پنجمین کنفرانس سیستمهای فازی ایران
هفدهم الی نوزدهم شهریورماه ۱۳۸۳

طرح یک کنترلگرفازی برای سیستم تهویه تونلهای جادّه ای

مهدی سجودی[۱]، وحید جوهری مجد[۲]،محمود صفّارزاده[۳]
دانشگاه تربیت مدرّس، دانشکده فنّی و مهندسی،گروه کنترل
majd@modares.ac.ir

چکیده

در این مقاله یک مکانیزم فازی برای کنترل سیستم تهویه در تونلهای جادّه ای ارائه گردیده است. این طرّاحی مبتنی بر دانش تجربی اپراتور خبره می‌باشد، که با توجه به شرایط مختلف و مقادیر تحصیل شده در سیستم پایش تونل، اقدام به کنترل فن های تهویه در تونل می نماید. در این طرّاحی، کنترل فن ها بصورت هوشمند و با توجه به میزان آلاینده های تولید شده توسط خودروهای عبوری، میزان و جهت باد داخل تونل بصورت بی درنگ انجام می پذیرد.

واژه های کلیدی : کنترل هوشمند- سیستمهای فازی- تهویه تونلهای جادّه ای

۱- مقدّمه

در سالهای اخیر، اشتیاق فراوانی جهت بهره گیری از تئوری مجموعه های فازی(Fuzzy Sets) برای کنترل فرایندهای موجود در صنایع مختلف بوجود آمده است. سیستمهای فازی امروزه در طیف وسیعی از علوم کاربرد پیدا کرده است[۱]. تئوری و کنترل فازی(Fuzzy Control) در ترکیب با شبکه های عصبی(Neural Networks)، سیستمهای خبره(Expert Systems) و سیستمهای کنترلی سنّتی نتایج خوب و قابل توجهی ارائه نموده است. یکی از مهمترین کاربردهای سیستمهای فازی در حلّ مسائل و مشکلات کنترلی است. سیستمهای فازی را میتوان هم بصورت حلقه بسته و هم حلقه باز بعنوان کنترل کننده بکار گرفت. کنترل فازی، مخصوصا زمانی که سیستم مورد نظر پیچیده بوده و تجزیه تحلیل آن با مشکلات فراوانی همراه باشد، کارائی خود را به خوبی نشان داده است.

سیستمهای فازی، سیستمهای مبتنی بر دانش(knowledge) یا قواعد(Rules) می باشند. قلب یک سیستم فازی یک پایگاه دانش بوده که از قواعد اگر- آنگاه فازی تشکیل شده است. تعیین پایگاه قواعد فازی عموما از یکی از سه روش زیر صورت می پذیرد [۲]:

استخراج پایگاه قواعد با استفاده از تجربه یک اپراتور فرآیند یا مهندس کنترل، که مستلزم بیان شفاهی استراتژی کنترلی مبتنی بر تجربه توسط اپراتور است.

استخراج پایگاه قواعد از ثبت داده های کنترلی-حالت فرآیند.

استخراج پایگاه قواعد از مدل ریاضی فرایند.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد کنترل دانشگاه تربیت مدرّس

۲- استادیار و عضو هیئت علمی دانشگاه تربیت مدرّس

۳- دانشیار و عضو هیئت علمی دانشگاه تربیت مدرّس

در مرجع [۳] از الگوریتم فازی برای کنترل تهویه تونل بهره گرفته شده است. که در آن تنها میزان کلّ خودروها در تونل بعنوان معیار آلودگی لحاظ شده است. این امر و همچنین نادیده گرفتن اثر باد و اثر حرکت پیستونی حرکت خودروها در تونل موجب پایین آمدن بهره وری و ایمنی در تونل می شود. در اغلب کارهای صورت گرفته میزان غلظت CO اساس کار رقیق سازی هوای تونل قرار می گیرد، که این انتخاب باعث بالا رفتن درجه خطرپذیری تونل می گردد.

در مقاله حاضر سعی شده روشی ارائه گردد تا تا حدّ امکان تمامی آلاینده ها مدّنظر قرار گیرند و در صورت نیاز به در نظر گرفتن یک آلاینده جدید، به آسانی و با افزودن چند قاعده فازی این امر تحقق یابد. در این مقاله، ما از یک روش فازی مبتنی بر پایگاه قواعد فازی که از تجربه اپراتور تهویه تونل برگرفته شده است، برای مدلسازی آلودگی و کنترل سیستم تهویه برای اولین بار بهره گرفته ایم. در این کار از میزان آلاینده های تولید شده توسّط خودروهای عبوری از تونل، میزان و جهت باد داخل تونل برای بهبود زمان پاسخ، مصرف انرژی، و ایمنی استفاده شده است.

۲- بیان مسئله

تونلها فضاهای بسته ای هستند که از آن وسایط نقلیّه آلوده زای بسیاری عبور می کنند. اغلب آلاینده های تولید شده برای انسان خطرناک بوده و در برخی مواقع موجب خفگی و مرگ می گردند. مهمترین آلاینده های تولید شده توسط خودروها CO، NO_x، دوده، سرب، آلدئیدها و ... می باشد. معمولا برای تهویه هوای تونلها و برای ایمن سازی عبور و مرور در آنها از سیستمهای متنّوع تهویه متناسب با ساختمان و امکانات تونل استفاده می گردد. باد و حرکت پیستونی ناشی از عبور و مرور خودروها در داخل تونل، یک تهویه طبیعی را باعث می گردند و هوای آلوده تونل را به بیرون هدایت می کنند. ولی این میزان هوا برای تهویه کامل در برخی موارد کفایت نمی کند و یک سیستم تهویه الکترومکانیکی جهت تامین مقدارجریان اضافی لازم بمنظور سالم‌سازی محیط داخل تونل در نظر گرفته می شود. سرعت و جهت کار این سیستم توسط اپراتور و با توجه به شرایط عبور و مرور در تونل و جهت باد و میزان آلاینده ها که بوسیله سیستم پایش(Monitoring) تونل نمایش داده می شود، انجام می پذیرد.

گازهای CO، NO_x و دوده از عمده آلاینده هایی هستند که تهویه بر اساس میزان غلظت و رقّت آنها انجام می پذیرد و در صورتیکه سیستم تهویه بر این اساس طرح گردد، دیگر آلاینده های موجود نیز از فضای تونل خارج می گردند[۶]. استانداردهای این آلاینده ها در مراجع مختلف استاندارد متفاوت است[۴-۷]. طبق یکی از این استانداردها میزان غلظت مجاز هریک، در جداول ۱ و ۲ قید شده است[۶-۷].

جدول شماره ۱-حد مجاز غلظت آلاینده‌های تونلها در شرایط مختلف [۶]:

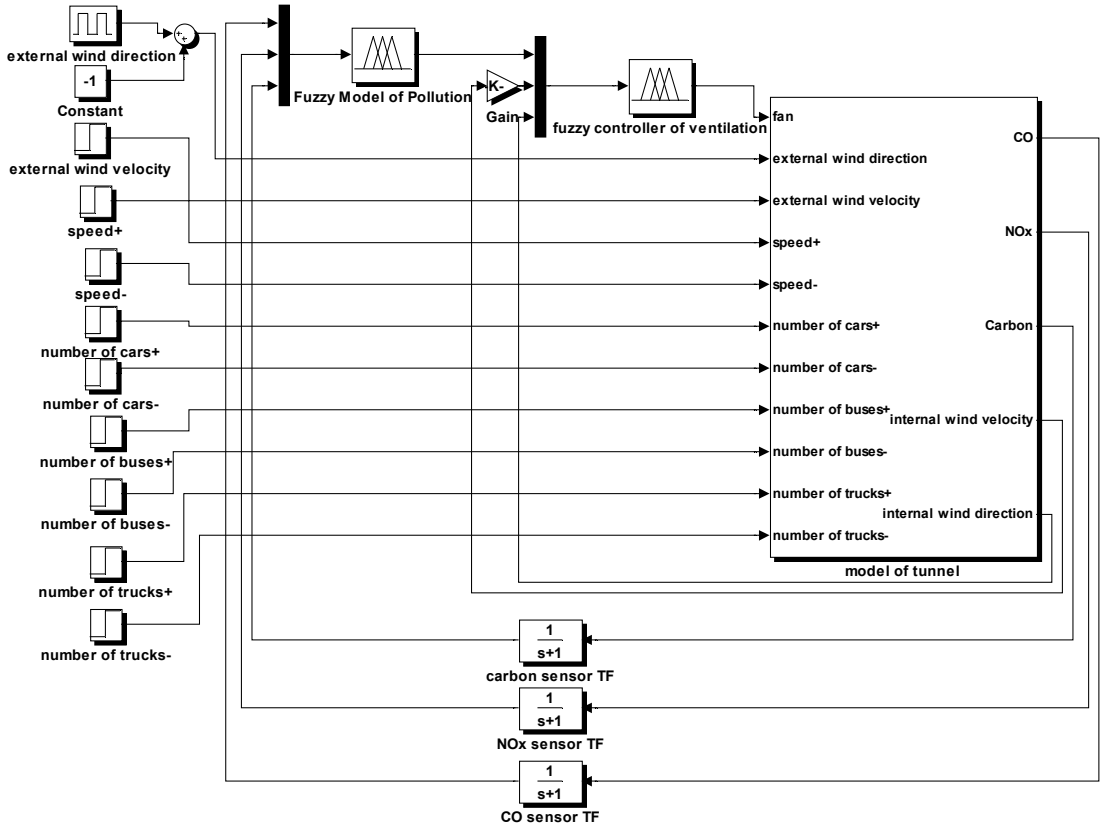
آلاینده	ppmحد مجاز	ppm طولانی مدت حداکثر مجاز در	ppmحداکثر مجاز در کوتاه مدت
مونواکسید کربن	۵۰	۷۵	۴۰۰
اکسید ازت	۲۵	۳۷/۵	۳۵

جدول شماره ۲- حد مجاز دوده در سرعتهای مختلف [۷]:

سرعت ترافیک km/h	۵۰	۶۰	۷۰	۸۰	۹۰
حد مجاز دوده mg/m^3	۱/۴	۱/۲۵	۰/۹	۰/۷	۰/۵

۲- طرح کنترلگر و روش تعیین قواعد

در شکل ۱ اساس کار کنترلگر با دو زیر سیستم فازی بهمراه بلوک مدل تونل و مدل سنسورها مشاهده می گردد.



شکل ۱ - سیستم کنترل حلقه بسته شامل کنترلگر، سنسورها و مدل تونل

در این طرح ابتدا خروجی سنسورهای آلاینده ها به یک زیر سیستم فازی تعیین کننده وضعیّت کلّی آلودگی تونل با توجه به اهمیّت و اثر هر یک از آلودگی‌ها وارد شده و پس از تصمیم گیری، خروجی این بلوک بعنوان ورودی آلاینده در کنترلگر فازی بکار برده می شود. لذا این زیر سیستم فازی، خود شامل ۳ ورودی CO، NO_x، و دوده بوده و خروجی آن میزان کلّ آلودگی است. عناوین کلامی توابع عضویت فازی ورودی و خروجی این زیر سیستم بصورت زیر تعریف شده اند:

میزان CO = {زیاد ، متوسط ، کم}

میزان NO_x = {زیاد ، متوسط ، کم}

میزان دوده = {زیاد ، متوسط ، کم}

میزان آلودگی کلّ = {زیاد ، متوسط ، کم}

در این زیر سیستم از ۲۷ قاعده فازی برای تعیین میزان کلّ آلودگی استفاده کرده ایم. تمامی قواعد فازی بر اساس عملکرد اپراتور خبره تونل، طرح شده است. در زیر چندنمونه از قواعد طرح شده برای زیر سیستم فازی تعیین کننده میزان کلّ آلودگی آمده است:

If CO is Low & NOx is Low & Carbon Low is Then Pollution is Low
If CO is Medium & NOx Low is & Carbon Low is Then Pollution is Medium
If CO is High & NOx is Medium & Carbon is Medium Then Pollution is High
If CO is Medium & NOx is High & Carbon is Low Then Pollution is High

کنترل کننده فازی اصلی خروجی محاسبه شده میزان کلّ آلودگی و همچنین سرعت و جهت باد داخل تونل را بعنوان ورودی دریافت می کند. عناوین کلامی توابع عضویت فازی ورودی کنترلگر بصورت زیر تعریف شده اند:

سرعت باد در داخل تونل = {زیاد ، متوسط ، کم}

{مثبت ، صفر ، منفی} = جهت باد در داخل تونل

{زیاد ، متوسط ، کم} = میزان آلودگی کلّ

توابع عضویّت برای متغیّرهای ورودی هر دو زیرسیستم فازی تابع گوسی بصورت

$$a(x) = e^{\frac{-1}{2}\frac{(x-m)^2}{\delta^2}} \quad (1)$$

تعریف شده اند. پارامترهای توابع عضویّت (۱)، برای ورودیهای هر دو زیرسیستم که بر اساس تجربه بدست آمده است در جدول ۳ مشاهده می‌گردد. همچنین خروجی کنترلگر فازی مبیّن سرعت و جهت چرخش فن های تهویه تونل می باشد. توابع خروجی بصورت مجموعه‌های فازی تکین (Fuzzy Singleton) بفرم زیر در نظر گرفته می‌شود:

{۳+، ۲+ ، ۱+ ، ۰ ، ۱- ، ۲-، ۳-} = سیگنال کنترل فن

برای کنترل کننده فازی، با استفاده از روش دسته بندی شبکه‌ای(Grid Partitioning)، ۲۷ قاعده فازی تولید گردیده است. چندنمونه از قواعد طرح شده برای سیستم فازی اصلی کنترل کننده فن ها در زیر آمده است:

If wind velocity is low & wind direction is 0 & pollution is low then fan signal is 0
If wind velocity is low & wind direction is + & pollution is high then fan signal is 3
If wind velocity is medium & wind direction is - & pollution is medium then fan signal is -1
If wind velocity is high & wind direction is + & pollution is low then fan signal is 0

در هر دو زیرسیستم فازی برای تابع برداشت، عملگر مینیمم، برای عملگر پیوند دهنده، جمع معمولی و برای فازی زدایی از روش متوسط ماکزیمم‌ها (Mean of Maxima) استفاده شده است.

جدول شماره ۳- پارامترهای توابع عضویّت برای ورودیهای سیستم

δ	m	NO_x	δ	m	سرعت باد در داخل تونل
۶/۷۹۸	۰	کم	۰/۱۶۹۹	۰	کم
۶/۷۹۸	۲۰	متوسط	۰/۱۶۹۹	۰/۵	متوسط
۶/۷۹۸	۴۰	زیاد	۰/۱۶۹۹	۱	زیاد
δ	m	$Carbon$	δ	m	جهت باد در داخل تونل
۰/۳۳۹۹	۰	کم	۰/۳۳۹۹	-۱	منفی
۰/۳۳۹۹	۱	متوسط	۰/۳۳۹۹	۰	صفر
۰/۳۳۹۹	۲	زیاد	۰/۳۳۹۹	۱	مثبت

δ	m	CO
۶۷/۹۸	۰	کم
۶۷/۹۸	۲۰۰	متوسط
۶۷/۹۸	۴۰۰	زیاد

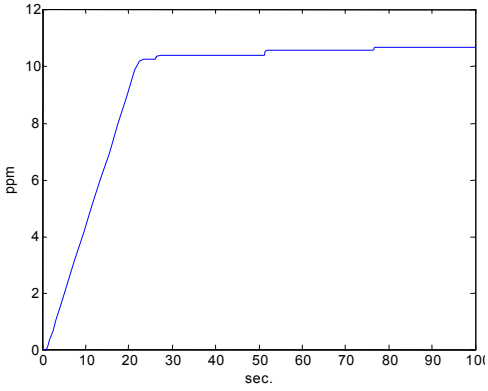
۳- شبیه سازی

شبیه سازی سیستم طرّاحی شده در محیط جعبه ابزار منطق فازی نرم افزار *Matlab* انجام گردیده است. در این شبیه‌سازی‌ها فرض شده است که طول تونل برابر $۲\,km$ و دارای و مسیر عبوری تک خطّه می باشد. طول تقریبی سپر عقب اتومبیل جلویی تا سپر عقب اتومبیل پشت سر برابر $۴\,m$ و حداکثر تعداد اتومبیل در داخل تونل ۵۰۰ دستگاه در نظر گرفته شده‌است.

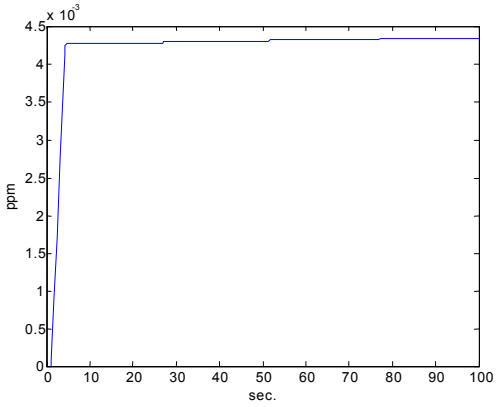
نتایج شبیه سازیها با نرخ ورود ۹۰ و ۱۰۸ خودروی سواری، ۶ و ۱۲ خودروی نیمه سنگین، و ۵ و ۹ خودروی سنگین در ساعت به ترتیب در هر خط و با سرعت متوسط ۵۰ و ۶۰ کیلومتر در ساعت در هر خط، در شکلهای شماره ۲ تا ۶ نشان داده

شده اند. چنانچه مشاهده می شود سیگنال فرمان به فن ها، متناسب با میزان ورودی حسگرها مطابق شکل ۶ اعمال می گردد. چنانچه در شکل ۲ مشاهده می شود میزان مونو اکسید کربن حول ۱۰ ppm تقریبا ثابت مانده است. با توجه به اینکه میزان مونواکسید تولیدی در مقایسه با اکسیدهای ازت قابل توجه است، لذا هوای مورد نیاز برای تهویه تونل، غلظت اکسیدهای ازت را در حدّ صفر نگه می دارد. این مطلب در شکل ۳ بوضوح مشاهده می شود. در شکل ۴ غلظت دوده موجود که حول ppm ۱,۱۸ ثابت مانده را می توان ملاحظه نمود. شکل ۵ میزان سرعت و جهت باد داخل تونل را که برآیند باد وزنده از خارج تونل به داخل و باد حاصل از حرکت پیستونی خودروهای عبوری از تونل است را نشان می دهند.

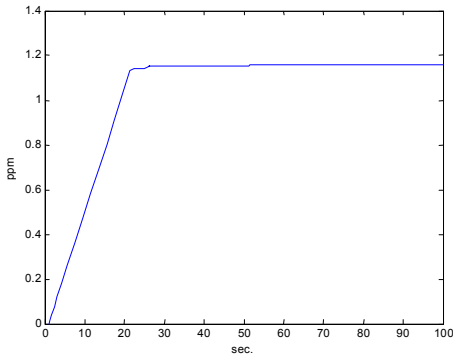
مدل تونل با استفاده از ورودیهای فوق الذّکر و با توجه به روابط حاکم بر آنها اقدام به تولید میزان آلاینده ها، سرعت و جهت باد در داخل تونل می نماید. شکل‌های ۲ تا ۴ میزان آلاینده های موجود حس شده توسط حسگرهای داخل تونل را نشان می دهند. مشاهده می شود که میزان آلاینده ها در داخل تونل تقریبا حول استاندارد قابل قبول آن آلاینده‌ها ثابت می‌ماند.



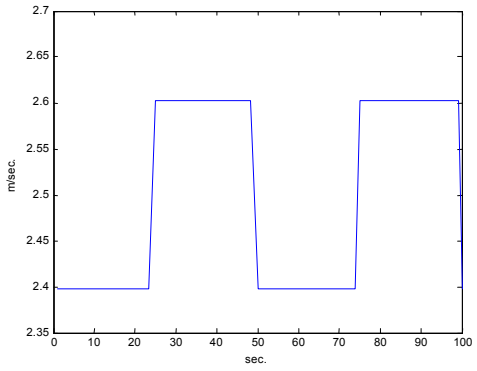
شکل ۲ – حسگر مونواکسید کربن



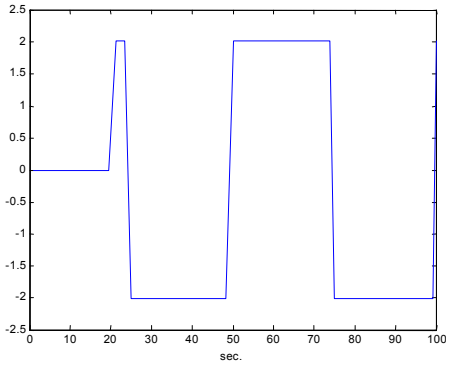
شکل ۳ – حسگر اکسیدهای ازت



شکل ۴ – حسگر دوده



شکل ۵ – جهت و سرعت باد در داخل تونل



شکل ۶ - سیگنال کنترل ورودی به فن ها

۴- نتیجه گیری

در این مقاله، یک سیستم کنترل تهویه هوشمند با استفاده از یک مدل و یک کنترلگر فازی طرّاحی گردید. مدل فازی طرّاحی شده وضعیّت کلّی آلودگی تونل را با به توجه اهمیّت و اثر هر یک از آلودگی‌ها تعیین می نماید. همچنین کنترلگر فازی با دریافت میزان کلّ آلودگی و سرعت و جهت باد، سرعت و جهت چرخش فنها را تنظیم می کند. نتایج و شبیه سازیها توانایی منطق فازی را در اجرای الگوریتم تهویه مطلوب نشان می دهند. ویژگی درونیابی و برونیابی فرایندهای غیرخطّی در سیستم فازی، مقاومت در برابر نایقینی‌ها در فرایند، و راحت بودن پیاده سازی از دیگر مزایای کنترل فازی می باشد. از جمله مشکلات کار، می توان به تعداد قواعد اشاره کرد که با استفاده از روشهای دیگر دسته بندی می توان این مقدار را نیز کاهش داد. کنترل کننده های فازی می توانند بعنوان ابزاری مطمئن جایگزین شیوه‌های سنّتی گردیده و اشکالات کاری ناشی از خطای اپراتور بهره بردار را به حدّاقل برسانند.

۵- مراجع

[1] L. X. Wang, *A Course in Fuzzy Systems and Control*, Prentice-Hall, 1997.
[2] J.R. Jang, et. Al., *Neuro-Fuzzy and Soft Computing,* Prentice-Hall, 1997.
[3] E. Karakas, H. Külünk, E. Özdemir, E. Ölçer, B. Karagöz, *Design of Adaptive Fuzzy Controller for Bolu Highway Tunnel Ventilation System*, Lecture Notes In Computer Science Proceedings of the International Conference on Computational Intelligence, Theory and Applications, 403 - 410 ,1997.
[4] http://ntl.bts.gov/tldir/libraries , NO_x *Measurements In Three Swedish Road Tunnels(1993-1996)*, Swedish National Road Administration 1997.
[5] PIARC – PUBLICATIONS, *Pollution By Nitrogen Dioxide In Road Tunnels,*
Reference: 05.09.B, 2000.
[6] Hartman, *Mine Ventilation and Air Conditioning,* John Wiley and Sons Inc., 1982.
[۷] شقاقی، پیمان- محرر،محمّدرضا، بررسی وضعیّت تهویه تونل کندوان، پروژه کارشناسی-دانشکده مهندسی معدن-دانشگاه امیرکبیر، ۱۳۶۷
[8] Jacques,E., *Study of the Automatic Control of the Longitudinal Ventilation of A Complex Road Tunnel*. 8^{th} International Symposium on Aerodynamics and Ventilation of Vehicle Tunnels,Mechanical Engineering Publications Ltd.,London, England, pp. 943-957, 1994.
[9] Jacques,E., Possoz, L., *Some Experience with Ventilation Control Based on Traffic Data*, Tunnel Control & Communication, 2^{th} International Conference, Ed. A. Vardy, Amsterdam, the Netherlands, pp. 235-251, 1997.