زمان بندی مطلوب تقاطع‌های سری با هدف کاهش تأخیر با استفاده از ترکیب شبکه‌های عصبی مصنوعی و الگوریتم ژنتیک

شهریار افندی زاده[۱] ، آتوسا تاج الدینی[۲]
۱- دانشیار دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد برنامه‌ریزی حمل و نقل، دانشگاه آزاد اسلامی تهران واحد جنوب

چکیده

کارایی شبکه حمل و نقل متأثر از متغیرهای تصمیم‌گیری و عملکردی متفاوتی می‌باشد. بعضی از این متغیرها مربوط به الگوهای بارگذاری در شبکه بوده و دسته‌ای دیگر مربوط به کنترل جریان وسائل نقلیه در شبکه می‌باشند. در شبکه راه‌های شهری، چراغ‌های راهنمایی برای کنترل حرکت‌های وسائل نقلیه در راستای کاهش تراکم ترافیک و افزایش ایمنی در تقاطعات استفاده می‌شوند. شناخت الگوهای ترافیکی نقش بسیار اساسی در افزایش کارایی چراغ‌های راهنمایی دارد. در این مطالعه از شبکه‌های عصبی مصنوعی به عنوان شبکه‌های تقریب‌ساز در جهت پیش‌بینی وضعیت ترافیک و از الگوریتم ژنتیک به عنوان یک ابزار مناسب برای جستجوی یک زمان‌بندی بهینه از میان زمان‌بندی‌های احتمالی گسترده در یک شبکه شامل تقاطعات متوالی استفاده شده‌است. در این نوع مطالعه برای ارزیابی معیار کارایی یک شبکه که تأخیر می‌باشد، به جای استفاده از روابط ریاضی تقریبی از سابقه‌ی آماری خود تقاطعات استفاده می‌شود. نتایج نشان دهنده این موضوع است که روش پیشنهادی هم از لحاظ خطا و هم زمان محاسبات در وضعیت مناسبی قرار دارد و نسبت به نرم‌افزار بهینه‌ساز سینکرو تأخیر را به میزان بیشتری کاهش می‌دهد.

کلید واژه: زمان بندی چراغ،بهینه سازی، شبکه عصبی، الگوریتم ژنتیک

۱- مقدمه

تعیین زمان بندی چراغ های ترافیکی اگر به صورت مناسب انجام پذیرد، باعث افزایش ایمنی و کاهش تأخیر در تقاطعات می شود. بسیاری از روش های بهینه سازی چراغ از مفهوم کاهش تاخیر به صورت مجزا و یا ترکیبی با دیگر پارامترها استفاده می‌کنند. کاهش تاخیر در شرایط زیر اشباع که واپس زدگی صف باعث مسدود شدن خط‌های عملکردی مجاور و یا تقاطعات مجاور نشود پارامتر موثری است[۱].

نرم‌افزارهای رایج اندکی همانند سینکرو، ترانزیت ، ماکس باند برنامه هماهنگ‌سازی زمان‌بندی چراغ را با استفاده از مفهوم کاهش تاخیر ارائه می‌کنند.

تمامی این تکنیک‌ها در شرایط زیر اشباع که در آن تقاضا کمتر از ظرفیت است و صف تشکیل شده قبل از اتمام زمان سبز متلاشی و پراکنده می شود کاربرد دارد. اما در شرایط فوق اشباع، صف تشکیل شده بعد از اتمام زمان سبز پراکنده نمی‌شود که در این حالت اگر ترافیک به درستی مدیریت نشود ممکن است صف افزایش یافته و جریان بالادست را دچار مشکل کند و به یک گره ترافیکی بزرگ تبدیل شود. برای ممانعت از این اتفاق باید اثر صف در شبکه‌های فوق اشباع به درستی بررسی شود و تکنیک‌های بهینه‌سازی این موضوع را در تابع هدف و یا محدودیت‌های خود اعمال کنند[۲].

از آنجایی که الگوهای رفتاری وسائل نقلیه در تقاطعات به صورت تصادفی و غیر قطعی می‌باشند، بسیاری از مهندسان و کارشناسان ترافیک با تمرکز کردن بر روی الگوریتم‌های هوشمند از قبیل منطق فازی، هوش مصنوعی و الگوریتم ژنتیک قصد در دست‌یابی به بهترین برنامه زمان‌بندی برای تقاطعات را دارند[۳]. شبکه‌های عصبی ابزارهای محاسباتی با کاربرد آسان هستند که ضمن آزمودن داده‌ها، مدل‌هایی را توسعه می‌دهند که به تعیین الگوها و ساختارهای جالب در داده‌ها کمک می‌کنند. داده‌های به کار

1- zargari@iust.ac.ir
2- atoosa.civileng@gmail.com

1- Synchro
2- Transyt-7F
3- MAXBAND

رفته در توسعه این مدل‌ها به عنوان داده‌های « آموزشی « شناخته می‌شوند. زمانی که یک شبکه عصبی در معرض داده‌های آموزشی قرار گیرند و الگوی نهفته در آن داده‌ها را یاد گیرد، می‌تواند برای داده‌های جدید نیز در تولید خروجی‌های متنوع به کار گرفته شود[۴].

بنابراین بر اساس تحقیقاتی که سایتو و فان انجام دادند در صورتی که شبکه‌های عصبی به درستی آموزش داده‌شوند، ترکیب آنها با یک روش جستجوی تصادفی مناسب مانند الگوریتم ژنتیک می‌تواند ابزار خوبی برای کنترل دینامیکی چراغ‌ها باشد[۵].

سیستم کنترل چراغ‌های ترافیکی باید قادر به تنظیم صحیح پارامترهای تنظیم‌کننده چراغ (مانند زمان سبز، طول چرخه،...) باشد تا بتواند جوابگوی تقاضا ترافیک باشد[۶]. توجه به این نکته که سیستم مدیریت ترافیک سیستمی با مقیاس بزرگ است، لذا بیان دقیق و ارزیابی دقیق شرایط ترافیکی کاری غیرممکن است. از طرف دیگر پیش‌بینی تاثیر هریک از پارامترهای زمان‌بندی به علت غیر خطی و پیچیده بودن مسائل ترافیکی به سادگی امکان پذیر نیست. لذا توانایی شبکه عصبی در ذخیره دانسته‌های تجربی یکی از ابزارهایی است که می‌تواند در تحلیل شرایط تقاطعات در شرایط زمان‌بندی متفاوت و تخمین شرایط آتی تقاطعات موثر باشد[۷].

۲- روش تحقیق

در ابتدا بایستی پارامترهای اساسی در فازبندی و زمان‌بندی چراغ‌ها مشخص شوند. متغیرهای زمان‌بندی شامل طول چرخه (که در هماهنگ‌سازی زمان چراغ‌های راهنمایی به صورت مشترک بین تمامی قطعات در نظر گرفته می‌شود)، تخصیص فاز سبز به هر رویکرد، مدت زمان زرد و قرمز (که از آنجا که این دو متغیر جزئی از طول چرخه محسوب می‌شوند معمولاً ثابت در نظر گرفته می‌شوند)

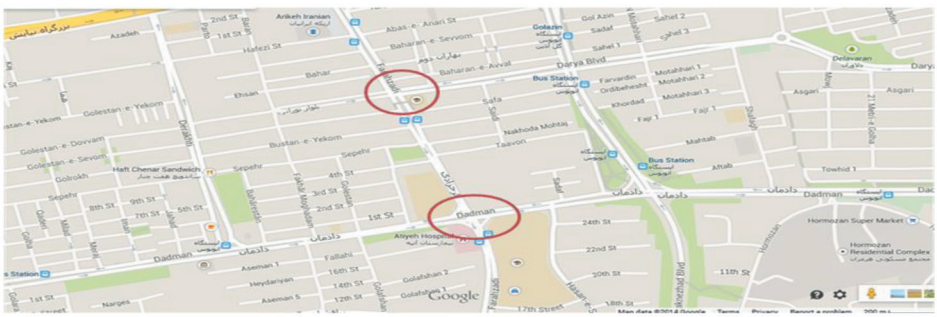
متغیرهای فازبندی به صورت تعیین حرکت‌های همزمان ، توالی و اجرای آنها می‌باشد. حرکت راستگرد معمولاً با حرکت مستقیم انجام می شود اما حرکت چپگرد به صورت حفاظت شده ، حفاظت نشده و ترکیبی از دو حالت فوق می‌تواند پیش‌بینی شود.

در مرحله اول لازم است که یک سابقه آماری از رفتار تقاطعات موجود باشد. برای تهیه این سابقه آماری، زمان‌بندی‌های مختلف به سیستم کنترل تقاطعات اعمال شده و میانگین تأخیر حاصل از هر طرح برداشت می‌شود.

متغیرهای فازبندی و زمان‌بندی به عنوان گره‌های لایه ورودی شبکه عصبی معرفی می‌شوند و در لایه خروجی تأخیر به عنوان معیار کارایی کل شبکه قرار می‌گیرد. لایه ورودی در شبکه‌های عصبی لایه‌ای است که در آن دسته آموزشی جهت آموزش شبکه اعمال می‌شود و این لایه در واقع به عنوان دروازه‌ی شبکه می‌باشد. لایه خروجی آخرین لایه شبکه اعصاب می‌باشد و به دلیل اینکه نیاز به خروجی‌های مطلوب می‌باشد این لایه جز مهمترین قسمت شبکه به شمار می‌رود. در واقع خروجی‌های شبکه که در این تحقیق تأخیر می‌باشد در این لایه تولید می‌شود و با خروجی‌های مطلوب مقایسه می‌شود. الگوریتم انتشار- برگشتی با توزیع خطای خروجی به صورت لایه به لایه به سمت عقب و با تنظیم وزن‌ها در هر لایه، لایه‌های پنهان را تربیت می‌کند. بنابراین در یک شبکه بازگشتی لایه‌های پنهان هسته اصلی محاسباتی را تشکیل می‌دهند و این لایه‌ها هستند که بوسیله نرون‌ها ورودی‌ها را از لایه ورودی دریافت می‌کنند و سپس مقدار خروجی را در لایه خروجی تولید می‌کنند. هر تقاطع به صورت مجزا زمان‌بندی می‌شود و تحت زمان‌بندی‌های مختلف کل شبکه بررسی می‌شود و تأخیر شبکه تخمین زده می‌شود ابتدا توسط ۷۰% از داده‌های ورودی و خروجی و یا به عبارت دیگر متغیرهای زمان‌بندی و فازبندی و میانگین تأخیر جمع آوری شده از تقاطعاتی که زمان‌بندی‌های مختلف به آنها اعمال می شود شبکه آموزش می‌بیند و با ۳۰% از مابقی داده‌ها شبکه اعتبارسنجی می‌شود. مرحله بعدی جستجوی زمان‌بندی بهینه است. در این مرحله یک روش جستجوی تصادفی هدایت شده تحت عنوان الگوریتم ژنتیک به کار گرفته می‌شود. در هرمرحله از اجرای الگوریتم ژنتیک، افراد مناسبی از نسل قبل برای تولید نسل بعدی جواب‌ها به کار گرفته می‌شوند و پس از تعداد مناسبی تکرار (که با استفاده از تجربه بدست می‌آید)، فردی از جمعیت که دارای بیشترین شایستگی باشد به عنوان جواب مسئله در نظر گرفته می‌شود. فرایند اجرای الگوریتم ژنتیک نیز با استفاده از کدهای توسعه یافته در محیط نرم‌افزار MATLAB اجرا می‌شود.

۳- مطالعه موردی

جهت مدل‌سازی، دو تقاطع مجاور یعنی دادمان- فرحزادی و دادمان- دریا انتخاب شده است که دارای شکل طبیعی و تا حدودی منظم می‌باشند و از نظر موقعیتی در جایی واقع شده‌اند که حجم ترافیک عبوری قابل توجهی دارند و از آنجایی که این الگوریتم فاز جداگانه‌ای را برای عابرین پیاده در نظر نمی‌گیرد، حجم عابرین پیاده نباید زیاد بوده و اختلالی در حرکت خودروها ایجاد کند (شکل ۱).



شکل ۱: نقشه محل قرارگیری تقاطعات

۳-۱- برداشت اطلاعات

برای بدست آوردن ماتریس مبدأ - مقصد آماربرداری حجم در دو زمان اوج صبح و بعد از ظهر به صورت یک چرخه آماربرداری ۱۵ دقیقه‌ای انجام شده و پس از تبدیل به معادل ساعتی در (جدول ۱) نمایش داده شده است.

	فرحزادی جنوب	دادمان شرق	دریا شرق	فرحزادی شمال	دریا غرب	دادمان غرب
فرحزادی جنوب	۱۴۸	۱۲۰	۱۰۸	۶۱۱	۱۸۳	۳۰۴
دادمان شرق	۶۱۴	۴	۳۳	۱۸۷	۵۶	۱۲۷۳
دریا شرق	۲۹۲	۶۴	۱۷۶	۲۸۱	۳۵۱	۱۱۶
فرحزادی شمال	۶۲۵	۲۲۶	۵۵۶	۲۸۶	۵۷۰	۱۴۴
دریا غرب	۱۳۱	۳۰	۵۵۹	۲۰۷		۴۷
دادمان غرب	۱۹۳	۶۸۸	۴۹	۲۷۷	۸۳	۷۵

جدول ۱: نمایش حجم عبوری بین مبادی و مقاصد در تقاطع های دادمان-فرحزادی و دریا فرحزادی

در حال حاضر تقاطع فرحزادی- دادمان هم سطح بوده و کنترل آن توسط چراغ راهنمایی هوشمند به صورت ۴ فازه انجام می‌شود. تقاطع فرحزادی- دریا نیز به صورت هم سطح بوده و کنترل آن توسط چراغ راهنمایی به صورت ۳ فاز انجام می شود.

مدت زمان سبز و قرمز چراغ راهنمایی موجود در تقاطع فرحزادی با بلوار دادمان و دریا در ساعت اوج به ترتیب در (جدول ۲) و (جدول۳) نمایش داده شده‌است.

فاز	نام مسیرهای تقاطع فرحزادی – دادمان	مدت زمان سبز (ثانیه)	مدت زمان قرمز (ثانیه)
1	فرحزادی به سمت شمال، شرق و غرب	۳۴	۱۲۱
2	فرحزادی به سمت جنوب،شرق و غرب	۴۱	۱۱۴
3	دادمان به سمت غرب، شمال و جنوب	۳۶	۱۱۹
4	دادمان به سمت شرق، شمال و جنوب	۳۲	۱۲۳

جدول ۲: زمان بندی چراغ های راهنمایی تقاطع فرحزادی – دادمان

فاز	نام مسیرهای تقاطع فرحزادی-دادمان	مدت زمان سبز (ثانیه)	مدت زمان قرمز (ثانیه)
۱	فرحزادی به سمت شمال، شرق و غرب	۴۲	۱۱۱
۲	دریا به سمت غرب، شرق، شمال و جنوب	۵۳	۱۰۰
۳	فرحزادی به سمت جنوب، شرق و غرب	۴۹	۱۰۴

جدول ۳: زمان بندی چراغ های راهنمایی تقاطع فرحزادی- دریا

۳-۲- اعمال زمان‌بندی‌های مختلف به تقاطع‌ها

با استفاده از اطلاعات جمع‌آوری شده، در بخش قبل، مدل پیشنهادی پرداخته می‌شود. برای این کار ابتدا زمان‌بندی‌های موجود با استفاده از نرم افزار SYNCHRO توسعه داده شده بدین‌صورت که طول چرخه‌های مختلف برای تقاطعات در یک بازه معین اعمال می‌شود همچنین فازبندی‌های مختلف (به صورت چپگرد محافظت شده، محافظت نشده و ترکیبی از دو حالت فوق) برای تقاطعات در نظر گرفته می‌شود و با درنظر گرفتن ۱۶۲ حالت برای دو تقاطع مورد نظر تأخیر برای هر حالت به صورت مجزا براشت می‌شود. سپس مجموعه آمار تهیه شده برای آموزش شبکه عصبی مورد استفاده قرار می‌گیرد

۳-۳- تقریب مقدار تأخیر با استفاده از شبکه عصبی

در این بخش کلیه داده‌های بدست آمده از مدل‌سازی به وسیله برنامه شبکه عصبی چند لایه مورد تحلیل قرار گرفته و میزان تاخیر تقریب زده شده است. جهت تقریب‌سازی با شبکه عصبی از شبکه عصبی چند لایه در نرم افزار متلب و با دستور پایه‌ای newfit استفاده شده است.

در برنامه با سعی و خطا و بررسی مقادیر و حالت‌های مختلف، بهترین حالت جهت تقریب‌سازی در شبکه عصبی انتخاب شده است که در نتیجه آن برای تابع آموزش شبکه انتشار برگشتی[1] از تابع انتشار برگشتی لونبرگ – مارکارد[2]، برای تابع یادگیری انتشار برگشتی[3] از تابع گرادیان کاهشی با تابع یادگیری وزنی ثابت[4]، برای تابع عملکرد[5] از تابع میانگین مجموع مربعات خطا[6]،

1- Backpropagation network training function
2- Levenberg-Marquardt
3- Backpropagation weight/bias learning function
4- Gradient descent with momentum weight and bias learning function
5- Performance function. Default
6- Mean squared normalized error performance function

برای تابع انتقال در لایه‌های داخلی[1] از تابع تانژانت هایپربولیک سیگموند، برای تابع انتقال در لایه بیرونی[2] از تابع انتقال خطی برای تعداد لایه از ۲۰ لایه و برای تعداد نرون‌ها از ۱۰ نرون استفاده شده است.

برای ارزیابی عملکرد مدل‌های تخمین و پیش‌بینی، شاخص‌های عملکردی مختلفی وجود دارد اعم از MSE که میانگین مربعات خطا می‌باشد و طبق (رابطه ۱) محاسبه می‌شود و همچنین مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) که از (رابطه ۲) محاسبه می‌شود[۲].

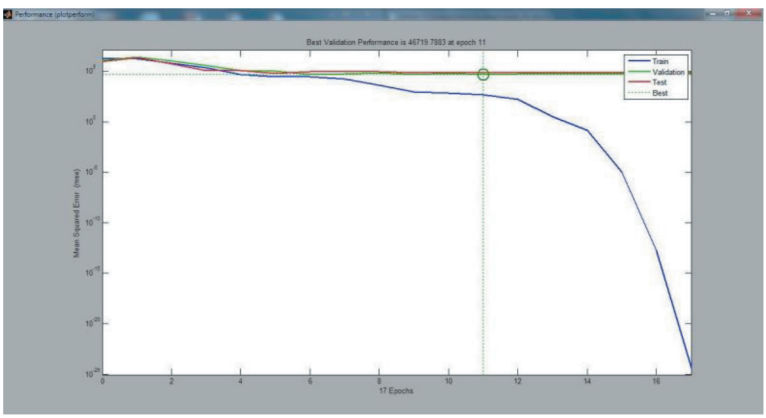
$$MSE = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\left(E_i - e_i\right)^2 \quad -1$$

که در آن m برابر با تعداد کل داده‌ها، E برابر با مقدار دقیق خروجی و e برابر با خروجی شبکه می‌باشد.

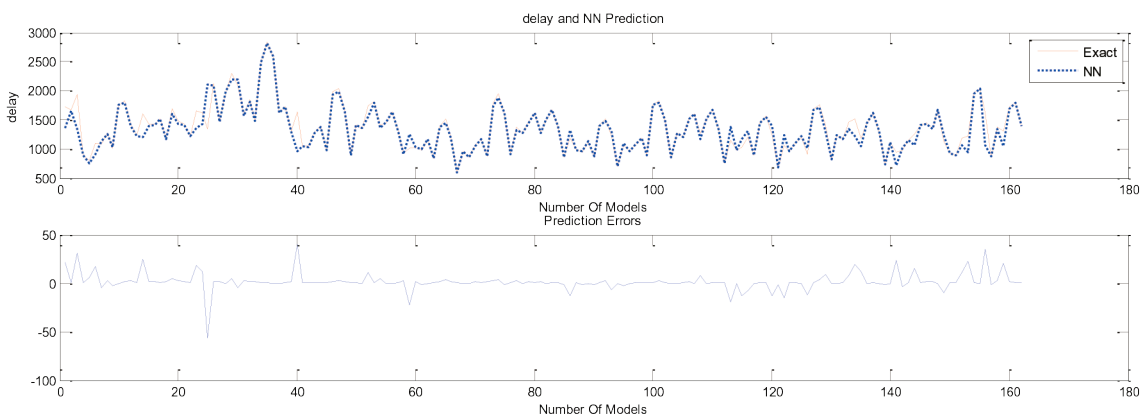
$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\left(E_i - e_i\right)^2} \quad -2$$

برای تقریب‌سازی از ۱۶۲ داده، ۷۰ درصد داده‌ها به عنوان داده‌های آموزشی و ۳۰ درصد داده‌ها به عنوان داده‌های آزمایشی در نظر گرفته شده‌اند. بر اساس مدل‌سازی صورت گرفته میزان میانگین مربعات خطا برای کل داده‌ها برابر با ۱۳۳ می‌باشد.

در (شکل ۲) نمودار نشان دهنده مقادیر خطای آموزش و آزمایش در۱۷ تکرار انجام شده می‌باشد.



شکل ۲- نمودار میانگین مربعات خطا برای آموزش و آزمایش در شبکه عصبی



شکل ۳- مقایسه مقادیر واقعی با مقادیر پیش بینی شده توسط شبکه و نمودار درصد خطا

1- Transfer function for hidden layers
2- Transfer function for output layers
3- Linear function

در شکل (۳)، در نمودار فوقانی مقادیر تأخیر پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی با مقادیر خروجی نرم‌افزار مقایسه شده که نمودار آبی رنگ میزان تأخیر پیش بینی شده توسط شبکه عصبی و نمودار قرمز رنگ مقادیر محاسبه شده با نرم افزار می باشد. و در نمودار دوم میزان درصد خطای شبکه نیز رسم شده است.

۳-۴-تعیین مقادیر ورودی‌های بهینه

بهینه سازی بر روی هر سیستم شبکه عصبی (NN) انجام شده‌است. جهت انجام بهینه سازی از دستور پایه 'ag' در نرم افزار متلب استفاده شده است. میزان جمعیت اولیه و میزان تولید مثل برابر با ۱۰۰۰ می باشد. با توجه به مدل بهینه ارائه شده توسط نرم افزار مهندسی Synchro ، تعداد متغیرهای بهینه برابر با ۱۰ می باشد، و بقیه متغیرها مقدار صفر به خود می گیرند. با توجه به اینکه جواب مسئله نمی‌تواند منفی باشد، این مطلب به عنوان قید مسئله بهینه سازی تلقی می شود. همچنین با توجه به اینکه پارمترهای به صورت اعداد صحیح می باشند می بایستی این مورد نیز به گونه ای در برنامه لحاظ گردد.

برای این منظور قبل از ورود متغیرها به تابع هدف که همان شبکه تقریب‌ساز می باشد، می‌بایستی بصورت گرد شده و عدد صحیح وارد تابع هدف شود. با این ترفند مقادیر بدست آمده توسط الگوریتم ژنتیک در واقع با گرد شدن، باعث مینیمم شدن تابع هدف می‌شوند.

در (جدول ۴) و (جدول ۵) مقادیر بهینه تعیین شده توسط نرم افزار synchro جهت تعیین میزان تاخیر مینیمم در دو تقاطع دادمان- فرحزادی و دریا – فرحزادی ارائه شده‌است. همچنین مقادیر مربوط به وضع موجود نیزارائه شده‌است.

عبارت های موجود در جدول‌های (۴) تا (۷) بیان کننده موارد زیر هستند:

EBL: چپگرد غربی – شرقی
NBL: چپگرد جنوبی - شمالی
EBT: مستقیم غربی - شرقی
NBT: مستقیم جنوبی - شمالی
EBR: راستگرد غربی - شرقی
NBR: راستگرد جنوبی - شمالی
WBL: چپگرد شرقی - غربی
SBL: چپگرد شمالی - جنوبی
WBT: مستقیم شرقی - غربی
SBT: مستقیم شمالی - جنوبی
WBR: راستگرد شرقی - غربی
SBR: راستگرد شمالی - جنوبی

شماره زمانبندی	Dt	نسبت E-W	دریا-فرحزادی											
			EBL	EBT	EBT & L	WBL	WBT	WBT & L	NBL	NBT	NBT & L	SBL	SBT	SBT & L
موجود	۱۲۳۸	٪۴۸			۳۲			۳۶			۳۴			۴۲
بهینه	۱۱۸۰	٪۴۷			۵۴			۴۵			۶۲			۶۴

جدول ۴: مقادیرزمان بندی در وضع موجود و مقادیر بهینه ارائه شده توسط نرم افزار synchro

طول چرخه	نسبت E-W	دادمان- فرحزادی											
		EBL	EBT	EBT & L	WBL	WBT	WBT & L	NBL	NBT	NBT & L	SBL	SBT	SBT & L
X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14
A1	A2	0	0	A3	0	0	A4	0	0	A5	0	0	A6

جدول ۵: مقادیرزمان بندی در وضع موجود و مقادیر بهینه ارائه شده توسط نرم افزار synchro

1- Variance Inflation Factor

در (جدول ۶) و (جدول ۷) با توجه به مقادیر بهینه شده توسط نرم افزار متغیرهای مسئله بهینه‌سازی تعیین شده‌اند. این متغیرها با حرف A نشان داده شده‌است.

شماره زمانبندی	طول چرخه	نسبت E-W	دادمان-فرحزادی											
			EBL	EBT	EBT & L	WBL	WBT	WBT & L	NBL	NBT	NBT & L	SBL	SBT	SBT & L
موجود	۱۴۴	٪۴۸			۳۲			۳۶			۳۴			۴۱
بهینه	۱۸۰	٪۴۷			۳۷			۴۵			۴۱			۵۷

جدول ۶: متغیرهای بهینه سازی در تقاطع دادمان- فرحزادی

طول چرخه	نسبت E-W	دریا-فرحزادی												
		EBL	EBT	EBT & L	WBL	WBT	WBT & L	NBL	NBT	NBT & L	SBL	SBT	SBT & L	Dt
X1	X2	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	X22	X23	X24	X25	X26	y
A1	A2	0	0	A7	0	0	A8	0	0	A9	0	0	A10	

جدول ۷: متغیرهای بهینه سازی در تقاطع دریا- فرحزادی

در (جدول ۸) مقادیر بهینه توسط الگوریتم بهینه‌سازی برای شبکه عصبی آموزش دیده ارائه شده‌است.

متغیر	1A	2A	3A	4A	5A	6A	7A	8A	9A	10A	تاخیر
بازه کامل	160	44	37	37	47	27	77	77	47	27	0/12
بازه محدود	170	41	48	80	51	34	75	61	41	55	1/7
بازه کاملا محدود	180	30	50	50	48	50	60	60	60	60	108

جدول ۸: مقادیر بهینه بدست آمده با ترکیب الگوریتم ژنتیک و شبکه عصبی

در (جدول ۹) مقادیر وضعیت موجود و بهینه نرم افزار مهندسی را به شبکه تقریب ساز داده و با جواب‌های نرم‌افزار مقایسه می کنیم.

	جواب نرم افزار	شبکه عصبی	درصد خطای شبکه عصبی
وضعیت موجود	۱۲۳۸	۱۱۳۱/۰۷	٪۸/۶۴
وضعیت بهینه	۱۱۸۰	۱۲۲۳/۹۳	٪۳۷۲

جدول۹: مقایسه تاخیر محاسبه شده در نرم افزار و شبکه تقریب ساز

۴- نتیجه گیری

در این مقاله برای دستیابی به زمان‌بندی بهینه در یک شبکه شامل دو تقاطع متوالی از شبکه عصبی به عنوان یک شبکه تقریب‌ساز با توانایی یادگیری الگوهای رفتاری وسائل نقلیه در تقاطعات و از الگوریتم ژنتیک برای بهینه کردن شبکه عصبی استفاده شده‌است. نتایج حاصل شده حاکی از آن است که شبکه عصبی در پیش‌بینی میانگین تأخیر وارد بر خودروها تحت ترکیب‌های مختلف زمانی در مقایسه با نرم افزار سینکرو عملکرد مطلوبی داشته و در مورد دو تقاطع موردمطالعه جواب‌های قابل قبولی ارائه کرده‌است.

به طور کلی هم از لحاظ زمان محاسبات و هم از لحاظ خطا برنامه شبکه عصبی در وضعیت مناسبی قرار دارد. ضمن این که روش مورد مطالعه توانایی انطباق با شرایط پیچیده تقاطعات را دارد. از آنجا که این روش از شرایط خود تقاطع برای بهینه‌سازی زمان‌بندی استفاده می‌کند، محدودیت‌های پیش روی روش‌های ریاضی یا شبیه‌سازی در این مورد وجود ندارد.

۵- مراجع

1- Yue Liu , Cang- Lew Chang, 2010 , An Arterial Signal Optimization Model for Intersections Experiencing Queue Spillback and Lane Blockage, Transportation Research Part C.

2- Lieberman, E., Chang, j., Bertoli, B., & Wuping, X, (2010), New Signal Control Optimization Policy for Oversaturated Arterial Systems, Transportation Research Board. Washington DC: Transportation Research Board.

3- Journal of Computational Information Systems, Lila ZANG, Wenning ZHU, 2012, Study on Intelligent Control Algorithm for Traffic Signals at Multi-phase Intersections, 10477-10484

4- The International Journal of Engineering and Science (IJES), Mohammad Alodat, Ilyas Alodat, 2013, Using Polygamy Technology with FL, GA, and NN on Traffic Lights, ISSN(e): 2319-1813

5- Baher Abdullahi, Himanshu Porwal, Will Recker, 1999, Short Term Freeway Traffic Flowprediction Using Genetically-Optimized Time-Delay-Based Neutral Networks,Institute Transportation Studies,California Partners for Advanced Transit and Highways,paper UCB-ITS,PWP-99-1

6- Transportation Research Board, Highway Capacity Manual, 2000, Published by the National Research Council, Washington DC.

7- Applied Mathematics & Information Sciences International Journal, 2014, Fuzzy Neural Network-based Time Delay Prediction for Netwoked Control Systems, No. 1, 407-413(2014)