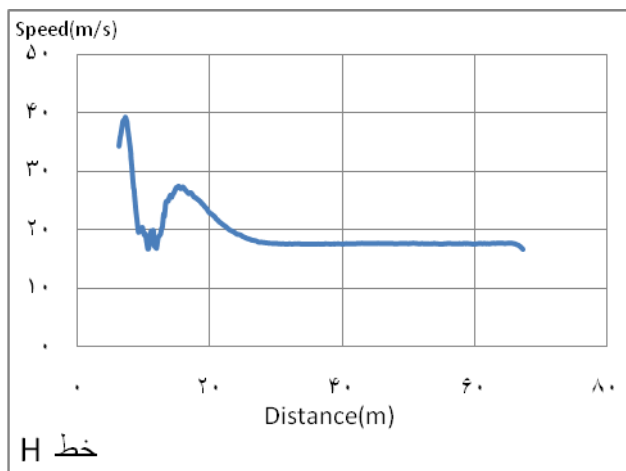
ث- سرعت هوا به جز در فاصله نزدیک دوپل‌ها از سرعت مجاز در تونل‌ها (۱۰ متر در ثانیه) کمتر است. کاهش شدید سرعت هوا قبل از ۷۵۰ متری تونل بدلیل وجود صفحه خم در نظر گرفته شده قبل از تونل است. این صفحه جریان هوا را به دوپل هدایت می‌کند. در نتیجه سرعت هوا در مناطق زیر صفحه کاهش شدید می‌یابد. افزایش سرعت هوا بعد از ۷۵۰ متری نیز بدلیل نشت هوای ناشی از وجود بادبزن دهشی است که در دوپل دومی نصب شده است.



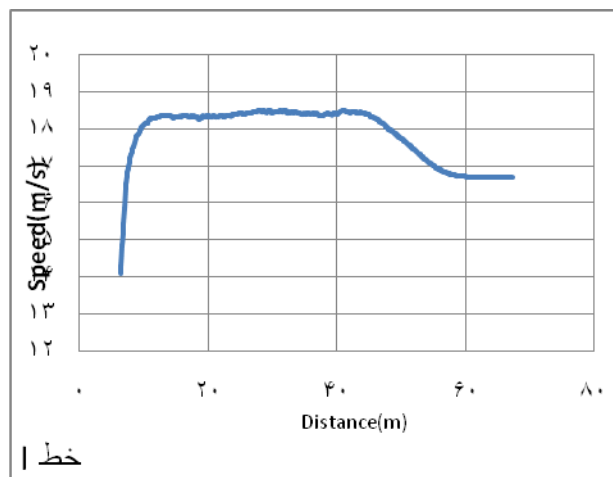
یکنواخت نیست و در برخی نقاط و در برخی فواصل و مناطق از حدود مجاز بیشتر است. مزیت استفاده از نرم افزار این است که سرعت و فشار را در تمام نقاط نشان می دهد. با روش تحلیلی نمی توان مقدار سرعت و فشار را در تک تک نقاط بررسی کرد.

### مراجع

- [1] Rasouli, Hadi, 2011, Master Thesis, Design of Ventilation System of Tehran Tehran-Pardis Tunnel
- [2] Fieldner, A.C. et al. 1921. Ventilation of vehicular tunnels. Report of the U.S. Bureau of Mines to New York State Bridge and Tunnel Commission and New Jersey Interstate Bridge and Tunnel Commission. American Society of Heating and Ventilating Engineers (ASHVE).
- [3] ENCLOSED VEHICULAR FACILITIES chapter 12, pp1-2.
- [4] Khishvand, Mahmood, 2009, Master Thesis, Design of Ventilation System of Tehran Towhid Tunnel.
- [5] PIARC (2008), "ROAD TUNNELS : A GUIDE TO OPTIMISING THE AIR QUALITY IMPACT UPON THE ENVIRONMENT", Technical Committee C3.3 Road Tunnel Operations, pp58-61.
- [6] Tarada, F., Brandt, R. (2009), "Impulse Ventilation for Tunnels – A State of the Art Review", 13th International Symposium on Aerodynamics and Ventilation of Vehicle Tunnels, New Brunswick, New Jersey, USA, May, pp3-5.
- [7] Bendelius, A.G. (1999), "Tunnel Ventilation" in "Tunnel Engineering Handbook", ed. Bickel, J.O., Kuesel, T.R and King, E.H., 2nd edition, Chapman & Hall.
- [8] PIARC Committee on Road Tunnels (1995) – Vehicle Emissions Air Demand Environment longitudinal ventilation.
- [9] Woods Air movement Company (2000), "Jetfoil & Large JM Aerofoil Fans For Tunnel Ventilation, pp13,14.
- [10] PIARC Committee on Road Tunnels (1999), "Fire And Smoke Control In Road Tunnel", pp167,168
- [11] PIARC (2004), "VEHICLE EMISSIONS AND AIR DEMAND FOR VENTILATION", PIARC Committee on Road Tunnels, 2004.



شکل ۱۶: مقادیر مختلف سرعت در امتداد خط H در دوپل



شکل ۱۷: مقادیر مختلف سرعت در امتداد خط I در دوپل

### ۶- نتیجه گیری

در این مقاله ابتدا شدت جریان هوای آلوده ای که از قسمت اول تونل شماره یک تهران-پردیس وارد قسمت دوم می شود با استفاده از روابط دینامیک سیالاتی و تحلیلی محاسبه شد که این مقدار برابر با ۱۹/۶۲ در صد هوای نیمه ای اول تونل یا به عبارتی ۵۳/۹۱ متر مکعب در ثانیه است. در نتیجه سرعت در دوپل های مکشی و دهشی به ترتیب ۱۳/۸۸ و ۱۹/۳۸ متر بر ثانیه است که در حد مجاز است. سرعت در نیمه ای اول و دوم تونل نیز به ترتیب ۵/۱۶ و ۶/۰۱ بدست آمد که در حد مجاز است. اما طبق نتایج بدست آمده از روش عددی (نرم افزار فلونت) سرعت در نقاط مختلف تونل و دوپل به صورت

[12] PIARC(1983), “ Technical Committee on Road Tunnels ”, 17thWorld Road Congress, Sydney, Australia. 1983.