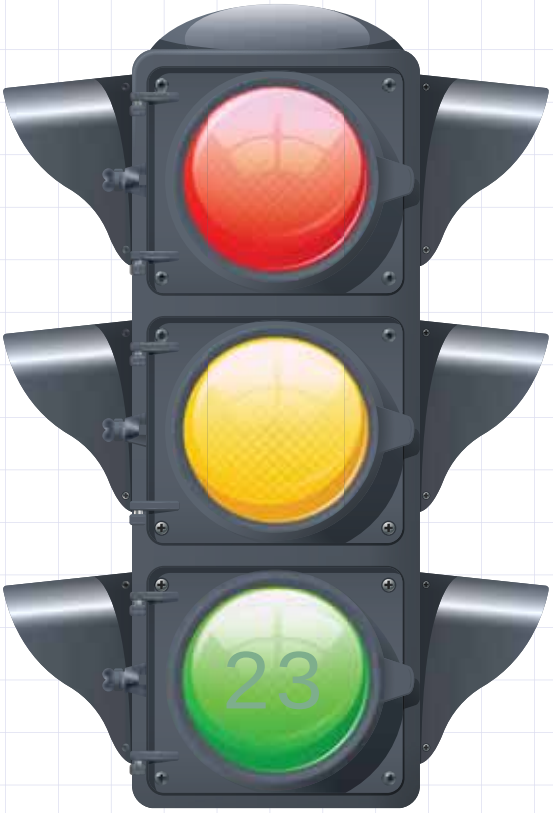
ناظم‌های رنگی

زهرا باقری



آیا تا به حال پیش آمده، زمانی که در خیابان قدم می‌زدید، به چهارراه برسید و به طرز رفت‌وآمد ماشین‌ها دقت کنید؟ اینکه چطور یک چراغ راهنمایی سه‌رنگ، نظم را در خیابان برقرار می‌کند؟ اگرچه بیشتر آن‌ها ظاهر یکسانی دارند و در یک چرخهٔ زمانی رنگ‌های سبز، زرد و قرمز را نمایش می‌دهند، اما طرز کارشان متفاوت است. بیشتر چراغ‌های راهنمایی معمولی با یک زمان‌سنج (تایمر) کار می‌کنند. یعنی زمان‌سنج مشخص می‌کند که مدت‌زمان سبز بودن چراغ چند ثانیه باشد و پس از آن زرد و قرمز چه مدت باشند. بیشتر چراغ‌های راهنمایی با زمان‌سنج معمولی کار می‌کنند. بسته به حجم ترافیک در زمان‌های متفاوت در خیابان، چراغ راهنمایی در بازه‌های زمانی که توسط زمان‌سنج مشخص می‌شود، سبز، زرد و قرمز می‌شوند تا جریان ثابت بدون ترافیکی از رفت‌وآمد، در تمام جهت‌های چهارراه وجود داشته باشند. البته چراغ‌های راهنمایی دارای زمان‌سنج، برای چهارراه‌های شلوغ که حجم ترافیک سنگین و ثابتی دارند، مناسب هستند. در چهارراه‌هایی که ترافیک غیرقابل پیش‌بینی است، چراغ‌هایی که فقط زمان‌سنج دارند، مناسب نیستند. برای مثال، در نواحی اطراف شهر که رفت‌وآمد بیشتر در خیابان اصلی جریان دارد، چراغ راهنمایی رانندگان را مجبور می‌کند که به‌طور غیرضروری و وقتی ترافیکی وجود ندارد، پشت چراغ‌قرمز منتظر بمانند. امروزه با پیشرفت فناوری، با نصب چند حسگر (سنسور) در یک چهارراه، و با استفاده از هوش مصنوعی، به‌راحتی می‌توان مدیریت چراغ‌های راهنمایی را به یک سیستم هوشمند سپرد و از به هدر رفتن زمان و سوخت خودروها و آلودگی هوا پشت چراغ‌قرمز جلوگیری کرد.

در بعضی از چراغ‌های راهنمایی، شاهد برخی از ناهماهنگی‌ها در زمان شمارشگرها هستیم. مثلاً در شمارش معکوس چراغ سبز، یک دفعه پرشی در عددهای رخ می‌دهد یا شمارشگر روی یک عدد به مدت چند ثانیه باقی می‌ماند. این نوع اتفاق‌ها، نه‌تنها به دلیل اشکال در چراغ راهنمایی نیستند، بلکه نشان می‌دهند، چراغ راهنمایی دارد به‌صورت هوشمند کار می‌کند. طرز کار چراغ‌های راهنمایی هوشمند به این صورت است که وقتی ماشین‌ها پشت چراغ‌قرمز می‌ایستند، یک سری سیگنال برای چراغ فرستاده می‌شود. حسگرهایی که حضور خودروها را پشت چراغ حس می‌کنند، بنا بر موقعیت جغرافیایی آن مکان و فناوری به‌کاررفته در آن‌ها، مدل‌های متفاوتی دارند. بعضی از حسگرها از لیزر استفاده می‌کنند. بعضی هم از شلنگ‌های پلاستیکی که داخل آن‌ها هوا جریان دارد. شلنگ‌ها کف جاده کار گذاشته می‌شوند. زمانی که خودرو روی آن‌ها توقف می‌کند، تغییر فشار هوای داخل شلنگ، سیگنالی را به چراغ راهنمایی می‌فرستد. همچنین بعضی چراغ‌ها از دوربین‌های ویدیویی برای تشخیص حضور خودروها پشت چراغ راهنمایی بهره می‌گیرند. در نوع دیگر این حسگرها، مارپیچی از سیم‌ها در سطح جاده جاسازی شده‌اند. وقتی خودرو بالای این سیم‌ها توقف می‌کند، حسگر تغییرات میدان مغناطیسی را تشخیص می‌دهد و سیگنالی را به چراغ راهنمایی ارسال می‌کند. (به دلیل اینکه خودرو یک جسم فلزی بزرگ است، باعث تغییر در میدان مغناطیسی می‌شود.)

نحوهٔ عملکرد چراغ راهنمایی هوشمند

ابتدا با نصب چند حسگر یا با استفاده از دوربین (که نیازمند عملیات پردازش تصویر است)، داده‌ها وارد سیستم می‌شوند. سیستم براساس حجم خودروهایی که در هر خیابان منتهی به

تقاطع حضور دارند، تصمیم‌گیری می‌کند. اگر حجم خودروها خیلی کم باشد (مانند نیمه‌شب)، چراغ‌ها به‌صورت چشمک‌زن روشن و خاموش خواهند شد. در یک حالت ایده‌آل نیز انتظار می‌رود چراغ‌ها به‌صورت منظم و مساوی روشن و خاموش شوند. اما هنگامی که خودروهای ورودی از سمت یک خیابان نسبت به خیابان‌های دیگر بیشتر است، منصفانه نیست که چراغ‌ها با زمان‌بندی مساوی روشن و خاموش شوند. زیرا در این صورت در یک طرف، خودروها با ترافیک مواجه می‌شوند. در صورتی که اگر چراغ سبز آن خیابان، زمان بیشتری سبز بماند، مشکل ترافیک به‌سادگی حل می‌شود. در اکثر تقاطع‌ها، چراغ‌ها به‌صورت دو زمانه عمل می‌کنند؛ یعنی خیابان‌های موازی، با هم سبز و با هم قرمز می‌شوند. اما اگر در تقاطعی برای مثال، اگر خودروهای ورودی از ضلع شمالی و ضلع جنوبی نسبت به دیگر اضلاع، زیاد باشند، ممکن است با وجود چراغ راهنمایی هوشمند دو زمانه، باز هم شاهد ترافیک باشیم؛ مخصوصاً اگر مقصد اکثر خودروها نیز یک خیابان خاص مثلاً ضلع شرقی باشد. این شرایط را باید به‌گونه‌ای دیگر مدیریت کرد. مثلاً چراغ‌ها را به صورت سه‌زمانه روشن و خاموش کرد؛ به این صورت که ابتدا فقط چراغ ضلع شمالی سبز شود، سپس چراغ ضلع جنوبی و در آخر نیز چراغ محور شرقی- غربی. چراغ راهنمایی هوشمند سیستمی است که با توجه به حجم خودروهای ورودی به یک تقاطع هم‌سطح، چراغ‌های راهنمایی را به‌صورت عادلانه مدیریت می‌کند. «سکاتس» (SCATS) یکی از چندین سیستم موفق کنترل مرکزی هوشمند در دنیاست که پس از بررسی‌های کارشناسی و مطابق با نیاز کلان‌شهر تهران، توسط «شرکت کنترل ترافیک» در سال ۱۳۷۲ خریداری شده و مورد بهره‌برداری قرار گرفته است. هم‌اکنون نیز در ۴۴۰ تقاطع تهران فعال است.

هدف این سیستم، جمع‌آوری اطلاعات ترافیکی تقاطع، تجزیه و تحلیل اطلاعات، و تصمیم‌گیری براساس آن‌هاست. در بعضی از شهرهای بزرگ دنیا، بعضی از چراغ‌های راهنمایی، به قدری پیشرفته هستند که اجازه می‌دهند، بعضی از خودروها آن‌ها را کنترل کنند. یعنی چرخهٔ زمانی سبز، زرد و قرمز آن‌ها به‌صورتی تنظیم می‌شود که اجازه دهد، آن نوع وسایل نقلیه خاص، مثل آمبولانس، ماشین‌های آتش‌نشانی و ماشین پلیس، به‌سرعت و با کمترین توقف پشت چراغ‌قرمز، از آن چهارراه عبور کنند. شروع کنید و قدمی در شهر بزنید و به چراغ‌های راهنمایی و طرز کار آن‌ها دقت کنید. سعی کنید تشخیص دهید، طرز کار یک چراغ راهنمایی که به آن برخورد کرده‌اید، براساس زمان‌سنج است یا حسگر؟ و اگر براساس حسگر است، چگونه کار می‌کند؟ همچنین به این فکر کنید که در حال حاضر، تعدادی از حسگرها براساس تغییر در میدان مغناطیسی، به چراغ راهنمایی سیگنال ارسال می‌کنند. چون یک خودروی فلزی به محدودهٔ آن حسگرها وارد شده است. ولی با گذشت زمان که استفاده از فلزها در ساخت خودروها روزبه‌روز کاهش می‌یابد و خودروها با استفاده از پلاستیک و مواد کامپوزیت ساخته می‌شوند، چگونه حسگرهایی باید به جای این‌ها قرار بگیرند؟ از قوهٔ تخیل خودتان هم استفاده کنید و فکر کنید، در آینده که خودروهای پرنده هم اضافه می‌شوند، دیگر جاده‌ها سطحی ندارند و وسایل نقلیه در هوا هستند، چه حسگرهایی باید به کار گرفته شوند تا مناسب‌تر باشند؟ حال تصور کنید بخواهیم با استفاده از رابطه‌های ریاضی به مدل‌سازی و فرمول‌بندی ترافیک پشت چراغ‌قرمز بپردازیم.

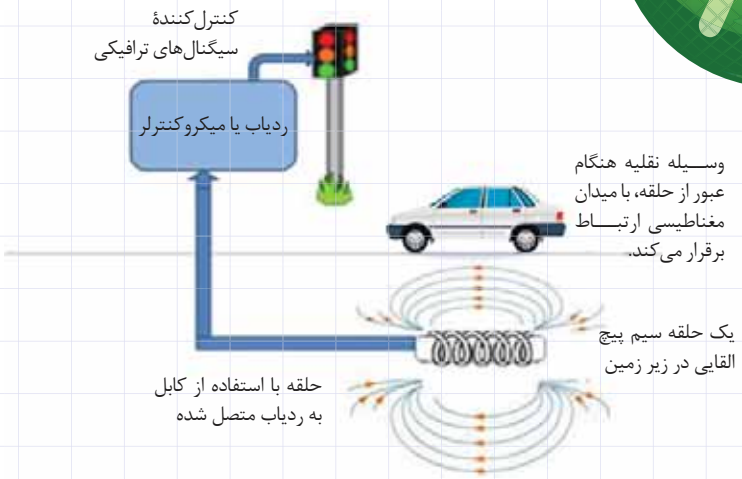
طول سیکل: مدت‌زمانی است که چراغ یک محور مجدداً سبز می‌شود.

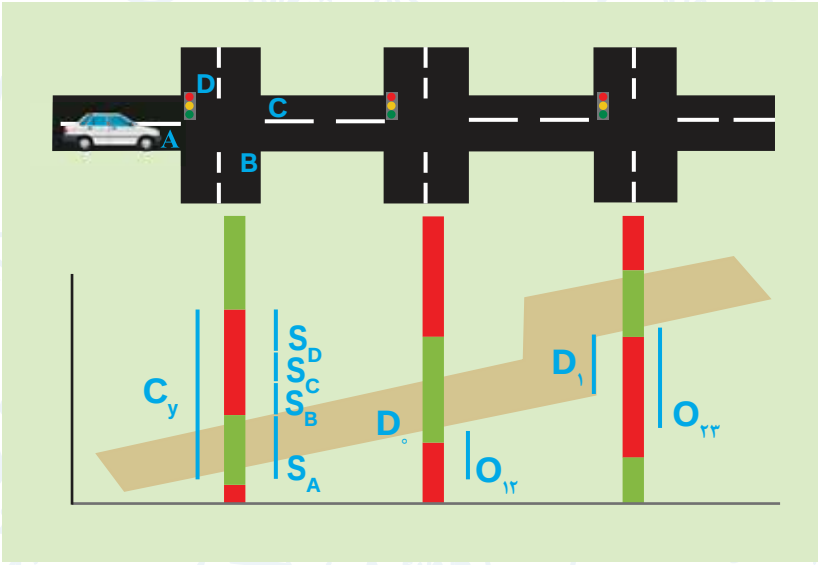
طول فاز: درصدی از طول سیکل است که به زمان سبز برای هر محور اختصاص داده می‌شود.

Offset: فاصلهٔ زمانی است که یک خودرو از یک تقاطع به تقاطع بعدی می‌رسد.

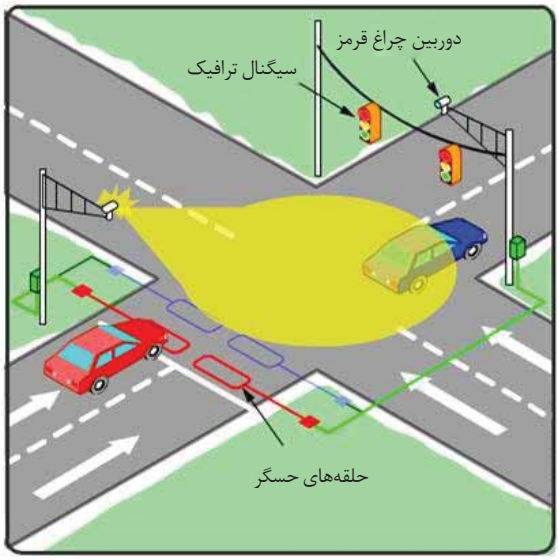
تأخیر در تقاطع: مدت زمانی است که خودرو برای عبور از تقاطع باید منتظر بماند.

موج سبز: فرایندی است برای ایجاد هماهنگی بین چراغ‌ها و ایجاد فاز سبز در جهت موج حرکت ترافیک.





تصویر ۱



تصویر ۲

همان‌طور که در تصویر ۱ می‌بینید، خودروی قرمزرنگ، تقاطع اول و دوم را بـــدون هیچ تأخیـــری طی می‌کند، ولی در تقاطع ســـوم با چراغ‌قرمز مواجه می‌شود و به مدت D_1 در زمان تأخیر قرار می‌گیرد. طول ســـیکل برای تقاطع اول C_y و S_A، S_B و S_C به ترتیب مقادیر شکاف مرحله برای مسیرهای A، B، C و D در طول ســـیکل C_y و مقادیر D_0 و D_1 مدت‌زمان تأخیر خودروی قرمز رنگ در مسیر مستقیم، در تقاطع‌های دوم و سوم است که مقدار D_0 صفر و مقادیر O_{12} و O_{23}، به ترتیب مقدار Offset بین تقاطع اول با دوم و دوم با سوم می‌باشد.

در ابتدا با استفاده از تجهیزات، داده‌های ترافیکی (شامل تعداد خودروهای ورودی و خروجی در هر مســـیر، ســـرعت حرکت خودروها) که بیان‌کننده شـــرایط ترافیکی موجود در مسیرها می‌باشـــند به صورت لحظه‌ای جمـــع‌آوری و به‌عنوان داده‌های دینامیک یا همان داده‌های زمانی در پایگاه داده ذخیره می‌شوند. با انجام پردازش‌ها بر روی این داده‌ها، تعداد خودروهای موجود در مسیرها و سرعت حرکت ترافیکی براساس رابطه (۱)، در هر لحظه تعیین می‌شود.

با استفاده از این داده‌ها و داده‌های استاتیک (که شامل مشخصات هندسی مسیرها می‌باشد)، پارامترهای ترافیکی شامل ظرفیت، حجم ترافیک و زمان سفر در هر مسیر با استفاده از روابط (۲)، (۳)، (۴) تعیین می‌شوند.

(۱)

$$\text{میانگین سرعت ماشین‌ها} = \frac{\text{سرعت ماشین۱} + \text{سرعت ماشین۲} + \dots}{\text{تعداد ماشین‌ها}}$$

(۲)

$$\text{ظرفیت مسیر} = \frac{\text{طول مسیر} \times \text{تعداد خودروهایی که در مسیر می‌توانند قرار بگیرند}}{۴}$$

(۳)

$$\text{درصد حجم ترافیک مسیر} = \frac{\text{تعداد ماشین‌ها}}{\text{ظرفیت مسیر}} \times ۱۰۰$$

(۴)

$$\text{زمان سفر در مسیرها} = \frac{\text{طول مسیر}}{\text{سرعت}}$$

(برای راحتی محاسبات مسیر را یکطرفه در نظر گرفتیم)

با ذخیره‌سازی پارامترها و شرایط ترافیکی هر روز و هر لحظه، تاریخچه ترافیـــک به‌وجود می‌آید. با پردازش تاریخچه ترافیک رفتار ترافیکـــی میانگین و اطلاعاتی از قبیل ســـاعت‌های اوج ترافیک، مســـیرها و تقاطع‌های پرترافیک و درجه اهمیت آن‌ها و نیز جهت جریان‌ها و موج‌های حرکت ترافیک در ساعت‌های مختلـــف روز حاصل شـــده و بر مبنای آن برنامـــه زمان‌بندی پیش‌فرضی برای چراغ‌ها تنظیم می‌شود.