

کنترل فازی طول و مکان پنجره آینده نگری در رویکرد کنترل آینده نگر برای کاهش مصرف سوخت در حمل و نقل ریلی

محمد سعادت*، استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد نجف آباد، نجف آباد، ایران

محسن اصفهانیان، دانشیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

سعید بهیانی، استادیار دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: mssaadat82@gmail.com

دریافت: ۹۷/۰۶/۱۶ - پذیرش: ۹۷/۰۱۱/۰۵

صفحه ۲۸۳-۲۷۵

چکیده

کنترل آینده نگر رویکردی جدید در جهت کاهش مصرف سوخت در صنعت حمل و نقل جاده‌ای و ریلی می‌باشد. در این رویکرد با در نظر گرفتن شیب مسیر پیش‌رو، تغییرات سرعت توسط یک کنترل کننده فازی تصمیم‌گیری می‌شود به نحوی که اگر در مسیر پیش‌رو یک سربالایی باشد، قبل از رسیدن به آن به گونه‌ای سرعت افزایش می‌یابد که خودرو به راحتی از آن عبور کند و مصرف سوخت نیز کاهش یابد. در ساختار این الگوریتم قسمتی از مسیر پیش‌رو به عنوان پنجره آینده‌نگری لحاظ می‌شود که میانگین شیب نقاط داخل آن بیانگر شیب مسیر پیش‌رو می‌باشد. طول پنجره آینده‌نگری و فاصله آن از مکان لحظه‌ای خودرو، دو پارامتر اصلی الگوریتم آینده‌نگر محسوب می‌شوند که روی عملکرد آن تاثیر گذارند. در این مقاله طول و مکان پنجره آینده‌نگری بر خلاف پژوهش‌های قبیل که این دو پارامتر را طی کل مسیر حرکت ثابت در نظر می‌گرفتند، به طور دینامیکی و با توجه به سرعت خودرو و واریانس شیب نقاط داخل پنجره توسط یک کنترل کننده فازی تغییر می‌کنند. نتایج حاصل از شبیه‌سازی حرکت قطار با استفاده از رویکرد پیشنهادی بیانگر عملکرد بهتر الگوریتم و افزایش صرفه جویی سوخت می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: کاهش مصرف سوخت، کنترل آینده‌نگر، پنجره آینده‌نگری، کنترل فازی

۱- مقدمه

کل، توسعه اجزای جدید انتقال قدرت (به عنوان مثال، تکنولوژی پیل سوختی، فلاپیل‌ها، ابرخازن‌ها و انتقال قدرت پیوسته متغیر (CVT) و انتقال قدرت پیوسته نامتناهی (IVT) (Baumann et al., 2000)، بهینه‌سازی تقاضای انرژی برای بهره‌برداری از سیستم‌های جانبی (سیستم الکترونیک ۴۲ ولت، استارت/ژنراتور یکپارچه) و روشنایی کم‌انرژی (Teratani et al., 2003)، کاهش تلفات انرژی مانند درگ آئرو دینامیک، مقاومت اصطکاکی و تلفات ترمز با توجه به اینرسی خودرو، ادغام سیستم‌های انتقال قدرت موجود برای تولید فن‌آوری‌های پیشرفته انتقال قدرت و

با توجه به افزایش روزافزون مصرف انرژی و هزینه‌های ناشی از آن، تمامی صنایع در جهت کاهش مصرف انرژی و افزایش بازده تلاش می‌کنند. صنعت حمل و نقل به‌عنوان یکی از پرمصرف‌ترین صنایع در این زمینه حائز اهمیت است. تلاش‌های زیادی در جهت کاهش مصرف سوخت در صنعت حمل و نقل به کار گرفته شده است که از آن جمله می‌توان به بهینه‌سازی اجزای انتقال قدرت موجود (به‌عنوان مثال تکنولوژی تزریق مستقیم (DI) برای موتورهای احتراقی، سوپرشاژ و کوچک‌سازی اجزا، نسبت‌تراکم متغیر و زمان‌بندی متغیر سوپاپ) (Plotkin, 2009)، کاهش وزن

پنجره آینده‌نگری به طول ۲۰۰ متر و در فاصله ۳۰۰ متری مکان لحظه‌ای استفاده شده است و به ۳ درصد کاهش مصرف سوخت منجر شده است. روش آینده‌نگر در حمل و نقل ریلی نیز استفاده شده است (Saadat et al., 2014) که به ۲,۳ درصد کاهش مصرف سوخت انجامیده است. در این مقاله نیز یک پنجره آینده‌نگری به طول ۱۰۰ متر و در فاصله ۱۰۰ متری مکان لحظه‌ای قطار استفاده شده است. در تحقیقات مرور شده که رویکرد کنترل آینده‌نگر را استفاده نموده‌اند، با توجه به مساله مورد نظر خود مشخصات پنجره آینده‌نگری شامل طول پنجره و فاصله آن از مکان لحظه‌ای را اعداد ثابتی در نظر گرفته‌اند. درحالی که این پارامترها باید تحت تاثیر عواملی از قبیل سرعت لحظه‌ای وسیله نقلیه و ... انتخاب شوند و به صورت دینامیک تغییر یابد. با توجه به اینکه تحقیقات موجود در زمینه کنترل آینده‌نگر در مراحل اولیه خود می‌باشد، این تحقیقات روی ساختار داخلی بخش آینده‌نگر و پارامترهای موثر آن بحث نکرده‌اند. با توجه به سهم عمده حمل و نقل ریلی در جابجایی کالا و مسافر و اهمیت کاهش مصرف سوخت در این حوزه، در این مقاله برای پیاده‌سازی الگوریتم کنترل آینده‌نگر و رویکرد پیشنهادی از مدل حرکت قطار استفاده شده است.

پس از بحث و بررسی ساختار الگوریتم، رویکرد فازی پیشنهادی جهت تغییر لحظه‌ای طول و مکان پنجره آینده‌نگری شرح داده شده است. سپس مدل دینامیکی حرکت قطار و صورت مساله بهینه‌سازی مصرف سوخت و زمان سفر جهت شبیه‌سازی توضیح داده شده است. نهایتاً بهبود عملکرد الگوریتم آینده‌نگر با بکارگیری رویکرد پیشنهادی با استفاده از نتایج شبیه‌سازی نشان داده شده است.

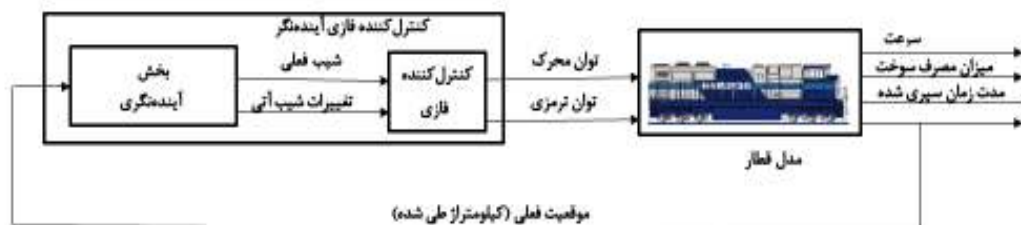
۲- الگوریتم کنترل فازی آینده‌نگر

کنترل آینده‌نگر، یک طرح کنترلی پیش‌بینی‌کننده است که با توجه به اختلالات آتی در توپوگرافی مسیر پیش‌روی وسیله نقلیه، عملیات شتابگیری و ترمز آن را کنترل می‌نماید. می‌توان کنترل آینده‌نگر را به دو قسمت آینده‌نگر و کنترل‌کننده فازی تقسیم نمود. ساختار کلی کنترل‌کننده آینده‌نگر در شکل ۱ نشان داده شده است.

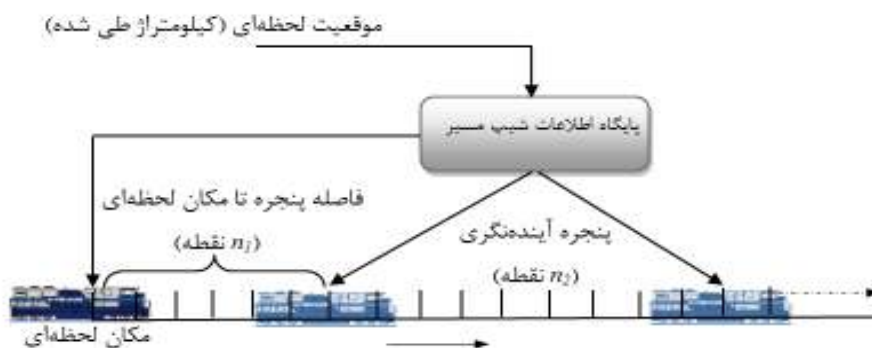
استفاده از سوخت جایگزین (CNG) اشاره نمود. یک رویکرد جدید در حوزه بهسازی مصرف سوخت وسایل نقلیه جاده‌ای و ریلی، روش کنترل آینده‌نگر می‌باشد. منطق اصلی این روش، استفاده از اطلاعات مسیر پیش‌رو (از قبیل شیب جاده، پیچ و قوس جاده، اطلاعات ترافیکی و ...) در تصمیم‌گیری‌های کنترلی برای شتابگیری و ترمز می‌باشد. در رویکرد آینده‌نگر قسمتی از مسافت مسیر پیش‌رو به عنوان "پنجره آینده‌نگری" انتخاب شده و از مشخصات مسیر داخل این پنجره میانگین گرفته می‌شود. این مقادیر میانگین بیانگر مشخصات مسیر پیش‌رو خواهد بود. شروع پنجره آینده‌نگری در فاصله مشخصی از مکان فعلی وسیله نقلیه قرار دارد، که این فاصله به‌عنوان بازه اعمال فرامین کنترلی قبلی شناخته می‌شود. در واقع یک بخش آینده‌نگری اطلاعات مسیر پیش‌رو را استخراج کرده و به بخش کنترلی ارسال می‌نماید. بخش کنترلی می‌تواند با استفاده از این اطلاعات، بر مبنای تئوری‌های مختلف کنترلی عمل نماید.

روش آینده‌نگر به عنوان یک ابزار موثر در کاهش مصرف سوخت کامیون توسط هلسترم استفاده شد که در آن از برنامه‌ریزی پویا در حل مساله بهینه‌سازی استفاده نمود (Hellström et al., 2009). در این مقاله یک پنجره آینده‌نگری به طول ۱۵۰۰ متر که دقیقاً از مکان لحظه‌ای خودرو آغاز می‌شود استفاده شده است که به ۳,۵ درصد کاهش مصرف سوخت منجر شده است. روش آینده‌نگر فازی توسط گنجی و همکارانش به عنوان یک روش سریع در بهینه‌سازی مصرف انرژی خودروهای سواری هیبرید استفاده شد (Ganji et al., 2011).

در این مقاله یک پنجره آینده‌نگری به طول ۱۰ متر و در فاصله ۲۰۰ متر از مکان لحظه‌ای خودرو لحاظ شده است. نتایج مطالعه انجام شده، منجر به صرفه‌جویی ۲,۶ درصدی در مصرف سوخت خودرو گردید. خیام و همکارانش از این رویکرد جهت بهینه‌سازی سیستم تهویه خودرو استفاده نمودند (Khayyam (et al.), 2011). نتایج ارائه شده، کارایی قابل توجهی از بکار بستن این روش در صنعت حمل و نقل جاده‌ای را نشان داد. از سیستم آینده‌نگر به صورت ترکیبی با سیستم کروز خودرو نیز استفاده شده است (Khayyam (et al.), 2012). که در این دو مقاله یک



شکل ۱. ساختار کلی کنترل کننده فازی آینده‌نگر



شکل ۲. بخش آینده‌نگری

بخش اول الگوریتم کنترل آینده‌نگر، آینده‌نگری می‌باشد. در این بخش، اطلاعات شیب و فراز مسیر بایستی در اختیار باشد. در مسیرهای ریلی، این اطلاعات به صورت فایلی که مسیر را به صورت قطعات مشخصی با تعیین کیلومتر از شروع و پایان هر قطعه مسیر همراه با شیب و قوس آن ارائه می‌کند موجود می‌باشد. برای تعیین شیب مسیر پیش‌رو یک پنجره آینده‌نگری در نظر گرفته و از شیب نقاط داخل این

بخش آینده‌نگری گرفته می‌شود. بخش آینده‌نگری در شکل ۲ نشان داده شده است. مسیر به صورت مجموعه‌ای از نقاط گسسته فرض می‌شود که اطلاعات شیب آنها در پایگاه اطلاعات مسیر موجود می‌باشد. اگر فاصله شروع پنجره آینده‌نگری از مکان لحظه‌ای n_1 نقطه و طول پنجره n_2 نقطه در نظر گرفته شود، می‌توان شیب مسیر پیش‌رو را چنین بیان نمود:

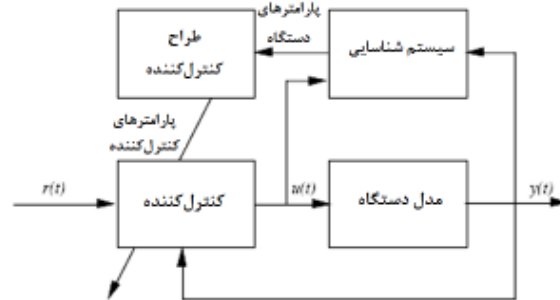
$$\text{شیب مسیر پیش‌رو} = \frac{\sum_{k=n_1}^{n_1+n_2} (\text{شیب نقاط داخل پنجره})}{n_2} \quad (1)$$

تصمیم‌گیری می‌شود. تجربیات عملی یک راننده قطار در قالب دو گزاره کلی مبنای استخراج پایگاه قوانین فازی قرار گرفت. تجربه راننده در کاهش سرعت، طی یک مسیر سربلایی به عنوان گزاره اول و همچنین افزایش سرعت در مسیر سربایینی به عنوان گزاره دوم در نظر گرفته شده است (Saadat et al., 2014).

بخش دوم الگوریتم کنترل فازی آینده‌نگر، کنترل کننده فازی است. این بخش در واقع نقش تصمیم‌گیرنده را در الگوریتم کنترلی برعهده دارد. اطلاعات استخراج شده شیب مسیر پیش‌رو به کنترل کننده فازی وارد می‌شود که در آن بر مبنای قوانین فازی حاصل از تجربه متخصص، در خصوص تغییرات سرعت (و یا در حقیقت برای توان محرک و ترمز)

کنترل‌کننده (کنترل‌کننده بالادست) تغییرات لازم را در کنترل‌کننده اصلی (پایین دست) اعمال کنیم. شکل شماتیک این روش در شکل ۳ نشان داده شده است.

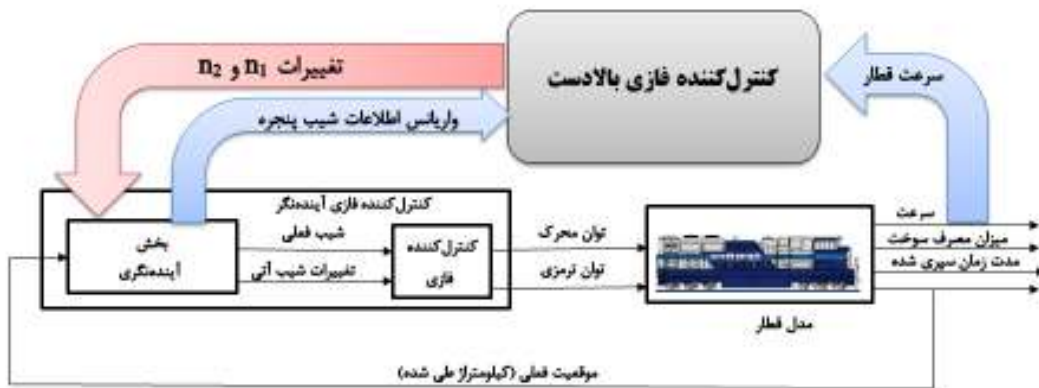
۳- رویکرد پیشنهادی: روش تطبیق پذیری غیرمستقیم فازی در این روش ابتدا با توجه به سیگنال های سیستم، پارامترهایی از سیستم تحت کنترل را که در طراحی کنترل‌کننده موثرند را تعیین کنیم و به وسیله یک طراح



شکل ۳. تطبیق پذیری غیر مستقیم

n_2 عبارتند از: سرعت لحظه‌ای و همچنین واریانس اطلاعات شیب نقاط داخل پنجره. بلوک دیاگرام کلی مساله در شکل ۴ نشان داده شده است.

در مساله حاضر، بهبود عملکرد بخش آینده‌نگری به وسیله تنظیم دینامیکی دو پارامتر n_1 و n_2 توسط یک کنترل کننده فازی بالادستی مدنظر است. دو پارامتر موثر در تعیین n_1 و



شکل ۴. بلوک دیاگرام کلی مساله

دارای دو متغیر ورودی شامل تغییرات سرعت لحظه‌ای و تغییرات لحظه‌ای واریانس شیب نقاط داخل پنجره و دو متغیر خروجی شامل تغییرات n_1 و تغییرات n_2 می‌باشد. برای متغیرها از پنج تابع عضویت مثلثی شکل استفاده شد که عبارتند از: منفی بزرگ (nb)، منفی متوسط (nm)، صفر، مثبت متوسط (pm) و مثبت بزرگ (pb). پایگاه قوانین فازی در جداول ۱ و ۲ بیان شده است.

منطق اصلی در پایگاه قوانین فازی بدین صورت است که هر چه سرعت قطار افزایش یابد بایستی پنجره آینده‌نگری در فاصله بیشتری از مکان لحظه‌ای قرار گیرد که فرصت برای برنامه‌ریزی برای تغییرات شیب در نقاط پنجره باشد. از طرف دیگر هرچه واریانس اطلاعات شیب بیشتر باشد بایستی پنجره کوچکتری در نظر گرفت تا نقاط داخل پنجره یکنواختی بیشتری داشته باشند. کنترل‌کننده فازی بالادست

جدول ۱. قوانین فازی برای تغییرات n_1

تغییرات n_1	تغییرات سرعت لحظه‌ای					
	P	BN	MN	Z	MP	BP
تغییرات واریانس شیب	Z	-	-	Z	-	-
	N	-	-	Z	-	-

جدول ۲. قوانین فازی برای تغییرات n_2

تغییرات n_2	تغییرات سرعت لحظه‌ای					
	P	BN	MN	Z	MP	BP
تغییرات واریانس شیب	Z	-	-	Z	-	-
	N	BP	MP	Z	MN	BN

۴-مدل قطار و توابع هدف بهینه‌سازی

می‌توان معادله دینامیکی حرکت قطار را مطابق معادله ۲ بیان نمود.

$$v\dot{v} = \frac{p}{v} - q - r(v) + g(x) \quad (2)$$

ماکزیمم نیروی ترمز به ازای واحد جرم است. نیروی مقاوم حرکت قطار $r(v)$ بر اساس رابطه دیویس به صورت معادله ۳ در نظر گرفته می‌شود. که در آن a و b و c ضرایب ثابتی هستند که به شکل دماغه قطار و ... بستگی دارند و به صورت تجربی به دست می‌آیند. زمان سپری شده t ضمن طی مسافت X مطابق معادله ۴ محاسبه می‌شود.

$$r(v) = a + bv + cv^2 \quad (3)$$

$$t(X) = \int_0^X \frac{1}{v} dx \quad (4)$$

$$J_f(X) = \int_0^X \frac{p}{v} dx \quad (5)$$

استراتژی پیشنهادی و استراتژی سرعت ثابت فرضی V جریمه می‌شود (Howlett et al, 2009). به عبارت دیگر در تابع هزینه ترکیبی J مطابق معادله ۶، هم مدت زمان و هم مصرف سوخت لحاظ شده است.

$$J(v) = \psi(v) \left[\Delta t - \frac{\Delta x}{V} \right] + \int_0^X [r(v) - r(V)] dx \quad (6)$$

که در آن $\psi(v) = v^2 \cdot \dot{r}(v)$ و $\Delta x = X$ و $\Delta t = t(X) - t(0)$ می‌باشد.

با توجه به اینکه شیب مسیر حرکت قطار به عنوان تابعی از موقعیت بیان می‌شود، معادله حرکت بر حسب متغیر مستقل x فرمول‌بندی می‌شود. با فرض جرم نقطه‌ای برای قطار

که در آن v سرعت حرکت قطار، p توان محرک به ازای واحد جرم، q نیروی ترمز به ازای واحد جرم، r نیروی مقاوم اصطکاک به ازای واحد جرم و g مولفه شتاب گرانش در جهت مسیر حرکت می‌باشد. توان محرک و نیروی ترمز دارای قیود حدی می‌باشند به عبارت دیگر $0 < p < P$ و $0 < q < Q$ P ماکزیمم توان محرک به ازای واحد جرم و Q

$$r(v) = a + bv + cv^2 \quad (3)$$

$$t(X) = \int_0^X \frac{1}{v} dx \quad (4)$$

تابع هزینه مصرف سوخت $J_f(X)$ را می‌توان مطابق معادله ۵ بیان نمود.

$$J_f(X) = \int_0^X \frac{p}{v} dx \quad (5)$$

اگر مدت زمان ثابتی برای سفر در نظر گرفته شود، استراتژی حفظ سرعت ثابت، کمترین مقدار انرژی و به تبع آن کمترین مقدار سوخت را مصرف می‌کند، لذا در تابع هزینه ترکیبی، اختلاف کار انجام شده و اختلاف زمان طی مسیر توسط

$$J(v) = \psi(v) \left[\Delta t - \frac{\Delta x}{V} \right] + \int_0^X [r(v) - r(V)] dx \quad (6)$$

۵- پیاده‌سازی رویکرد پیشنهادی

جدول ۳ بیان شده است. در شکل ۵ نمودار g که بیانگر تغییرات شیب و فراز مسیر می‌باشد (با علائم ∇) نشان داده شده است. محور افقی بیانگر مسیر طی شده x می‌باشد. به علت کوچک بودن مقادیر g و برای نمایش همزمان با نمودارهای سرعت، این پارامتر ۲۰۰ برابر و سپس ۱۷ واحد افزایش یافته است.

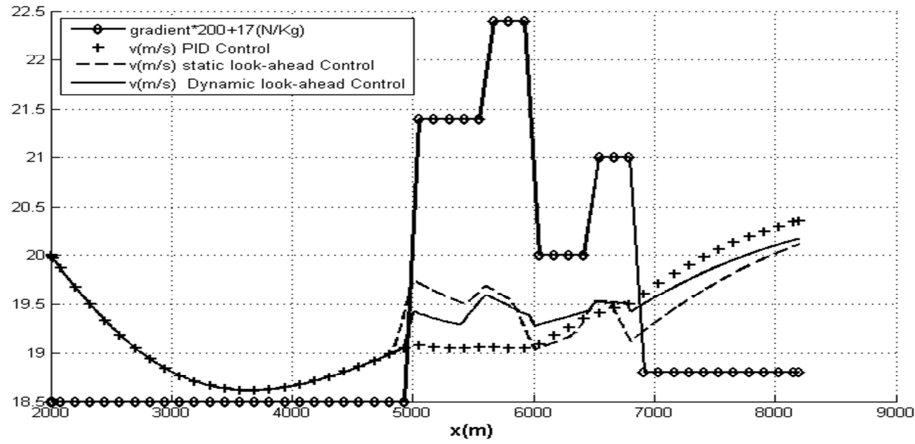
به منظور پیاده‌سازی رویکرد پیشنهادی، حرکت یک قطار که با سرعت ثابت ۲۰ متر بر ثانیه از یک قسمت شیب‌دار و سربالایی عبور می‌کند شبیه‌سازی شده است. ضرایب ثابت در معادله نیروی مقاوم $r(v)$ عبارتند از $a=0,00675$ و $b=0$ و $c=0,00005$ و ماکزیمم توان محرک (P) برابر با ۳ وات بر کیلوگرم در نظر گرفته شده است. مسیر مورد نظر دارای شش بلوک با شیب ثابت می‌باشد که اطلاعات آن در

جدول ۳. اطلاعات شیب مسیر

شماره بلوک	نقطه شروع (متر)	نقطه پایان (متر)	g (نیوتن بر کیلوگرم)
۱	۲۰۰۰	۵۰۰۰	۰,۰۰۷۵
۲	۵۰۰۰	۵۶۰۰	۰,۰۲۲
۳	۵۶۰۰	۶۰۰۰	۰,۰۲۷
۴	۶۰۰۰	۶۵۰۰	۰,۰۱۵
۵	۶۵۰۰	۶۸۰۰	۰,۰۲
۶	۶۸۰۰	۸۲۰۰	۰,۰۰۹

بالادست جهت تنظیم لحظه‌ای n_1 و n_2 شبیه‌سازی گردید که پروفیل سرعت حاصل از آن در شکل ۵ به صورت خط ساده و بدون علامت نشان داده شده است. با مقایسه پروفیل‌های سرعت در شکل ۵ مشاهده می‌شود که کنترل‌کننده‌های فازی آینده‌نگر قبل از افزایش فراز سرعت را افزایش و قبل از کاهش فراز، سرعت را کاهش داده‌اند و در مقایسه با کنترل‌کننده PID توانسته‌اند، تاثیر افزایش شیب و فرازها بر تغییر سرعت را مدیریت نمایند. پارامترهای n_1 و n_2 و توابع هزینه سه رویکرد در جدول ۴ مرور شده است. مشاهده می‌شود که کنترل آینده‌نگر دارای کنترل فازی بالادست به لحاظ زمان سفر و میزان مصرف سوخت نسبت به دو رویکرد دیگر برتری دارد.

در ابتدا رفتار یک راننده قطار به صورت یک کنترل‌کننده PID که قصد حفظ سرعت ۲۰ متر بر ثانیه را دارد شبیه‌سازی شد. پروفیل سرعت بدست آمده مطابق شکل ۵ (با علائم+) می‌باشد. در گام بعد کنترل‌کننده آینده‌نگر شبیه‌سازی شد. مسیر به صورت مجموعه نقاطی با فاصله dx برابر با ۱۰ متر گسسته‌سازی شد. یک پنجره آینده‌نگری به طول ثابت ۵۰ متر ($n_2=5$) در نظر گرفته شد. شایان ذکر است که شروع پنجره آینده‌نگری نیز در فاصله ثابت ۵۰ متری ($n_1=5$) از مکان لحظه‌ای قطار لحاظ گردید. پروفیل سرعت حاصل از کنترل‌کننده آینده‌نگر بدون کنترل فازی بالادست در شکل ۵ و به صورت خط چین نشان داده شده است. در مرحله سوم کنترل‌کننده فازی آینده‌نگر دارای کنترل فازی



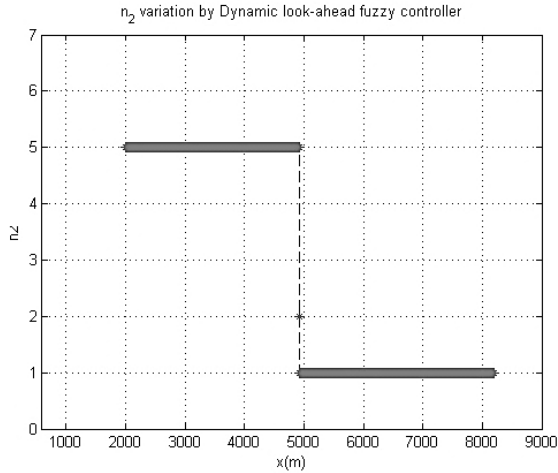
شکل ۵. نتایج شبیه‌سازی کنترل آینده‌نگر دارای کنترل فازی بالادست

جدول ۴. پارامترها و توابع هزینه سه رویکرد

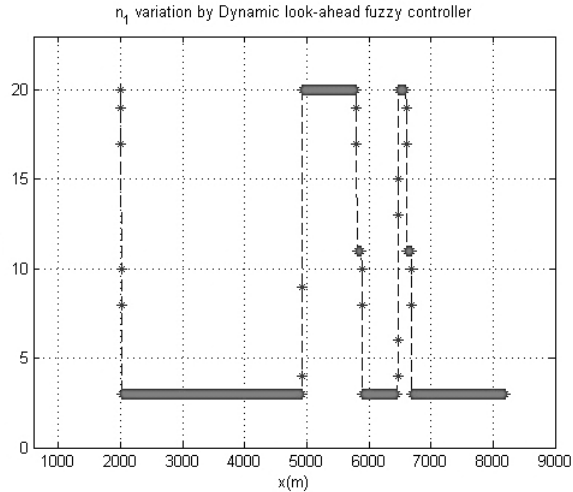
J	J_f	t	n_2	n_1	رویکرد کنترل
۰,۷۹۵۳	۲۳۶,۳	۳۲۲,۴	-	-	راننده عادی (کنترل‌کننده PID)
۰,۷۳۸۹	۲۳۳,۸	۳۲۲,۳	۵	۵	کنترل آینده‌نگر بدون کنترل فازی بالادست
۰,۶۹۳۶	۲۳۳,۲	۳۲۱,۷	مطابق شکل ۷	مطابق شکل ۶	کنترل آینده‌نگر دارای کنترل فازی بالادست

ترتیب در شکل‌های ۶ و ۷ نشان داده شده است. این نکته قابل ذکر است که با توجه به تغییرات کم واریانس شیب نقاط داخل پنجره در مسیر مورد شبیه‌سازی تغییرات n_2 نسبت به n_1 کمتر است.

کنترل‌کننده آینده‌نگر دارای کنترل فازی بالادست توانسته است با تغییر دادن طول و مکان پنجره، تخمین بهتری از شیب مسیر پیش‌رو داشته باشد. نمودار تغییرات پارامترهای n_1 و n_2 طی مسیر شبیه‌سازی توسط کنترل فازی بالادست به



شکل ۷. تغییرات n_2 توسط کنترل فازی بالادست

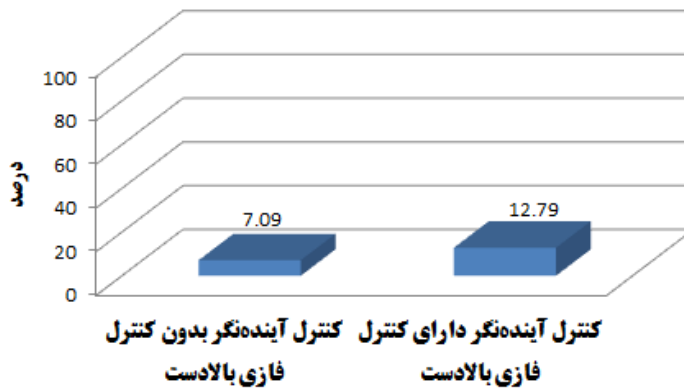


شکل ۶. تغییرات n_1 توسط کنترل فازی بالادست

با توجه به شکل ۸، بکارگیری کنترل فازی بالادستی می تواند عملکرد کنترل آینده‌نگر را به میزان ۵٫۷ درصد در تابع هزینه ترکیبی J بهبود دهد.

با توجه به جدول ۴ می توان گفت با استفاده از کنترل فازی بالادست می توان عملکرد کنترل آینده‌نگر را بهبود داد. مقایسه کاهش تابع هزینه ترکیب مصرف سوخت و زمان سفر در کنترل کننده آینده‌نگر در صورت وجود و عدم وجود کنترل فازی بالادستی نسبت به کنترل کننده PID در شکل ۸ نشان داده شده است.

میزان کاهش تابع هزینه J نسبت به کنترل PID



شکل ۸. مقایسه عملکرد کنترل آینده‌نگر در صورت وجود و عدم وجود کنترل فازی بالادست

۶- نتیجه گیری

آینده‌نگری توسط یک کنترل کننده فازی بالادستی به صورت لحظه‌ای و بر اساس واریانس اطلاعات شیب نقاط داخل پنجره و سرعت لحظه‌ای تنظیم شد. با توجه به نتایج

در این مطالعه، عملکرد کنترل کننده فازی آینده‌نگر به عنوان یک طرح جدید در راستای کاهش مصرف سوخت وسایل نقلیه مورد بررسی قرار گرفت. طول و مکان پنجره

consumption”, Control Engineering Practice, Vol.17, No.2, pp. 245-254.

-Ganji. B., Kouzani. A., (2010), “A Study on look-ahead control and energy management strategies in hybrid electric vehicles” 2010 8th IEEE International Conference on Control and Automation Xiamen, China.

-Hellström. E. Aslund. J., Nielsen. L., (2010), “Design of an efficient algorithm for fuel-optimal look-ahead control”, Control Engineering Practice, vol. 18, pp.1318–1327.

-Ganji. B, Kouzani. A., Hessami. M., (2011), “Backward modeling and look-ahead fuzzy energy management controller for a parallel hybrid vehicle”, Control and Intelligent Systems, Vol. 39, No. 3.

-Khayyam.H, Nahavandi.S, Hu.E, Kouzani.A, Chonka.A, Abawajy.J, Marano.V, Davis.S (2011) “Intelligent energy management control of vehicle air conditioning via look-ahead System”, Applied Thermal Engineering, vol. 31, pp. 3147-3160.

- Khayyam, H., A., Nahavandi, S., b., Sam Davis c., (2012), “ Adaptive cruise control look-ahead system for energy management of vehicles”, Expert Systems with Applications 39, 3874–3885.

-Saadat M., Esfahanian M, Saket M. (2014), “Fuzzy Look-Ahead Control Optimization for Diesel Locomotives Energy Consumption”, Proceedings of the ASME 8th International Conference on Energy Sustainability & 12th Fuel Cell Science, Engineering and Technology Conference ESFuel Cell, June 29-July2, Boston, Massachusetts, USA.

شبه‌سازی حرکت قطار مشخص گردید که استفاده از رویکرد کنترل فازی بالادستی می‌تواند عملکرد کنترل آینده‌نگر را در کاهش زمان سفر و همچنین کاهش مصرف سوخت بهبود بخشد که در مثال مورد بررسی بکارگیری کنترل فازی بالادستی توانست تابع هزینه ترکیب مصرف سوخت و زمان سفر را به میزان ۵,۷ درصد کاهش دهد.

۷-مراجع

-B. M. Baumann, G. Washington, B. C. Glenn, and G. Rizzoni (2000), “Mechatronic design and control of hybrid electric vehicles”, IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, vol. 5, no. 1, pp. 58-72.

-T. Teratani, K. Kuramochi, H. Nakao, T. Tachibana, K. Yagi, and S. Abou (2003), “Development of Toyota mild hybrid system (THS-M) with 42v power net”, Electric Machines and Drives Conference, IEEE International, Vol. 1, pp. 3-10.

-Krug.A (2006), “Railroad Facts and Figures”.

-Howlett. P., Pudney. P., Vu. X. (2009), “Local energy minimization in optimal train control”, Automatica, Vol. 45, pp. 2692–2698.

-S. E. Plotkin (2009), “Examining fuel economy and carbon standards for light vehicles,” Energy Policy, Vol. 37, No. 10, pp. 3843-3853.

-Hellström. E., Ivarsson. M., Åslund.J., Nielsen. L., (2009), “Look-ahead control for heavy trucks to minimize trip time and fuel