9th.International Congress on Civil Engineering , Architecture and Urban Development / 20-22 February. 2024,Tehran , Iran
In cooperation with Shiraz University, maraghe University And University of Science and Technology of Iran

جمهوری اسلامی ایران
وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
شماره مجوز کنگره از وزارت علوم: ۷۲۶۴۰۳۸

تعیین نوع بهینه تقاطع غیرهمسطح با استفاده از الگوریتم ژنتیک

افشین عندلیبی[1]*

[1]- کارشناسی ارشد، مهندسی عمران، گرایش راه و ترابری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بیرجند، بیرجند، ایران
afshinandalibi@gmail.com

چکیده

امروزه با افزایش تعداد وسایل نقلیه، تقاطع‌های همسطح دچار مشکلات بسیاری هستند. راهکارهای متفاوتی برای رفع این مشکل وجود دارد که در حال حاضر تبدیل تقاطع همسطح به تقاطع غیرهمسطح بسیار مورد توجه مهندسین قرار گرفته است. اما مدلی که با در نظر گرفتن عوامل مختلف تقاطع غیرهمسطح بهینه را تعیین کند، وجود ندارد و نیاز به چنین مدلی کاملاً احساس می‌گردد. دراین تحقیق سعی شده است تا مدلی برای انتخاب نوع بهینه تقاطع غیرهمسطح با در نظر گرفتن عوامل مؤثر ارائه گردد. تقاطع‌های مورد بررسی در این تحقیق، تقاطع‌های جهتی، شبدری کامل، نیمه شبدری، تک‌نقطه‌ای و لوزی می‌باشند که با استفاده از نرم‌افزار AIMSUN شبیه‌سازی می‌شوند. پارامترهای درنظر گرفته شده برای هر کدام از تقاطع‌ها، میزان تولید آلاینده‌های هوا، میزان مصرف سوخت و زمان سفر می‌باشند. مقدار پارامترهای ذکر شده از خروجی‌های نرم‌افزار AIMSUN به دست می‌آیند و سپس تمامی آنها به هزینه تبدیل می‌گردند. سپس با استفاده از الگوریتم ژنتیک صورت گرفت که این الگوریتم برای احجام ترافیکی مختلف در تقاطع‌های غیرهمسطح جهتی، لوزی و تک‌نقطه‌ای را به عنوان تقاطع غیرهمسطح بهینه ارائه نموده است.

واژه‌های کلیدی: تقاطع غیرهمسطح، اولویت‌بندی، الگوریتم ژنتیک.

۱- مقدمه

با افزایش جمعیت و به تبع آن رشد تقاضای سفر، مدیران حمل ونقل با چالش فرایند انتقال ایمن و کارآمد انسان و کالا با توجه به محدودیت‌های تملک اراضی و بودجه مواجه می‌باشند،که بویژه درآزادراه‌ها و راه‌های پرتراکم واقع در نواحی شهری و برونشهری که امکان افزایش ظرفیت راه وجود ندارد، ایجاد ازدحام سبب افزایش زمان سفر و کاهش ایمنی و در نتیجه شرایط غیرقابل تحمل برای راننده می‌شود .در سال‌های اخیر تبدیل تقاطع‌های همسطح به غیرهمسطح به عنوان یک راه حل امید بخش در مدیریت مؤثر تقاطع‌ها با توجه به زیرساخت‌های موجود مورد توجه قرار گرفته است که کاربرد این تبدیل منافع بالقوه‌ای مانند بهبود زمان‌های سفر،کاهش آلاینده‌های زیست محیطی، ذخیره‌ی سرمایه در بلند مدت و کاهش در مصرف سوخت را فراهم می‌کند .در سال ۱۹۷۲ میلادی واتل‌ورث[1] و اینگرام[2] برای ارزیابی ترافیکی هر یک از گزینه ها، ظرفیت ساعت اوج آنها را با استفاده از یک مدل خطی محاسبه کرده‌اند .عضوی از تقاطع که تحت تأثیر حجم ماکزیمم بوده و شرایط بحرانی‌تری دارد شناسایی شده و در مرحله بعدی افزایش ظرفیت می یابد تا مدل مناسب نتیجه شود .در سال ۱۹۷۳ مولینازی[3] و ساترلی[4] مقایسه تقاطع های غیر همسطح را از طریق سطح سرویس، ایمنی، انعطاف‌پذیری طول و تعداد خطوط

[1] Watteleworth
[2] Ingram
[3] Mullinazzi
[4] Satterly

مناطق همگذری ،زمان سفر، و فاکتورهای اجتماعی بر روی تقاطع‌های غیرهمسطح انجام داده‌اند .در سال ۱۹۷۷ اسمیت[5] و گاربر[6] بر اساس پارامتر ایمنی دو تقاطع غیرهمسطح لوزی و تک‌نقطه‌ای را با هم مقایسه کردند.

یکی از راهکارهایی که جهت بهبودبخشی وضعیت تقاطع موجود مد نظر مهندسین قرار می‌گیرد اصلاح طرح هندسی، اعمال محدودیت‌های ترافیکی و غیره می‌باشد که در ردیف راه حل‌های کم هزینه قرار می‌گیرند. در صورتی که اینگونه راهکارها نتواند مشکل ترافیکی تقاطع را حل نماید راه حل دیگری که همان تبدیل تقاطع همسطح به تقاطع غیرهمسطح می‌باشد مد نظر قرار می‌گیرد. با توجه به تنوع زیاد انواع تقاطع‌های غیرهمسطح و حوزه عملکرد هریک از آنها و نیز هزینه‌های متفاوت اقتصادی آنها گزینه‌های متفاوتی برای انتخاب نوع تقاطع غیرهمسطح وجود دارد. در کشور ما نیز هنگامی‌که یک تقاطع همسطح به یک تقاطع غیرهمسطح تبدیل می‌شود هیچگونه معیاری برای انتخاب بهینه‌ی تقاطع غیرهمسطح وجود ندارد . وجود مدلی که بتواند عواملی همچون عوامل ترافیکی ، اقتصادی ، زیست محیطی را در یک چارچوب کلی برای انتخاب بهینه نوع تقاطع غیرهمسطح ارائه کند از نیازهای اصلی و اساسی جامعه مهندسان می‌باشد. در نتیجه ضروری است به منظور ایجاد یکنواختی روش‌ها و ضوابط طراحی و اجرائی و مدیریتی این مدل تدوین شود تا بتواند به عنوان یک قضاوت کارشناسی و نیز یک راهنما مورد استفاده قرار گیرد.

در پژوهش پیش‌رو،با استفاده از داده‌های ترافیکی و نرم‌افزار شبیه‌سازی، پنج نمونه از تقاطع‌های غیرهمسطح شبیه‌سازی شدند و تحت بارهای ترافیکی مختلف قرار گرفتند و در نهایت از خروجی‌های نرم‌افزار شبیه‌سازی،معادلات مربوط به پارامترهای مورد نظر که عبارتند از زمان سفر،میزان آلاینده‌های زیست محیطی و میزان مصرف سوخت بودند،حاصل گشت. سپس با استفاده از این معادلات و الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک به حل مساله پرداخته شده است.

معرفی انواع تقاطع‌ها

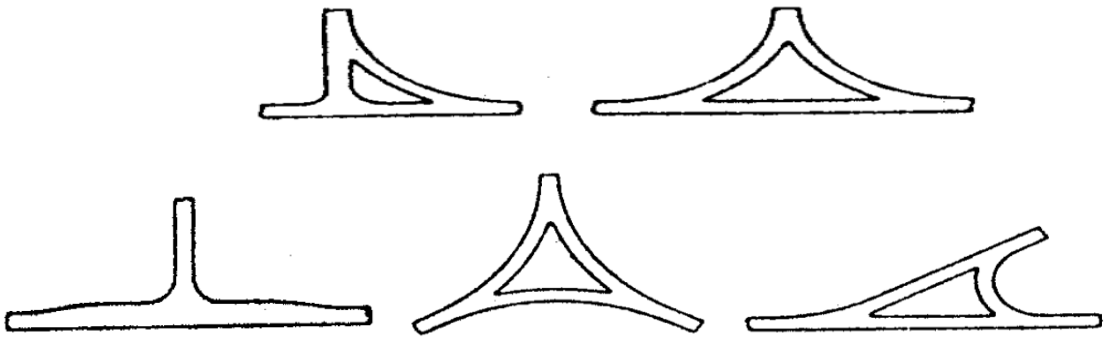
انواع تقاطع‌های همسطح

الف- تقاطع های سه‌شاخه (سه راهی)

متداولترین نوع سه راهی‌ها T و Y شکل هستند،که این نوع از تقاطع‌ها برای ارتباط راه‌های فرعی،راه‌های محلی و حتی تقاطع راه‌های اصلی و فرعی مورد استفاده قرار می‌گیرد،البته شایان ذکر است که در این نوع تقاطع‌ها باید حجم ترافیک کم باشد که در غیر اینصورت باید به رفع این مشکل روی آورد که با اصلاحاتی همچون لاله‌ای کردن(تعریض کردن)و یا ایجاد خطوط گردش و هدایت کننده،مشکل این تقاطع‌ها برای مدت زمانی مرتفع می‌شود.[۲و۱۱]

تقاطع سه راهی T و Y شکل[۱۷]

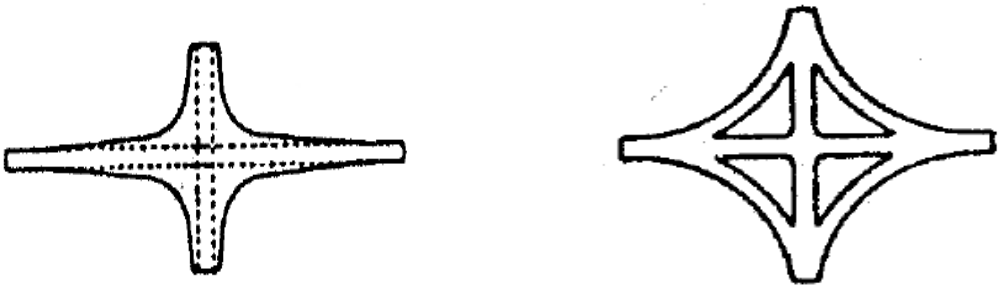
[5] Smith
[6] Garber



تقاطع سه راهی T و Y شکل اصلاح شده[۱۷]

ب- تقاطع‌های چهار رویکردی (چهارراه)

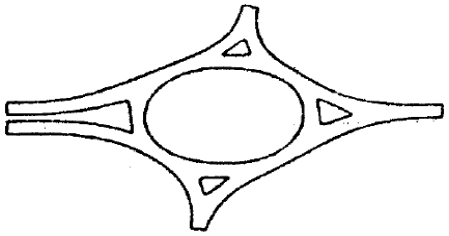
این نوع از تقاطع‌ها نیز برای ارتباط راه‌های فرعی،راه‌های محلی و حتی تقاطع راه‌های اصلی و فرعی مورد استفاده قرار می‌گیرد،البته لازم به ذکر است که در این نوع تقاطع‌ها باید حجم ترافیک بالا نباشد که در غیر اینصورت باید به اصلاح این تقاطع‌ها پرداخت که با اصلاحاتی مانند لاله‌ای کردن(تعریض کردن)و یا ایجاد خطوط گردش و هدایت کننده مشکل این تقاطع‌ها برای مدت زمانی مرتفع می‌شود.[۲و۱۱]



تقاطع چهار راهی اصلاح شده[۱۷]

ج- تقاطع های میدانی (فلکه)

فلکه‌ها نوع خاصی از تقاطع‌های همسطح می باشند که به دلیل احتیاج به فضای زیاد استفاده از آنها محدود می‌باشد و همچنین به دلیل اینکه ماکزیمم حجم ترافیک ورودی به فلکه ۳۰۰۰ وسیله در ساعت می‌باشد،با توجه به افزایش روزافزون ترافیک،استفاده از این نوع تقاطع بسیار محدود شده است.[۲و۱۱]

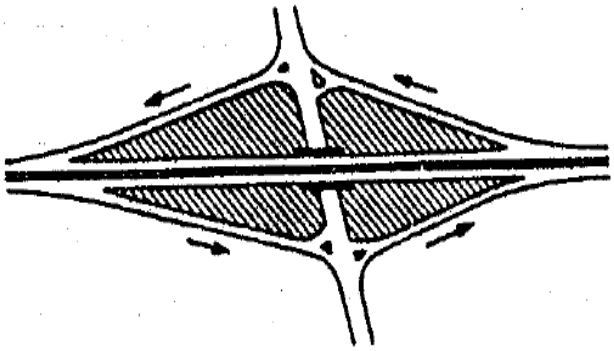


فلکه[۱۷]

انواع تقاطع‌های غیرهمسطح (تبادل‌ها)

الف- لوزی[7]

این نوع تبادل ساده‌ترین و شاید معمولترین نوع تبادل می‌باشد .یک تبادل لوزی کامل، وقتی شکل می‌گیرد که یک رمپ قطری یک طرفه در هر یک از چهار ربع وجود داشته باشد .تبادل لوزی چند مزیت دارد :تمام ترافیک می تواند با سرعت نسبتا بالا به راه اصلی وارد و یا از آن خارج شوند و حرکات گردش به چپ به طی مسافت زیاد نیاز ندارند و به یک باند کم عرض برای حریم راه نیاز دارد.تبادل‌های لوزی هم در مسیرهای شهری و هم برون شهری کاربرد دارند.این نوع تبادل‌ها به خصوص در تقاطع‌های اصلی که گردش به چپ همسطح در راه فرعی با حداقل تداخل با ترافیک عبوری ممکن است،کاربرد دارند. تبادل‌های لوزی در جاهایی که تقاطع دارای ترافیک متوسط تا نسبتاً زیاد است نیاز به چراغ راهنمایی دارند.در یک تبادل لوزی، بزرگترین مانع ایجاد یک ترافیک روان، حرکت گردش به چپ در انتهای تقاطع می‌باشد.شایان ذکر است که یکی از راهکارها برای کاهش تداخل میتواند، ایجاد ترکیبی از میدان و تقاطع غیر همسطح باشد.[۲و۱۱]

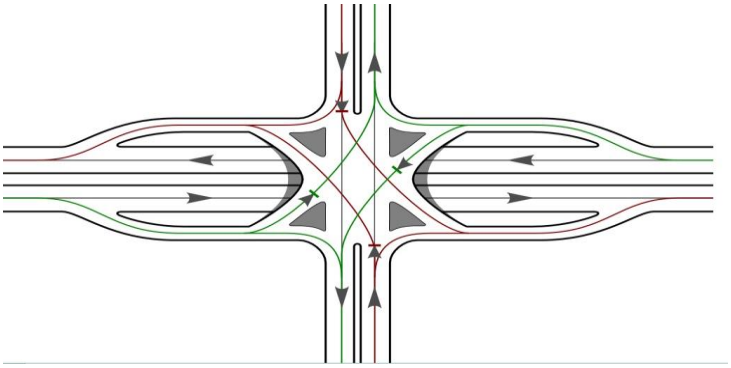


تقاطع غیر همسطح لوزی[۱۷]

ب- تک نقطه ای[8]

تبادل‌های شهری تک‌نقطه‌ای به عنوان یک تبادل شهری یا یک تبادل لوزی تک‌نقطه‌ای نیز شناخته می‌شود.یکی از مشخصات این نوع تبادل این است که تمام حرکات گردشی توسط یک چراغ راهنمایی کنترل می‌شوند.از مشخصات دیگر این نوع تبادل‌ها حریم راه کم عرض، هزینه ساخت بالا و دارا بودن ظرفیت بالاتری نسبت به تبادل‌های لوزی را می توان نام برد . این تبادل‌ها معمولا در مناطق شهری که حریم راه محدود است،کاربرد دارند .تبادل‌های تک‌نقطه‌ای شهری دارای چند مزیت می‌باشند که می‌توان به امکان ساخت در یک حریم راه باریک اشاره نمود.از آنجا که تبادل تک‌نقطه‌ای در مقایسه با تبادل لوزی که دو تقاطع دارد، فقط دارای یک تقاطع می‌باشد،تاخیر ایجاد شده توسط چراغ راهنمایی در محدوده تقاطع کمتر است . وجود هزینه‌های بالای ساخت تبادل‌های شهری تک‌نقطه‌ای معمولا با کاهش هزینه‌های حریم راه جبران می‌گردد.[۲و۱۱]

[7] Diamond
[8] single point urban interchange



تقاطع غیر همسطح تک نقطه‌ای

ج- شیپوری[9]

این نوع تقاطع برای اتصال سه مسیر که به صورت T شکل به هم وصل شده‌اند به کار می‌رود بنابراین همه جا از این نوع تقاطع نمی‌توان استفاده کرد و صرفا برای حل مشکلات سه راهی‌ها از این تبادل استفاده می‌شود.[۲و۱۱]

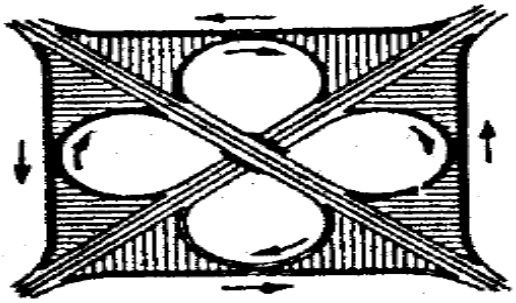
تقاطع غیر همسطح شیپوری[۱۷]

د- شبدری کامل[10]

تبادل‌های شبدری،تبادل‌های چهارراهی هستند که رمپ‌های حلقوی برای انجام حرکات گردش به چپ استفاده می-کنند.معایب اصلی تبادل‌های شبدری شامل مسافت سفر طولانی برای ترافیک گردش به چپ، تداخل به وجود آمده در جریان ترافیک وکوتاه بودن طول تداخل جریان می‌باشد.

از آن جا که تبادل‌های شبدری نسبت به تبادل‌های لوزی گسترده‌ترند، از آنها کمتر در مناطق شهری استفاده می‌گردد و بهتر است که در مناطق برون شهری که فضای کافی وجود دارد مورد استفاده قرار گیرند.[۲و۱۱]

[9] Trumpet
[10] Full cloverleaf

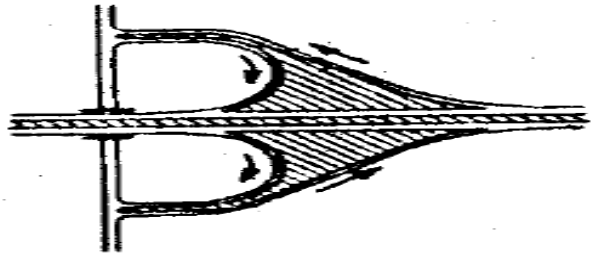


تقاطع غیر همسطح شبدری کامل[۱۷]

ه- نیمه شبدری[11]

این نوع تبادل مانند شبدری کامل است بجز اینکه حداکثر در سه طرف آن رمپ وجود دارد. این حالت برای مواقعی بکار می‌رود که در چهار گوشه،زمین کافی برای ایجاد رمپ وجود نداشته باشد و یا حجم گردش به چپ در یکی از مسیرها از مسیر دیگر کمتر باشد.

ایمنی تبادل نیمه شبدری هنگامی که حرکت گردش به چپ در یک مسیر از چپ وجود داشته باشد نسبت به تبادل شبدری کامل کمتر می‌باشد.[۲و۱۱]



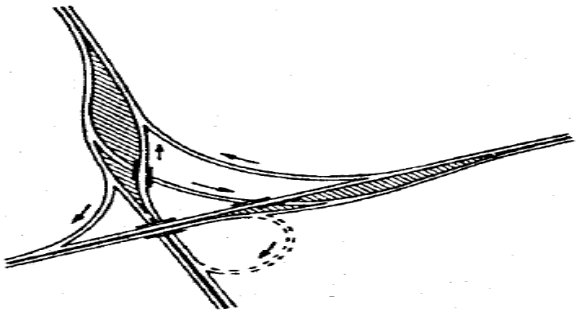
تقاطع غیر همسطح نیمه شبدری[۱۷]

و- جهتی[12]

از رابطهای جهتی و نیمه‌جهتی برای حرکات گردشی مهم به منظور کاهش مسافت سفر، افزایش سرعت و ظرفیت استفاده می‌شود.در رابطهای جهتی و گاهی نیمه‌جهتی سطح سرویس بالایی به دلیل سرعت‌های نسبتاً بالا و احتمال طراحی بهتر بخش‌های انتهایی قابل دسترس خواهد بود. اغلب یک رابط جهتی با دو باند ساخته می‌شود.[۲و۱۱]در این موارد ظرفیت رمپ ممکن است نزدیک به ظرفیت یک بزرگراه با تعداد خطوط مساوی برسد.یک رابط جهتی عبارت است از یک راه یک طرفه که از مسیر سفر مورد نظر زیاد منحرف نمی‌شود.تبادل‌هایی که از رابطهای جهتی برای حرکات گردش به چپ اصلی

[11] Semi cloverleaf
[12] Directional

استفاده می‌کنند، تبادل‌های جهتی هستند.رابط‌های جهتی یک یا تمام حرکات گردش به چپ تبادل را جهتی خواهد کرد حتی اگر گردش به چپ جزئی از طریق حلقه‌ها صورت پذیرند .هنگامی که یک یا چند رابط از رابط‌های تبادل غیر مستقیم هستند، ولی از حلقه ها مستقیم‌تر باشند، تبادل را یک تبادل نیمه جهتی می‌گویند .تمام رابط‌های گردش به چپ یا تنها حرکات گردش به چپ اصلی ممکن است در مسیر نیمه‌جهتی باشند.تبادل‌های کاملاً جهتی معمولاً در تقاطع دو آزادراه با حجم ترافیک بالا ترجیح داده می‌شوند.از آنجا که جریان ترافیک بین دو آزادراه از طریق این تبادل‌ها آزاد است، هیچ تقاطع همسطحی وجود ندارد، فقط رابط‌های رمپ مستقیم از یک آزادراه به آزادراه دیگر وجود خواهد داشت.تبادل‌های کاملاً جهتی به لحاظ تعداد زیاد و طول رمپ ها و تعداد زیاد پلها بسیار پرهزینه می‌باشند اما دارای ظرفیت بالایی برای جریان ترافیک عبوری و گردشی می‌باشند و فضای اضافی کم برای ساخت آن مورد نیاز است.[۲و۱۱]



تقاطع غیر همسطح جهتی[۱۷]

مروری بر پژوهش‌های گذشته

روش واتل‌ورث و اینگرام در انتخاب تقاطع غیرهمسطح

در این روش هم از تحلیل ترافیکی و هم از آنالیز اقتصادی جهت قیاس گزینه‌های مختلف استفاده می‌شود.برای ارزیابی ترافیکی هر یک از گزینه‌ها،ظرفیت ساعت اوج آنها با استفاده از یک مدل خطی محاسبه می‌شود.این مدل دو فرضیه دارد:

الف)نسبت حجم به ظرفیت همیشه کوچکتر از یک است.

ب)ترافیک در تمام سطح تقاطع بصورت یکنواخت توزیع شده است.

این مدل حداکثر حجمی را که قبل از ایجاد تراکم در تقاطع‌های غیر همسطح می‌تواند از آن عبور کند ،می‌یابد همچنین با استفاده از این مدل عضوی از تقاطع که تحت تاثیر حجم ماکزیمم شرایط بحرانی‌تری دارد،شناسایی می‌شود.بر اساس نتایج بدست آمده از مدل،شکل قبل به گونه‌ای اصلاح می‌شود که ظرفیت عضو بحرانی افزایش یابد.با استفاده از این روش در هر مرحله تقاطع انتخابی دارای ظرفیت بیشتری نسبت به مرحله قبل است.بعد از یافتن شکل مناسب تقاطع،هزینه اجرایی هر یک از گزینه‌ها را محاسبه می‌کنند،حال با استفاده از این مدل و بودجه موجود با سطح خدمت مورد نظر گزینه بهینه انتخاب می‌شود.عیب عمده این روش خطی بودن مدل مورد استفاده برای انتخاب تقاطع است.در این مدل فرض شده است که میزان منفعت کاربران و ظرفیت تقاطع دارای یک رابطه خطی هستند،حال آنکه افزایش اندکی در حجم ترافیک تقاطع سبب افزایش تصاعدی مقدار هزینه کاربران می‌شود.[۳]

روش مولینازی و ساترلی در انتخاب تقاطع غیرهمسطح

مولینازی و ساترلی روشی را برای انتخاب نوع تقاطع غیر همسطح در یک محل خاص پیشنهاد دادند که شامل مراحل زیر است:

الف)ابتدا باید مشخص شود در محل مورد نظر تبادل سیستم یا تبادل سرویس مورد نیاز است و در صورت نیاز به تبادل سیستم حتما انتهای رمپ‌ها باید بدون کنترل بوده و امکان جریان آزاد فراهم شود و در صورت استفاده از تبادل سرویس رمپ‌ها هم می‌توانند بصورت کنترل شده و هم به شکل آزاد به کار روند.

ب)شناسایی تعداد بازوهای تقاطع

ج)شناسایی محدودیت‌های طرح مانند محدودیت‌های حریم،تاسیسات،کاربری زمین و موانع دیگر

د)تعیین نوع طرح اعم از پیچیده یا ساده ،به عنوان مثال زمانی که تنها دو گزینه برای انتخاب نوع تقاطع وجود دارد طراحی ساده(در زمین‌های مسطح)و زمانی که چند گزینه موجود باشد طراحی پیچیده می‌باشد.

هنگامی که به این سوالات اساسی پاسخ داده شد گزینه‌هایی که تامین‌کننده شرایط فوق باشند از جنبه‌های مختلف مانند موارد ذیل ارزیابی می‌شوند.

الف-عامل‌های عملکردی

- ✓ سطح سرویس
- ✓ ایمنی
- ✓ انعطاف‌پذیری
- ✓ طول و تعداد خطوط مناطق همگذری
- ✓ زمان سفر

ب- عامل‌های اجتماعی

- ✓ حریم موجود
- ✓ تعداد معابری که بسته می‌شوند
- ✓ میزان تاثیر بر روی اماکن عمومی و تاریخی

ج- عامل‌های متنوع دیگر

- ✓ شعاع قوس‌ها
- ✓ درجه عملکردی رمپ‌ها
- ✓ توپوگرافی محل
- ✓ سرعت طرح
- ✓ نحوه ترکیب ترافیک (نوع وسایل نقلیه عبوری و درصد هریک)
- ✓ هزینه‌های اجرایی

پس از محاسبه هزینه گزینه‌های مختلف،برای هر یک از معیارهای فوق با در نظر گرفتن میزان اهمیت آنها یک عدد در نظر گرفته می‌شود.با توجه به درجه تطابق هر یک از گزینه‌ها در معیار مورد نظر نمره‌ای به آن داده می‌شود.گزینه‌ای که در مجموع دارای بالاترین نمره باشد به عنوان گزینه نهایی انتخاب می‌شود.عیب عمده این روش این است که عدد در نظر گرفته

شده برای هر معیار اختیاری و دلخواه بوده و با توجه به سلایق طراح تغییر می‌کند.در نتیجه گزینه انتخابی با توجه به عدد در نظر گرفته شده برای هر معیار متغیر خواهد بود که این امر به میزان زیادی از اعتبار روش فوق می‌کاهد.[۲۲و۳]

روش اسمیت و گاربر در انتخاب تقاطع غیرهمسطح

این روش زمانی به کار برده می‌شود که بخواهیم تقاطع مورد نظر را صرفا از میان تقاطع‌های لوزی یا تک‌نقطه‌ای انتخاب کنیم. اسمیت و گاربر مطالعات جامعی را در مورد میزان ایمنی و خصوصیات عملکردی این دو نوع تقاطع انجام دادند که نتایج آن در ادامه ارائه شده است.

زمانیکه حجم وسایل نقلیه در هر رویکرد افزایش می‌یابد،میزان افزایش تاثیر در مبدل‌های لوزی بیش از مبدل‌های تک-نقطه‌ای است.هنگامی که تعداد عابرین پیاده زیاد است مبدل‌های لوزی به مبدل های تک‌نقطه‌ای ترجیح داده می‌شوند.زیرا در تقاطع های تک‌نقطه‌ای میزان تاخیر جهت سازگاری تقاطع با عبور زیاد عابرین پیاده به سرعت افزایش پیدا می‌کنند.

هنگامی که یکی از دو راه متقاطع دارای مسیرهای جمع و پخش‌کننده است،مبدل‌های لوزی بر تک‌نقطه‌ای ترجیح داده می‌شوند زیرا در این حالت در مبدل‌های تک‌نقطه‌ای مجبوریم جهت سازگاری با مسیرهای جمع و پخش‌کننده از چراغ‌های فازبندی شده استفاده کنیم که این امر سبب افزایش میزان تاخیر می‌شود.

مبدل‌های لوزی معمولا در مواردی که زاویه تقاطع خیلی حاده است بر مبدل‌های تک‌نقطه‌ای ترجیح داده می‌شوند زیرا در این حالت هزینه ساخت مبدل‌های تک‌نقطه‌ای به علت نیاز به سازه بزرگتر افزایش یافته و فاصله دید نیز به شکل قابل ملاحظه ای کاهش می‌یابد.

زمانیکه حجم گردش به چپ ها در تقاطع قابل توجه است،بکار بردن مبدل های تک‌نقطه‌ای می تواند سطح خدمت بالاتری را نسبت به مبدل های لوزی در تقاطع ایجاد کند.مبدل های تک‌نقطه‌ای بعلت دارا بودن فاز گردش به چپ جداگانه دارای قابلیت انتقال میزان گردش به چپ بیشتری هستند.

هنگامیکه توزیع ترافیک در مسیر اصلی بزرگتر است مبدل‌های تک‌نقطه‌ای و زمانیکه حجم ترافیک در مسیر فرعی بیشتر است مبدل‌های لوزی برترند.[۲۳و۳]

روش سید کمال سید حسین[13] در انتخاب تقاطع غیر همسطح

شیوه مورد استفاده در این تحقیق شامل مراحل مختلفی بوده است که هر یک از این مراحل با توجه به اهداف موردنظر در پژوهش و ضرورت رعایت مسیر کلی یک طرح مطالعاتی به ترتیب صورت پذیرفته‌اند. با توجه به موضوع مطالعه و دستاوردهای حاصل از بخش‌های قبلی، نرم‌افزار مناسب جهت تحلیل عملکرد اجزاء مختلف تقاطع‌های غیرهمسطح شناخته شده و در ادامه اطلاعات مورد نیاز برای شروع تحلیل‌ها از چند تقاطع در سطح شهر تهران جمع‌آوری شده و بعنوان داده‌های ورودی نرم‌افزار مورد استفاده قرار گرفتند .سپس از طریق تطبیق پارامترهای ترافیکی در شرایط واقعی و مدل‌های شبیه‌سازی شده، طی یک پروسه زمانبر شبکه مورد استفاده در مورد هر یک از تقاطع‌های غیرهمسطح کالیبره شد .نهایتاً جهت شناخت نقاط ضعف و قدرت انواع تقاطع غیرهمسطح، هر یک از آنها تحت تأثیر یک سری حجم سناریو قرار گرفت و نتایج مورد نظر در هر مورد، از خروجی‌های برنامه استخراج شد .با توجه به یافته‌های حاصل از بررسی کتب و مقالات و خروجی‌های بدست آمده از هر مدل و مطابقت آن با حجم سناریوی معادل با آن، نتایج تحقیق بدست آمده و ارائه شده است. [۱۰]

جهت بررسی نحوه عملکرد هر یک از انواع تقاطع غیرهمسطح تحت شرایط مختلف ترافیکی، ابتدا از هر یک از انواع تقاطع یک نمونه در سطح شهر تهران انتخاب شده و خصوصیات فیزیکی و عملکردی آن برداشت شد .تقاطع‌های منتخب عبارتند از: شبدری کامل،نیمه شبدری،لوزی و تک‌نقطه‌ای

برای ارزیابی عملکرد تقاطع‌های غیرهمسطح باید داده های زیادی جمع‌آوری شوند.این داده‌ها را می‌توان در دوگروه دسته‌بندی کرد:

[13] Seyyed kamal Seyyed hossein

ثابت(استاتیکی) و وابسته به زمان(دینامیکی) .جهت استخراج داده‌های استاتیکی تقاطع‌های غیرهمسطح فوق‌الذکر، پارامترهایی نظیر عرض و تعداد خطوط عبور، مساحت تقاطع، شیب مسیر، طول و شعاع قوس در رابطها، فاصله تقاطع‌های همسطح مجاور هم، طول خطوط افزایش و کاهش سرعت، طول پاکت‌های گردش به چپ و ... از عکس‌های هوایی موجود در سایت اینترنتی Google Earth برداشت شده است .داده‌های دینامیکی عموماً شامل پارامترهایی نظیر حجم ترافیک، ترکیب ترافیک، زمان‌بندی و فازبندی چراغ‌های متغیر و ... هستند که از ضبط تصویر ویدیویی از محل تقاطع در ساعت اوج ترافیک حاصل شده‌اند .علاوه بر برداشت حجم و ترکیب ترافیک، مشخصات عملکردی و رفتاری نظیر میانگین سرعت وسایل نقلیه در هر رویکرد، میانگین تأخیر در تقاطع‌های چراغدار ، فاصله ما بین وسایل نقلیه و ... نیز جهت کالیبراسیون مدل ساخته شده برداشت شده‌اند. برای بدست آوردن یک تصویر بهتر از نحوه عملکرد تقاطع‌های غیرهمسطح، لازم است یک سری حجم سناریو برای انواع تقاطع‌های غیرهمسطح اتخاذ شده و هر تقاطع تحت تأثیر هر یک از آنها مورد آنالیز قرار گیرد .به همین دلیل در این تحقیق پنج حجم متفاوت تعریف شده‌اند که، عبارتند از: ۱۵۰۰،۲۵۰۰،۴۵۰۰،۵۵۰۰،۶۵۰۰ وسیله در ساعت . برای هر یک از حجم‌های اعمال شده، ده سناریو در نظر گرفته شده است که ترافیک را به اشکال مختلف در سطح تقاطع توزیع می‌کنند .حجم سناریوها طوری در نظر گرفته شده‌اند که کلیه حالات ممکن را شامل شده و بتوانند حساسیت‌های ترافیکی هر یک از انواع تقاطع غیرهمسطح را نشان دهند. [۱۰]

در این تحقیق، جهت مقایسه کیفیت خدمت‌دهی تقاطع‌های غیرهمسطح با یکدیگر، سطح سرویس(سطح خدمت) هر یک محاسبه شده و مبنای این قیاس قرار گرفته است .برای محاسبه سطح سرویس(سطح خدمت) هر یک از انواع تقاطع غیرهمسطح، ابتدا عناصر تأثیرگذار در نحوه عملکرد هر یک از انواع تقاطع شناخته شده، سپس سطح خدمت هر یک از این عناصر با استفاده از جداول موجود در HCM2000 (کتاب راهنمای ظرفیت راه‌ها)محاسبه و با یکدیگر قیاس شده است . جهت تحلیل عملکرد انواع مختلف تقاطع غیرهمسطح تحت شرایط مختلف ترافیکی و شناخت حساسیت و محاسن و معایب هر یک، از شبیه‌سازی ترافیکی در محیط نرم‌افزارAIMSUN استفاده شد .برای این کار همانطور که پیش‌تر بیان شد از هر یک از انواع تقاطع غیرهمسطح یک نمونه در سطح شهر تهران انتخاب شده و پس از برداشت دقیق داده‌های استاتیکی و دینامیکی، مدل مربوط به آن ساخته شد .سپس داده‌هایی نظیر میزان تأخیر، سرعت و تراکم از مدل شبیه‌سازی شده استخراج شده و با مقدار واقعی این پارامترها تطبیق داده شد و در صورت وجود مغایرت، با تغییر پارامترهای رفتاری و عملکردی وسایل نقلیه و رانندگان مدل شبیه‌سازی شده کالیبره شد.برای بدست آوردن یک تصویر بهتر از نحوه عملکرد تقاطع‌های غیرهمسطح، یک سری حجم سناریو برای انواع تقاطع‌های غیرهمسطح اتخاذ شد و هر تقاطع تحت تأثیر هر یک از آنها مورد آنالیز قرار گرفت.در ادامه نتایج حاصل از شبیه‌سازی هر یک از انواع تقاطع غیرهمسطح ارائه شده است.

برخی از مهمترین نتایج حاصله از این پژوهش:

الف) سطح خدمت تبادل‌های لوزی متأثر از نحوه عملکرد دو تقاطع همسطح موجود در آن است و در کل می‌توان گفت زمانیکه حجم وسایل نقلیه ورودی به تقاطع ۴۵۰۰ وسیله در ساعت یا کمتر از آن است، تبادل‌های لوزی در سطح خدمت D یا بهتر از آن عمل می‌کنند.

ب) نحوه عملکرد تبادل‌های تک‌نقطه‌ای مستقیماً وابسته به کیفیت خدمت‌دهی تقاطع همسطح موجود در آن است و در کل زمانیکه حجم وسایل نقلیه ورودی به تقاطع ۵۵۰۰ وسیله در ساعت یا کمتر از آن باشد، تبادل‌های تک‌نقطه‌ای در سطح خدمت D یا بهتر از آن عمل می‌کنند.

ج) تبادل‌های تک‌نقطه‌ای همواره دارای عملکرد بهتر و سطح خدمت مطلوب‌تری نسبت به تبادل‌های لوزی در حجم سناریوهای مشابه هستند.

د)نحوه توزیع ترافیک در تبادل‌های تک‌نقطه‌ای نقش تعیین‌کننده‌ای در میزان تأخیر و سطح خدمت این تقاطع‌ها دارد . بنحوی که عدم تقارن در حجم چپگردهای خروجی از رمپ‌ها یا چپگردهای مسیر فرعی، سبب افزایش میزان تأخیر و افت سطح خدمت تقاطع می‌شود.

ه) نحوه عملکرد تبادل‌های شبدری کامل، متأثر از میزان تراکم ترافیک در مناطق همگذری و همچنین نواحی واگرایی و همگرایی ترافیک در محل اتصال رمپ‌ها با بزرگراه است .با توجه به طول معمولاً کوتاه مناطق همگذری در تبادل‌های درون شهری، غالباً این نواحی دارای شرایط بحرانی‌تری نسبت به مناطق واگرایی و همگرایی رمپ‌ها هستند .با در نظر گرفتن شکل معمول تبادل‌های شبدری کامل در مناطق درون شهری می‌توان گفت زمانیکه حجم ترافیک ضربدری ۱۱۷۰ وسیله در ساعت یا کمتر از آن باشد، تقاطع در سطح خدمت D یا بهتر از آن عمل می‌کنند.

و) سطح خدمت تبادل‌های نیمه شبدری وابسته به میزان تراکم ترافیک در مناطق واگرایی و همگرایی رمپ‌ها و نحوه عملکرد مناطق همگذری می‌باشد.

در صورتیکه حجم ترافیک ضربدری در مناطق همگذری بیش از ۱۱۷۰ وسیله در ساعت باشد، می‌توان با بکاربردن رمپ-های جهتی این مناطق را حذف کرد، در نتیجه سطح خدمت تبادل‌های نیمه شبدری تنها وابسته به نحوه عملکرد نواحی واگرایی و همگرایی رمپ‌ها خواهد بود.نتایج تحلیل‌های صورت گرفته نشان می‌دهد، تبادل‌های نیمه شبدری در کلیه حجم سناریوها دارای عملکرد بسیار مناسبی بوده و در سطح خدمت D یا بهتر از آن عمل می‌کنند.

ز) با توجه به اینکه معمولاً ارزش زمین در مناطق درون شهری بسیار زیاد است لذا تبادل‌های که حریم کمتری نیاز داشته باشند اقتصادی‌تر هستند.از این حیث، تبادل‌های تک‌نقطه‌ای در میان تقاطع‌های غیرهمسطح کم هزینه‌ترین تبادل بشمار می‌روند و بعد از آن به ترتیب تبادل‌های لوزی، نیمه شبدری و شبدری کامل در اولویت‌های بعدی قرار دارند. [۱۰]

اولویت بندی عوامل مؤثر بر انتخاب تقاطع‌های غیرهمسطح توسط شهاب حسن پور[14]

نگاه تک بعدی به تقاطع‌ها باعث می‌شود که گاه معضل‌ها را از یک نقطه به نقطه دیگری در شبکه راه‌ها منتقل نمود.از سوی دیگر نگاه جامع دستیابی به مبدا، مقصد، و تمایلات تردد محدوده تقاطع را امکان‌پذیر نموده و ارائه راهکارهای ترکیبی را ممکن می‌سازد .تامین حرکت روان و ایمن ترافیک در تقاطع‌ها، باعث جلوگیری از ایجاد گره‌های ترافیکی و کاهش تاخیر وارده می‌شود.بر این اساس در تحلیل‌های اقتصادی، باید ارزش زمان صرفه‌جویی شده و پارامترهای مثبت دیگر در این ارتباط مدنظر قرار گیرد. [۵]

این پارامترهای مثبت عبارتند از :

۱) رویکردهای ترافیکی
۲) هزینه
۳) توپوگرافی منطقه
۴) منفعت استفاده کنندگان
۵) کنترل دسترسی
۶) تاسیسات معارض
۷) موقعیت نسبت به دیگر تقاطعات

[14] Shahab Hassanpoor

جدول ۱: مقایسه خصوصیات انواع مختلف تبادل ها [5]

نوع تبادل	مقدار فضای لازم جهت ساخت	ظرفیت	قیمت	توضیحات
لوزی	کم	کم	کم	ساده‌ترین تبادل است
تک نقطه ای	کم	متوسط	کم- متوسط	بیشتر برای مناطق شهری طراحی می‌شود و مشکل آن عدم تطبیق با عابر پیاده است
نیمه شبدری	متوسط	متوسط	متوسط	لوپ‌ها باید جوری طراحی شوند که بتوانند به گردش به چپ زیادی خدمت رسانی کنند.
شبدری کامل	زیاد	متوسط	زیاد	ایمنی و ظرفیت به محدوده تداخلی وابسته است.
شیپوری	متوسط-زیاد	متوسط	متوسط-زیاد	در محل تقاطع سه شاخه باید استفاده شود.
جهتی	خیلی زیاد	زیاد	خیلی زیاد	برای اتصال آزادراه به آزادراه مناسب است.

- ✓ رویکردهای ترافیکی : با مطالعه بر روی رویکردهای ترافیکی تقاطع‌های غیرهمسطح،نتایجی حاصل گشته است که در شکل ۱ نشان داده شده است.
- ✓ هزینه : در این پژوهش منظور از هزینه‌ها،خرید زمین برای احداث تبادل و هزینه‌ی طراحی، ساخت و اجرای تبادل می‌باشد که یکی از عوامل مهم و تاثیرگذار در انتخاب نوع بهینه‌ی تقاطع غیرهمسطح می‌باشد.

- ✓ توپوگرافی منطقه : در بعضی مناطق، تقاطع‌های غیرهمسطح تنها گزینه‌ای هستند که توجیه اقتصادی دارند .نوع توپوگرافی سایت ممکن است به گونه‌ای باشد که نیازهای طرح را برآورده کند و انواع دیگر تقاطع قابل اجرا نباشند یا هزینه‌ای برابر یا بیش از تقاطع غیر همسطح داشته باشند.

- ✓ کنترل دسترسی : دستیابی به یک بزرگراه با بالاترین حد تحرک و دسترسی کنترل شده بین دو نقطه معیاری برای صدور مجوز تقاطع غیرهمسطح یا تبادل در تقاطع یک راه اصلی با فرعی است .با وجود این که کنترل دسترسی و حذف پارکینگ و ترافیک عابر پیاده مهم هستند تقاطع غیرهمسطح یا تبادل در تقاطع یک راه اصلی با فرعی، ایمنی را افزایش می‌دهد .لذا کلیه تقاطع‌های آزادراه باید به صورت غیرهمسطح یا تبادل طراحی شوند و هدف اصلی یک جریان مداوم و روان ترافیک در مسیر اصلی است.

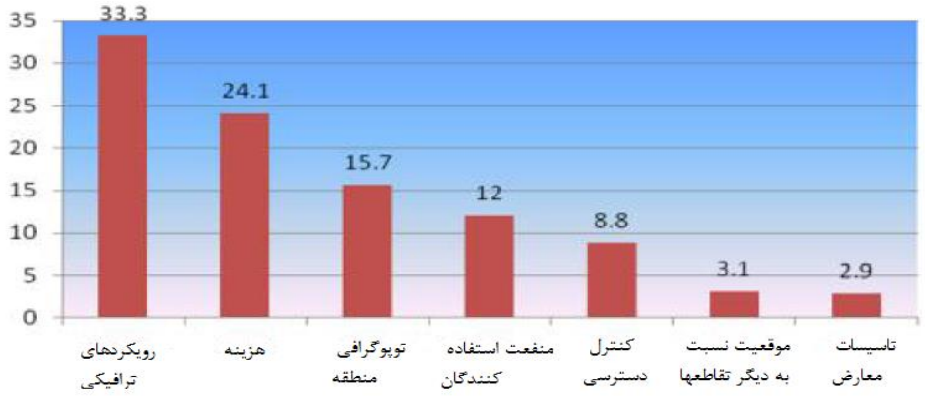
- ✓ منفعت استفاده‌کنندگان : هزینه ناشی از تاخیر رانندگان در تقاطع‌های پرتراکم همسطح معمولا بسیار بالاست . چنین هزینه‌هایی شامل سوخت، روغن، تعمیرات و تصادفاتی است که به خاطر تغییرات سرعت اتفاق می‌افتد .در تبادل‌ها اگرچه معمولا مسافت بیشتری نسبت به تقاطع‌های نظیر طی می‌شود اما هزینه طی این مسافت اضافی بسیار کمتر از هزینه‌هایی است که در تاخیر ناشی از توقف ایجاد می‌شود .نسبت منافع احداث تبادل(کاهش هزینه استفاده کنندگان برای یک سال)، بر هزینه سرمایه‌گذاری و توسعه آن (بر حسب ارزش تبدیل شده برای یک سال)شاخص خوبی برای تعیین اقتصادی بودن تبادل است .هرچه این نسبت بزرگتر باشد، طرح توجیه اقتصادی بیشتری دارد .مقایسه این نسبت برای گزینه‌های طراحی، عامل بسیار مهمی در تعیین نوع و میزان اصلاحات است . اگر این نسبت برای یک پروژه محاسبه گردد، نسبت بزرگتر از یک، بدین معنی است که طرح از لحاظ اقتصادی توجیه پذیر است .به علاوه تبادل‌ها معمولا برای توسعه‌های مرحله‌ای طراحی می‌شوند و توسعه‌های مقدماتی ممکن است سودهای زیادی حتی بیشتر از توسعه‌های آتی در بر داشته باشد. [۵]
- ✓ تاسیسات معارض : تاسیسات زیرزمینی و زیرساختی از مهمترین مباحث در زمینه احداث هر پروژه‌ای می‌باشد. این تاسیسات به جهت اهمیتی که به لحاظ ساخت و قرارگیری در اعماق زمین دارند و از سویی هریک از آنها در حوزه ارگان‌ها و نهادهای مختلفی هستند، هم به لحاظ ساخت و مکانیابی مجدد و هم به لحاظ هماهنگی حقوقی میان نهادهای مختلف، تاخیر زمانی زیادی را در روند پروژه پدید می‌آورند. لذا گزینه‌ای را بایستی انتخاب نمود که تا حد امکان دارای کمترین تعارضات با تاسیسات زیرزمینی باشد.

- ✓ موقعیت نسبت به دیگر تقاطع‌ها : کمبود ظرفیت تقاطع در جاده‌های پر ترافیک باعث تراکم بیش از حد در یک یا چند شاخه تقاطع می‌شود .عدم توانایی در تامین ظرفیت لازم با توسعه یا اصلاح تقاطع همسطح، دلیلی برای تبدیل یک تقاطع همسطح به تبادل است .به بیان دیگر گاهی تقاطع همسطح به صورت گلوگاه ترافیکی در می‌آید که معمولا در نقاط مرکزی شهرها چنین وضعیتی پیش می‌آید و احداث زیرگذر، روگذر یا تبادل مورد توجه قرار می‌گیرد .در بسیاری از موارد، غیر همسطح کردن تقاطع، گره ترافیکی را رفع نمی‌کند بلکه آن را به نقطه‌ای دیگر در همان نزدیکی انتقال می‌دهد .به این دلیل اثر بخشی منابعی که صرف اصلاحات ناهماهنگ موضوعی می‌شوند، مورد تردید است .برای اطمینان از اثر بخشی اقدامات اصلاحی باید تاثیر ترافیکی اصلاحات مورد نظر را بر شبکه راه‌های مجاور و نیز بر محیط‌زیست شهری بررسی کرد.

همانگونه که ذکر گردید، تقاطع‌های غیرهمسطح به لحاظ نقش زیرساختی در شبکه حمل و نقل به خصوص در معابر شهری و نیز تاثیرات بالقوه‌ای که بر مطلوبیت ترافیک دارا می‌باشند حائز اهمیت بسزایی هستند.لذا این اهمیت زیاد تقاطع‌ها،مدیران شهری را با دغدغه‌هایی برای انتخاب گزینه برتر و مناسب‌تر تقاطع‌ها روبرو می‌نماید.از این رو ارائه الگویی که بتواند راهنمای مناسبی برای تصمیم‌گیری باشد ضروری به نظر می‌رسد.لذا در این تحقیق عوامل مؤثر بر انتخاب گزینه برتر شامل رویکردهای ترافیکی، هزینه، توپوگرافی منطقه، منفعت استفاده کنندگان، کنترل دسترسی، موقعیت نسبت به دیگر تقاطع‌ها و تاسیسات معارض شناخته گردید.

لذا نکات ذیل قابل توجه است:

- ✓ در انتخاب گزینه‌ها حجم تقاضای رویکردهای ترافیکی در اولویت اول قرار گیرد.
- ✓ منفعت استفاده کنندگان و میزان دسترسی‌ها دارای اولویت متوسط هستند.
- ✓ تاسیسات معارض گزینه‌ها دارای کمترین میزان اولویت باشد.



شکل۱: اولویت بندی پارامترهای مؤثر بر انتخاب نوع بهینه تقاطع غیرهمسطح [۵]

در این پژوهش در مرحله‌ی اول پس از انتخاب نرم‌افزار مورد نظر AIMSUN تمامی تقاطع‌های غیرهمسطح لوزی، تک‌نقطه-ای، جهتی، شبدری کامل و نیمه شبدری با رعایت پوسته‌ای مشخص در نرم‌افزار مذکور مدل می‌شوند.در ادامه تقاطع‌های مدل شده تحت چند سناریوی ترافیکی مختلف برای احجام ترافیکی مختلف قرار گرفته و هر تقاطع غیرهمسطح در نرم‌افزار شبیه-سازی شده است و پس از کالیبراسیون نرم‌افزار که با توجه به داده‌های میدانی در بزرگراه نیایش بدست آمده است خروجی-های نرم‌افزار استخراج می‌گردد.پارامترهایی که در این تحقیق مورد بررسی قرار می‌گیرند و در معادلات وارد می‌شوند عبارت اند از حجم ترافیکی، میزان تولید آلاینده‌های هوا، میزان مصرف سوخت، زمان سفر،هزینه ساخت و ایمنی.در ادامه و با استفاده از خروجی‌های نرم‌افزار AIMSUN برای پارامترهای مذکور معادله‌ای بر حسب میزان حجم گردش به چپ‌ها که نقش تعیین کننده‌ای را در عملکرد تقاطع‌های غیرهمسطح دارند بدست می‌آید .در مرحله آخر تمامی پارامترها به هزینه ریالی تبدیل شده و در نتیجه خروجی معادلات برای هر تقاطع هزینه‌ی آن تقاطع می‌باشد که در نتیجه تقاطعی که هزینه کمتری دارد را می-توان بعنوان تقاطع غیرهمسطح انتخابی معرفی کرد. [۳]

برای وزن‌دهی پارامترها با استفاده از پرسشنامه‌های تهیه شده و با بهره‌گیری از کارشناسان و متخصصان حمل و نقل و ترافیک و نیز اساتید دانشگاهی و با استفاده از روش AHP به وزن‌دهی پارامترهای اشاره شده ،پرداخته شده است و پس از وارد کردن ماتریس‌ها در نرم‌افزار expertchoice11 و تحلیل آنها توسط نرم‌افزار، با میانگین‌گیری هندسی وزن‌های نهایی پارامترهای آلودگی، مصرف سوخت، زمان سفر، فضای مورد نیاز، هزینه ساخت بدست آمده‌اند.

پس از بدست آوردن وزن پارامترها برای نوشتن معادله‌ی هزینه کلی،هر کدام از پارامترهای آلودگی ، زمان سفر ، سوخت ، فضای مورد نیاز ، هزینه ساخت در وزن‌های بدست آمده از نرم‌افزار Expert choice 11 ضرب شده است.در نتیجه تا این مرحله سعی شده بنابر اهمیت هر کدام از پارامترهای مورد بحث وزن آنها اعمال شود. در گام بعدی جهت همسان‌سازی واحد این پارامترها برای جمع کردن آنها با هم ،تمام پارامترها را در هزینه‌های محاسبه شده از روش‌های مختلف ضرب شدند و در نتیجه در این مرحله می‌توان برای هر کدام از۵ نوع تقاطع غیرهمسطح ، پارامترهای تبدیل شده به هزینه را با هم جمع نمود. در نتیجه ۵ معادله‌ی اصلی برای هزینه‌ی کل پنج نوع تقاطع غیرهمسطح حاصل می‌شود که در آن متوسط حجم گردش به چپ تقاطع مورد مطالعه ، تعداد تصادفات موجود در تقاطع ، مساحت و فضای موجود برای احداث تقاطع غیرهمسطح و منطقه‌ی مورد نظر در شهر تهران جهت احداث تقاطع غیرهمسطح ورودی معادله می باشند .در نهایت این ۵ معادله با وارد کردن پارامترهای فوق الذکر به ۵ هزینه کلی برای تقاطع‌های تک‌نقطه‌ای – لوزی – جهتی – شبدری کامل و نیمه‌شبدری می‌رسد. تقاطعی که کمترین میزان هزینه را دارا باشد به عنوان تقاطع بهینه و منتخب معرفی می گردد.

با عنایت به بحث‌های صورت گرفته و نتایج حاصله از معادلات،نتایج ذیل از این تحقیق حاصل می‌شود:

۱)با افزایش وزن آلودگی هوا، تقاطع جهتی و شبدری به ترتیب دارای اولویت‌های بالا می‌باشند .همچنین تقاطع‌های لوزی و تک‌نقطه‌ای دارای کمترین اولویت انتخاب می‌باشند. [۳]

۲) همانطور که نمودارها نشان می دهند به علت وجود چراغ در تقاطع‌های لوزی و تک‌نقطه‌ای و همچنین تداخل بالا در حرکات گردش به چپ و مستقیم، این تقاطع‌ها دارای بیشترین زمان تأخیر و آلودگی هستند و در نتیجه با افزایش میزان اهمیت زمان سفر و آلودگی هوا در انتخاب نوع تقاطع غیرهمسطح، این تقاطع‌ها از اولویت انتخاب کمتری برخوردار می‌باشند. [۳]

معرفی نرم‌افزار شبیه‌سازی

شبیه‌سازی : شبیه‌سازی را می‌توان به عنوان فرآیند طراحی یک مدل از یک سیستم واقعی و کاربرد آن به منظور فهم دقیق سیستم یا ارزیابی روش‌های مختلف برای عملکرد سیستم بیان کرد.استفاده از شبیه‌سازی در علم مهندسی ترافیک مزایا و کاربردهای گسترده‌ای دارد؛ از جمله این مزایا می‌توان به این نکته اشاره کرد که در شبیه‌سازی قبل از آنکه در دنیای واقعی مشکلی به خاطر اعمال سیاست‌ها، روشها، طراحی ها و ... به وجود آید،می‌توان آنها را در دنیای مجازی مورد بررسی قرار داد.به کمک علم شبیه‌سازی، طرح‌های سیستم‌های مختلف حمل و نقل می‌توانند بدون پرداخت هزینه تأسیس یک مدل در دنیای واقعی، در دنیای مجازی آزمایش شوند.[۱۲]

از جمله معایب علم شبیه‌سازی می‌توان به نیاز به آموزش تخصصی برای ساخت مدل مجازی اشاره کرد.از دیگر معایب علم شبیه‌سازی می‌توان به متمایز بودن مدل‌های ساخته شده توسط افراد مختلف، وقت‌گیر و هزینه بر بودن، عدم پاسخ مناسب به مواردی که دارای جواب‌های تحلیلی هستند،اشاره کرد. در نرم‌افزار شبیه‌ساز تمامی متغیرها به صورت کمیت محور تعریف شده‌اند و تحلیل نتایج و در نظر گرفتن تمامی جنبه‌های طرح بر عهده مدیر طرح است. نرم‌افزارهای شبیه‌ساز شامل ورودی‌ها (انواع وسایل،حجم‌ها و ...)،اجزای شبکه (قطعات راه،تقاطع‌ها،رمپ‌ها،حمل و نقل همگانی و ...) و کنترل‌ها (کنترل تقاطع‌های چراغ‌دار، کنترل رمپ‌های ورودی) می‌باشند. [۱۲]

سامانه‌های شبیه‌سازی را در سه گروه تقسیم‌بندی می‌کنند:

- ✓ میکروسکپی[15] (با جزئیات زیاد)
- ✓ مزوسکپی[16] (با جزئیات متوسط)
- ✓ ماکروسکپی[17] (با جزئیات کم)

مدل‌های شبیه‌سازی میکروسکوپی علاوه بر ورودی‌های سیستم، اندرکنش بین اجزای سامانه را نیز با جزئیات زیاد مدل می‌کنند .برای مثال مانور تغییر خط، به عنوان یک واقعه با جزئیات و با توجه به اطلاعاتی راجع به شرایط وسیله جلوی وسیله مورد بحث و شرایط خط عبوری مجاور مدل می‌شود. [۱۲]

مدل‌های مزوسکوپی ورودی‌های سیستم را به صورت جزئی مطالعه می‌کند ولی اندرکنش بین آنها با جزئیات کمتری مورد بررسی قرار می‌گیرد. مثال مانور تغییر خط به صورت دفعی و با توجه به چگالی خط‌های عبوری و بدون در نظر گرفتن اطلاعات محل تغییر خط انجام می‌پذیرد.

15 Microscopic
16 Mesoscopic
17 Macroscopic

مدل‌های ماکروسکوپی ورودی‌ها و اندرکنش‌های بین آنان را با جزئیات کم مورد بررسی قرار می‌دهند .به عنوان مثال برای جریان ترافیک از شاخص‌های ترکیبی مثل نرخ تردد، چگالی و سرعت استفاده می‌شود. همچنین مانورهای تغییر خط عبوری در نظر گرفته نمی‌شوند، بلکه به صورت ترکیب این مانورها و سایر اندرکنش‌ها بین وسایل در قالب مدل‌هایی مورد بررسی قرار می‌گیرند. [۱۲] نرم‌افزارهای متعددی در زمینه شبیه‌سازی وجود دارند که به وسیله آنها مدل‌سازی انجام می‌شود. این نرم-افزارها عبارت اند از جت‌رم، سینکرو، نتسیم ، ویسیم و ویزویوم،توروس و آتوترن.

نرم‌افزار سینکرو[۱۸] یک بسته نرم‌افزاری کامل برای مدل‌سازی، بهینه‌سازی، مدیریت و شبیه‌سازی سامانه‌های ترافیکی است. کاربردهای نرم‌افزار سینکرو را می‌توان در مواردی نظیر تجزیه و تحلیل ظرفیت، هماهنگ‌سازی و بهینه‌سازی تقاطع‌ها، چراغ-های هوشمند، ترسیم نمودارهای فاصله – زمان، شبیه سازی ترافیکی و تقابل با کنترل‌کننده خلاصه کرد. [۱۲]

نرم‌افزار نتسیم[۱۹] یکی از نرم‌افزارهای مجموعه ترف[۲۰] است که توسط اداره راه‌های فدرال آمریکا[۲۱] برای شبیه‌سازی جریان ترافیک تهیه و ارائه شده است.

این برنامه یک مدل شبیه‌سازی تصادفی ریزنگر است که عملکرد وسایل نقلیه موجود در شبکه معابر را مدل‌سازی می‌کند.

نرم‌افزار ویسیم[۲۲] یک نرم‌افزار خردنگر برای تحلیل و مدل‌سازی شبکه معابر،تقاطع‌ها،سیستم‌های حمل و نقل عمومی،مدیریت پارک و... است که با داشتن قابلیت‌ها و دقت برنامه‌ریزی بالاتر نسبت به نرم‌افزارهای سینکرو و جت‌رم[۲۳] قادر به ارائه مشخصات و شاخص‌های عملکردی معابر می‌باشد.نرم‌افزار ویزیوم[۲۴] نیز یک نرم‌افزار کلان نگر جهت انجام برنامه‌ریزی حمل و نقل شهری است. [۹]

نرم‌افزار آتوترن[۲۵] در محیط برنامه‌های رایانه‌ای اتوکد یا لند نصب شده و عملاً یک منوی جدید به این برنامه‌ها اضافه می-کند.این نرم‌افزار با دارا بودن انواع خودروهای طرح آیین‌نامه‌های مختلف دنیا نظیر آیین‌نامه آشتو(۲۰۰۱)و آشتو(۲۰۰۴) در منابع اطلاعاتی خود قابلیت شبیه‌سازی نحوۀ حرکت و گردش خودروی مورد نظر طراح را در تقاطع یا سایر موقعیت‌های مورد نظر با سرعت‌های مختلف دارا است. به عبارت دیگر، بعد از تهیه پلان تقاطع مورد نظر به منظور آنالیز ابعاد و اندازه‌های شعاع قوس‌ها،عرض رمپ‌ها و سایر پارامترهای تقاطع و همچنین بهینه کردن ابعاد طرح تقاطع‌ها و جلوگیری از به وجود آمدن مشکلات احتمالی پس از اجرای تقاطع، طراح نسبت به شبیه‌سازی حرکت خودرو به ابعاد واقعی در سطح تقاطع اقدام می‌کند و نرم‌افزار نیز می‌تواند یک انیمیشن از نحوه‌ی حرکت خودروها در تقاطع تهیه کند. [۹]

نرم‌افزار توروس[۲۶] یک نرم‌افزار پیشرفته است که در محیط نرم‌افزارهای اتوکد یا لند، نصب شده و برای طراحی میادین مورد استفاده قرار می‌گیرد. این نرم‌افزار با بهره‌گیری از نرم‌افزار آتوترن می تواند میادین را بر اساس مسیر حرکتی واقعی خودروها به صورت بهینه طراحی کرده و ضمن کوتاه کردن زمان طراحی میادین، می‌تواند فواصل دید را با توجه به سرعت مورد نظر طراح و خودروی طرح در طراحی تقاطع لحاظ کند. در ضمن می‌تواند جداول مربوط به ابعاد هندسی تقاطع را به صورت خودکار تهیه کرده تا جهت عملیات نقشه‌برداری یا اجرا از آن استفاده شود. [۹]

نرم‌افزار جت‌رم یک نرم‌افزار خردنگر در تحلیل مسائل ترافیکی است که نتایج حاصل از آن را به صورت کلان هم ارائه می‌دهد. ایمسان نیز نسل جدید نرم‌افزار مشهور جت‌رم است.نرم‌افزار ایمسان قادر است به طور هم زمان شبیه‌سازی ماکروسکپی،مزوسکپی و میکروسکپی را انجام دهد.این در حالی است که دیگر نرم‌افزارهای شبیه‌سازی مانند کوریسم[۲۷] تنها

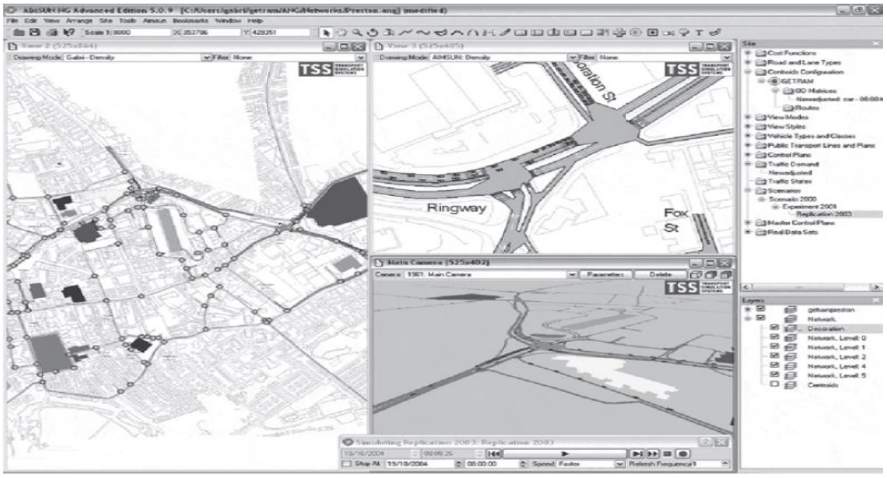
---

18 SYNCHRO
19 Netsim
20 Traf
21 FHWA, Federal Higway Administration
22 VISSIM
23 GETRAM
24 Visum
25 Autoturn
26 TORUS
27 Corsim

قادر به شبیه سازی یکی از این مدل‌ها می‌باشند و این ویژگی منحصر به فرد نرم‌افزار است. شکل ۲-۲ محیط نرم‌افزار ایمسان را نشان می‌دهد. [۹]

کاربردهای این نرم‌افزار عبارتند از : تجزیه و تحلیل تاثیر طرح‌های زیر ساختی از قبیل احداث تقاطع‌های غیرهمسطح،تونل-ها،میادین و... ، مطالعات محیطی ، مطالعات هزینه‌ی جاده‌ای و عوارضی و همچنین انتخاب محدوده‌های طرح‌هایی همچون طرح زوج و فرد خودروها و طرح‌های ممنوعیت و همچنین طراحی شبکه معابر و سیستم پشتیبانی برای مدیریت حمل و نقل عمومی و همچنین تعریف راهبردهای پیچیده مدیریت ترافیک در شبکه مانند تصادفات،سد معبر،تغییر مسیر خودروها بر اساس حجم ترافیک و ... .

از خروجی‌های ایمسان می‌توان به میزان مصرف سوخت،میزان تردد،میزان آلودگی هوا،سرعت در شبکه،تعداد توقف‌ها در واحد زمان،چگالی،زمان سفر در شبکه،میزان تاخیر و ... اشاره کرد.



شکل۲. محیط نرم‌افزار ایمسان

عوامل مؤثر بر انتخاب نوع بهینه تقاطع‌های غیرهمسطح

با توجه به پژوهش‌های صورت گرفته در رابطه با عوامل مؤثر بر انتخاب نوع تقاطع‌های غیرهمسطح می‌توان پارامترهای رویکردهای ترافیکی ،هزینه ،توپوگرافی منطقه ،منفعت استفاده کنندگان ،کنترل دسترسی ،تاسیسات معارض و موقعیت تقاطع غیرهمسطح مورد نظر نسبت به تقاطع‌های دیگر را به عنوان پارامترهای تأثیرگذار بر گزینه انتخابی دانست.

پژوهش‌هایی که در این زمینه صورت پذیرفته است ،معمولاً با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) انجام شده‌اند ،اما روش تحلیل سلسله مراتبی برای تصمیم‌گیری در بین چند پارامتر که به یکدیگر وابسته هستند منجر به جواب دقیق نخواهد شد.از این رو در پژوهش پیش‌رو از روش دیمتل به منظور اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر انتخاب تقاطع غیرهمسطح استفاده شده است ،به این دلیل که در روش دیمتل نه‌تنها وابستگی پارامترها به یکدیگر خللی در جواب نهایی ایجاد نمی‌نماید بلکه وابستگی‌های موجود بین پارامترها به طور کامل لحاظ می‌گردد.

تکنیکDEMATELمخفف عبارتDecision Making Trial And Evaluation Laboratory است. تکنیک دیمتل توسط فونتلا[۲۸] و گابوس[۲۹] به سال ۱۹۷۱ ارائه شد. تکنیک دیمتل که از انواع روش‌های تصمیم‌گیری بر اساس مقایسه‌های زوجی است، با بهره‌مندی از قضاوت خبرگان در استخراج عوامل یک سیستم و ساختاردهی نظام‌مند به آنها با بکارگیری اصول

[28] Fonetla
[29] Gabus

نظریه گراف‌ها، ساختاری سلسله‌مراتبی از عوامل موجود در سیستم ،همراه با روابط تاثیر و تاثر متقابل ارائه می‌دهد، بگونه‌ای که شدت اثر روابط مذکور را به صورت امتیاز عددی معین می‌کند. روش دیمتل جهت شناسایی و بررسی رابطه متقابل بین معیارها و ساختن نگاشت روابط شبکه به کار گرفته می‌شود. از آنجا که گراف‌های جهت‌دار ،روابط عناصر یک سیستم را بهتر می‌توانند نشان دهند، لذا تکنیک دیمتل مبتنی بر نمودارهایی است که می تواند عوامل درگیر را به دو گروه علت و معلول تقسیم نماید و رابطه میان آن‌ها را به صورت یک مدل ساختاری قابل درک درآورد. تکنیک دیمتل عموماً برای بررسی مسائل بسیار پیچیده جهانی به‌وجود آمد. دیمتل نیز برای ساختاردهی به یک دنباله از اطلاعات مفروض کاربرد دارد. به‌طوریکه شدت ارتباطات را به‌صورت امتیازدهی مورد بررسی قرار می‌دهد.[۲۵]

مزیت این روش نسبت به تکنیک تحلیل شبکه ای، روشنی و شفافیت آن در انعکاس ارتباطات متقابل میان مجموعه‌ی وسیعی از اجزاء می باشد. به طوری که متخصصان قادر هستند با تسلط بیشتری به بیان نظرات خود در رابطه با اثرات میان عوامل بپردازند.

ساختاردهی به عوامل پیچیده در قالب گروه‌های علت و معلولی ،دیگر مزیت روش دیمتل می‌باشد.این مورد یکی از مهمترین کارکردها و یکی از مهم ترین دلایل کاربرد فراوان آن در فرایندهای حل مسئله است. بدین صورت که با تقسیم بندی مجموعه‌ی وسیعی از عوامل پیچیده در قالب گروه‌های علت و معلولی، تصمیم‌گیرنده را در شرایط مناسب‌تری از درک روابط قرار می‌دهد. این موضوع سبب شناخت بیشتری از جایگاه عوامل و نقشی که در جریان تاثیرگذاری متقابل دارند، می‌شود.

پنج مرحله برای انجام تکنیک دیمتل شناسائی کرده‌اند:[۲۵]

۱- تشکیل ماتریس ارتباط مستقیم (M) : با استفاده از پرسشنامه‌های مربوط به روش دیمتل از دیدگاه چند فرد خبره و کارشناس استفاده می‌شود و آنها با دادن عددهایی از ۰ تا ۴ ،به موارد مورد پرسش ،تاثیر هریک را تعیین می‌کنند و با محاسبه‌ی میانگین نظرات M تشکیل می‌شود.

۲- نرمال کردن ماتریس ارتباط مستقیم N=k*M : ابتدا مجموع تمامی سطرها و ستون‌ها محاسبه می‌شود. معکوس بزرگترین مجموع عدد سطر و ستون ماتریس نرمال را تشکیل می‌دهد.

$$k = \frac{۱}{\max \sum_{j=۱}^{n} a_{ij}} \quad (۱)$$

۳- محاسبه ماتریس ارتباط کامل :

$$T = N \times (۱ - N)^{-۱} \quad (۲)$$

۴- ایجاد نمودار علّی :

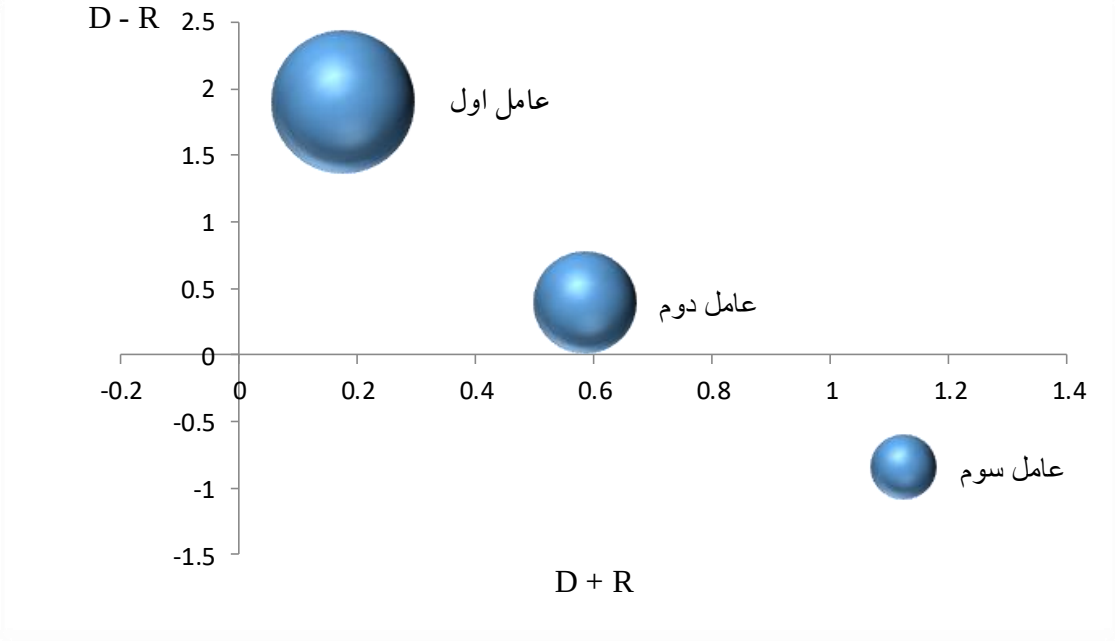
- ✓ جمع عناصر هر سطر (D) برای هر عامل نشانگر میزان تاثیرگذاری آن عامل بر سایر عامل‌های سیستم است. (میزان تاثیر گذاری متغیرها)
- ✓ جمع عناصر ستون (R) برای هر عامل نشانگر میزان تاثیرپذیری آن عامل از سایر عامل‌های سیستم است. (میزان تاثیرپذیری متغیرها)

- ✓ بنابراین بردار افقی (D + R) میزان تاثیر و تاثر عامل مورد نظر در سیستم است. به عبارت دیگر هرچه مقدار D + R عاملی بیشتر باشد، آن عامل تعامل بیشتری با سایر عوامل سیستم دارد.
- ✓ بردار عمودی (D - R) قدرت تاثیرگذاری هر عامل را نشان می‌دهد. بطور کلی اگر D - R مثبت باشد، متغیر یک متغیر علی محسوب می‌شود و اگر منفی باشد، معلول محسوب می‌شود.

۵- در نهایت یک دستگاه مختصات دکارتی ترسیم می‌شود. در این دستگاه محور طولی مقادیر D + R و محور عرضی براساس D - R می‌باشد. موقعیت هر عامل با نقطه‌ای به مختصات (D + R, D - R) در دستگاه معین می‌شود. به این ترتیب یک نمودار گرافیکی نیز بدست خواهد آمد.

در روش دیمتل اولویت‌بندی بین سه عامل انجام پذیرفته است.عامل اول پارامترهایی که به هزینه مربوط می‌باشند که شامل مقدار فضای لازم جهت ساخت تقاطع غیرهمسطح ،هزینه ساخت و... می‌باشد ،عامل دوم مربوط به منفعت استفاده‌کنندگان می‌باشد که شامل زمان سفر ،مصرف سوخت و تولید آلاینده‌های هوا است و عامل سوم مربوط به عوامل پیرامونی تقاطع غیرهمسطح است که شامل نقاط دسترسی ،تاسیسات معارض و موقعیت تقاطع غیرهمسطح مورد نظر نسبت به سایر تقاطع‌ها می‌باشد.

با استفاده از روش دیمتل اولویت‌بندی در مورد سه عامل فوق‌الذکر انجام گرفته است و پنج مرحله‌ی فوق‌الذکر در رابطه با آن صورت پذیرفته است.در نهایت گراف زیر حاصل گردیده است که میزان تأثیر و تأثّر هر یک از عامل‌های مورد بررسی را نمایش می‌دهد:



شکل۳. میزان تأثیرگذاری سه عامل مورد بررسی بر انتخاب گزینه برتر تقاطع غیرهمسطح

با توجه به شکل ۳ که میزان تأثیرگذاری سه عامل مورد بررسی برای انتخاب نوع بهینه‌ی تقاطع غیرهمسطح را نمایش می‌دهد ، عامل اول دارای بالاترین اولویت ،عامل دوم دارای اولویت متوسط و عامل سوم هم دارای پایین‌ترین اولویت هستند.

- ✓ در رابطه با عامل اول ،از آن جهت که مربوط به هزینه‌های تقاطع غیرهمسطح می‌باشد و هزینه‌های ساخت و همچنین مقدار فضای لازم برای ساخت یک نوع خاص از تقاطع غیرهمسطح در مکان‌های مختلف تقریباً یکسان است ،بنابراین وارد کردن این عامل در بحث بهینه‌سازی تأثیر چندانی بر نتیجه نخواهد داشت ،چرا که در صورت اعمال این عامل در مدل و تابع هدف مسئله ،فقط می‌بایست یک عدد که همان هزینه‌ی مربوط به ارزش زمین زیرساخت و هزینه‌ی مربوط به احداث سازه‌ی تقاطع غیرهمسطح می‌باشد را لحاظ نمود.

- ✓ اما در مورد عامل دوم ،به دلیل اینکه تمامی پارامترهای زیرمجموعه‌ی آن به حجم ترافیک وابسته می‌باشند و در عین حال دارای اولویت متوسط هستند ،به عنوان پارامترهای تأثیرگذار انتخاب می‌شوند و در تابع هدف مساله اعمال می‌گردند.

- ✓ اما عامل سوم به دلیل تأثیرگذاری اندک بر انتخاب گزینه‌ی بهینه ،از در نظر گرفتن این عامل در تابع هدف ،صرف نظر گردیده است.

منابع آلاینده هوا

برای سهولت مطالعه،منابع مختلف آلودگی هوا بصورت ذیل دسته‌بندی می‌شوند:

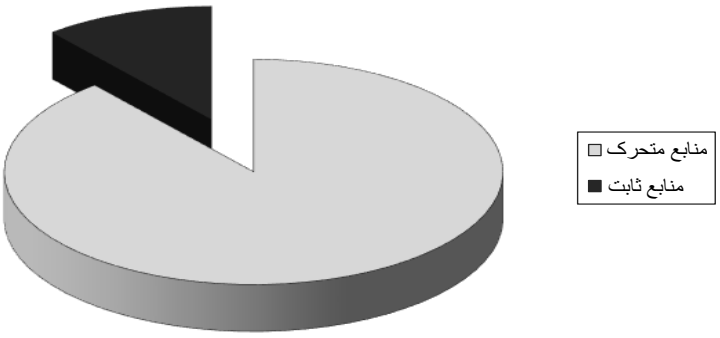
- ✓ منابع طبیعی
- ✓ منابع مصنوعی (ثابت و متحرک)

الف-منابع طبیعی

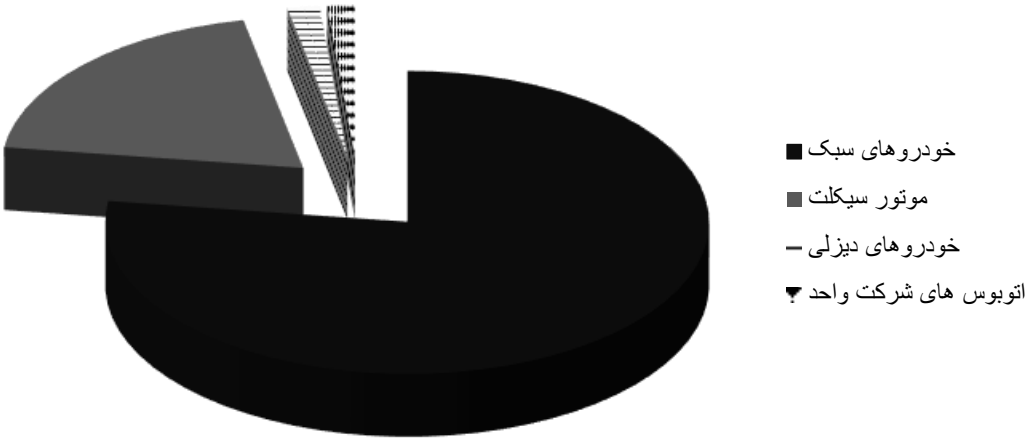
منابع طبیعی آلودگی هوا از قبیل طوفان‌های گرد و غبار،آتش‌سوزی جنگل‌ها،آتشفشان‌ها،گرده گیاهان و نشت گاز طبیعی و آلودگی ناشی از آن‌ها یک پدیده دائمی است که به علت فرآیندهای طبیعی مقدار آن کم و بیش در سطح زمین ثابت می‌ماند.مقدار آلودگی طبیعی در مقایسه با آلودگی مصنوعی خیلی بیشتر و قابل توجه می‌باشد.اما در طبیعت چندین سیستم خودپالایی وجود داشته که سطح زمین را برای حیات موجودات مناسب و قابل تحمل می‌سازد.نقش انسان در کنترل آلودگی ناشی از منابع طبیعی بسیار کم است.اما انسان به وسیله بر هم زدن تعادل اکولوژیکی و طبیعی ناشی از آلودگی مصنوعی،می‌تواند وضع را بدتر کند و به آلودگی طبیعی بیافزاید. [۱۳]

ب-منابع مصنوعی

منابع مصنوعی انتشار آلاینده‌های هوا را به دو گروه ثابت و متحرک تقسیم کرده‌اند. گروه ثابت شامل صنایع، نیروگاه‌ها و مراکز تجاری و مسکونی می‌شوند و منابع متحرک انواع وسایل نقلیه از موتور سیکلت تا هواپیما و کشتی را در بر می‌گیرند. آلودگی ناشی از بخش حمل و نقل بعلت شهرسازی بی‌رویه و سریع به اندازه آلودگی صنعتی مهم و از اهمیت برخوردار می‌باشد.
آلودگی ناشی از حمل و نقل و وسایل نقلیه به شکل گازهای خروجی از اگزوز، ذرات معلق، صدا و غیره می‌باشد. این آلودگی با اتخاذ روش‌های برنامه‌ریزی کشوری، منطقه‌ای و شهری و استفاده از اتومبیل‌ها و سوخت‌های مناسب همراه با اعمال تکنولوژی کنترل آلودگی به حداقل می‌رسد. [۱۳]



مقایسه سهم منابع آلاینده های هوا [۸]



سهم گروه‌های مختلف سیستم حمل و نقل در آلودگی منتشره از منابع متحرک در هوای تهران[۸]

زمان سفر

جریان ترافیک یکی از اصلی‌ترین منابع انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی است که برای سلامتی انسان زیان‌آور بوده و آثار زیست‌محیطی بسیاری را مانند آلودگی هوای ناشی از ترافیک و تأثیر آن بر سلامت عابران‌پیاده و دوچرخه‌سوارها موجب می شود،که ایجاد تاخیر در سفرها و در حالت پیشرفته،ایجاد صف‌های طولانی که گاهی طول آنها به چند کیلومتر می‌رسد و در نتیجه افزایش زمان سفر به مقدار زیاد باعث افزایش آلودگی هوا و اتلاف انرژی‌های تجدید ناپذیر می‌شود. [۱۶]

جمهوری اسلامی ایران
وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
شماره مجوز کنگره از وزارت علوم: ۷۲۶۴۰۳۸

سوخت

علی رغم اینکه استفاده از خودرو در کشورهای در حال توسعه افزایش یافته است، عملکرد زیست‌محیطی و زیرساخت‌های شهری در این گونه کشورها توسعه چندانی نداشته است. این امر باعث می‌شود تا بخش حمل و نقل ،افزایش مصرف انرژی را پدید آورد. از طرفی افزایش مصرف انرژی خود موجب خسارت‌های زیست‌محیطی بسیاری هم چون دگرگون شدن آب و هوای کره زمین و آلودگی هوای مناطق شهری می‌شود.رشد ترافیک که عمدتاً در مناطق شهری متمرکز است، باعث افزایش تولید و انتشار گازهای آلاینده با غلظت‌های بالاتر در این مناطق شده است.

براساس ترازنامه انرژی کشور در سال ۱۳۸۸ بخش حمل و نقل با تولید ۴۹/۶ درصد از کل انتشار NO_x ، ۳۲/۴ درصد SO_2، ۲۴/۹ درصد NO_2 ، ۳۸/۹ درصد SO_3، ۹۶/۹ درصد CO، ۷۸/۷ درصد HC، ۴۸ درصد ذرات معلق، دارای بیشترین مقدار آلایندگی در میان سایر بخش‌های انرژی کشور است .به طور خاص شهر تهران به دلیل رشد سریع جمعیت، ناوگان فرسوده خودروها، تعداد زیاد واحدهای صنعتی، عوامل جغرافیایی و هواشناسی منطقه با کاهش شدید کیفیت هوا روبه رو شده است که گاهی سطح بالای غلظت آلاینده‌ها مسئولان را مجبور به تعطیلی مدارس و تحمیل محدودیت‌های ترافیکی کرده است. [۱۶]

مدل‌سازی تقاطع‌های غیرهمسطح

مدل‌سازی تقاطع‌های غیرهمسطح در این پژوهش نیازمند اطلاعات مربوط به پارامترهای ترافیکی و مشخصات فنی خودروها است ،که در ادامه به معرفی آنان پرداخته شده است.

پارامترهای ترافیکی

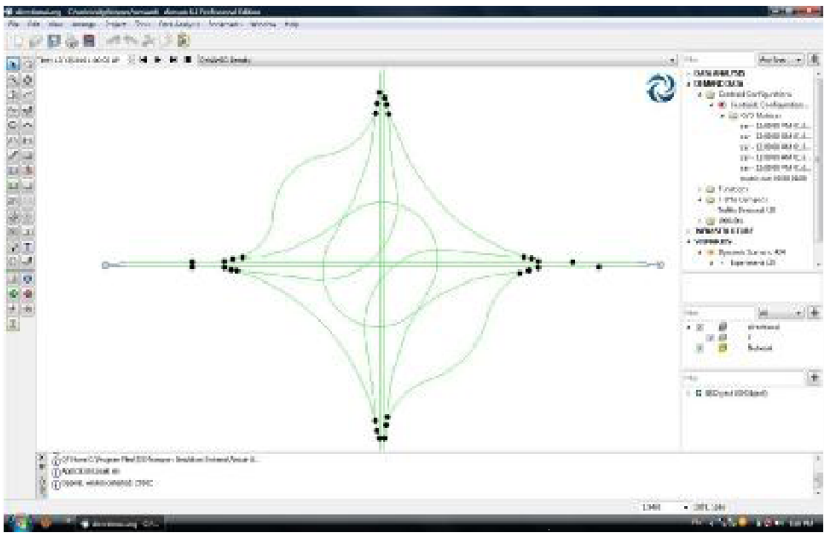
جهت بررسی نحوه عملکرد هر یک از انواع تقاطع‌های غیرهمسطح تحت شرایط مختلف ترافیکی، ابتدا از هر یک از انواع تقاطع یک نمونه در سطح شهر تهران انتخاب گردیده است و احجام ترافیکی مربوط به هر کدام برداشت شده است .تقاطع های منتخب عبارتند از:

- ✓ شبدری کامل : تقاطع بزرگراه شیخ فضل الله و یادگار امام
- ✓ نیمه شبدری : تقاطع بزرگراه شیخ فضل الله و شهید حکیم
- ✓ لوزی : تقاطع بزرگراه صدر و خیابان شریعتی
- ✓ تک نقطه ای : تقاطع بزرگراه کردستان و خیابان ملاصدرا
- ✓ جهتی : تقاطع بزرگراه شیخ فضل الله و خیابان محمدعلی جناح

حجم‌های ترافیکی ۴۰۰،۸۰۰،۱۲۰۰،۱۶۰۰،۲۰۰۰ و ۲۴۰۰ وسیله نقلیه در ساعت در هر خط عبوری که داده‌های میدانی هستند که از ضبط تصویر ویدیویی از محل تقاطع در ساعت اوج ترافیک که از شرکت کنترل ترافیک شهر تهران گرفته شدند، حاصل شده‌اند و در ۱۴ سناریوی مختلف به جهت این موضوع که تمامی حالات توزیع ترافیک در سطح تقاطع لحاظ گردد،در نظر گرفته شده است، همچنین حجم سناریوها طوری در نظر گرفته شده‌اند که کلیه حالات ممکن را شامل شده و بتوانند حساسیت‌های ترافیکی هر یک از انواع تقاطع غیرهمسطح را نشان دهند.

مدل‌سازی

مدل‌سازی تقاطع‌های غیرهمسطح لوزی ، شبدری کامل ، نیمه‌شبدری ، تک‌نقطه‌ای و جهتی در نرم‌افزار ایمسان با عنایت به آیین‌نامه‌ها،کتب و مقالات موجود،صورت می‌گیرد و حجم‌های ترافیکی مختلف تحت سناریوهای مختلف و همچنین مشخصات فنی خودروها در ابتدای کار بر مدل‌های پنج تقاطع غیرهمسطح اعمال می‌شوند.



شکل۴. تقاطع غیرهمسطح جهتی در نرم‌افزار ایمسان

خروجی‌های نرم‌افزار

پس از آنکه مدل‌سازی تقاطع‌ها به اتمام رسید،خروجی‌ها پس از اجرای نرم‌افزار قابل استحصال می‌باشد، که این خروجی‌ها ارقام مربوط به میزان پارامترهای مورد بررسی در حجم‌های مختلف ترافیکی است که پس از آنکه بر نمودار رسم شدند به صورت معادلات درجه دوم و یا درجه سوم درآمدند.

یکسان سازی واحد پارامترهای زمان سفر،آلاینده‌ها و سوخت

جهت استفاده از هر سه پارامتر در معادله‌ی تابع هدف می‌بایست هر سه پارامتر دارای یک واحد باشند تا بتوان آنها را با یکدیگر جمع کرد.به این منظور واحد هر سه پارامتر با روش‌هایی که در ادامه توضیح داده شده است،به هزینه تبدیل گشته است بدین صورت که اعدادی که در ادامه از هر قسمت بدست آمده است در معادلات مربوط به همان پارامتر ضرب شده است.

هزینه‌ی زمان سفر

زمان سفر شامل عدم مطلوبیت‌هایی است که تحت عنوان عدم مطلوبیت زمانی تعریف می‌شود.طولانی‌تر شدن زمان سفر یک عامل نامطلوب برای افراد است.مهمترین عوامل موثر در عدم مطلوبیت سفر ، زمان و هزینه می باشد. [۱]

روش‌های برآورد ارزش زمان سفر: روش‌های برآورد ارزش زمان سفر به دو دسته عام روش‌های مفهومی- رفتاری و روش-های محاسباتی تقسیم‌بندی می‌شوند.با توجه به مبانی و فرض‌های مختلف،چندین روش برای برآورد پارامتر زمان سفر به وجود آمده‌اند که عبارتند از:

- ✓ روش تولید محور[30]
- ✓ روش هزینه زمان[31]
- ✓ روش مبتنی بر ترجیح مشاهداتی[32]
- ✓ روش مبتنی بر ترجیح اظهاری[33]

در این پژوهش از روش چهارم جهت محاسبه‌ی هزینه‌ی زمان استفاده شده است.[۲۱]

برآورد ارزش زمان سفر با استفاده از توابع مطلوبیت و داده‌های ترجیح اظهاری: در روش حداکثر سازی مطلوبیت، از داده‌های بدست آمده با نظرخواهی استفاده می‌شود.مهم‌ترین مسئله در این روش ساخت مدل‌های مطلوبیت به شکل زیر است :

$$U = -\alpha t - \beta c + \varepsilon$$

که در آن :

t: زمان سفر

c: هزینه سفر

U: تابع مطلوبیت

ε : بخش تصادفی (خطا)

با توجه به استدلال‌هایی که در مباحث اقتصاد کلان و در بحث حداکثرسازی مطلوبیت مطرح‌اند، نرخ جابه‌جایی در تابع مطلوبیت برای دو پارامتر زمان و هزینه بیانگر ارزش زمان سفر است .مفهوم نرخ جایگزینی را با مفهوم مطلوبیت حاشیه‌ای نیز می توان بیان کرد .به این ترتیب رابطهٔ زیر بیانگر ارزش زمان سفر است که از روابط مطلوبیت نتیجه شده است:

$$Vot = \frac{\alpha}{\beta}$$

در مدل‌های حمل و نقل، تابع مطلوبیت بیانگر مطلوبیت در هر نوع وسیله سفر است.بر این اساس با مشاهده رفتار مرسوم در انتخاب نوع وسیله سفر خود، مدل‌های مطلوبیت ایجاد می‌شوند. [۱]

در رابطهٔ مطلوبیت α و β مقادیر منفی دارند، زیرا با افزایش مقادیر زمان و هزینه از مطلوبیت کاسته می‌شود.تغییرات زمان و هزینه قابل اندازه‌گیری‌اند، اما در مورد تغییرات بخش تصادفی خطا می‌توان گفت که عوامل پنهانی که در مطلوبیت اثر می‌گذارند در ε نهفته اند.

مسئله اصلی دراین روش، تخمین ضرائب α و β در مدل است، متداول‌ترین راه تعیین ضرایب، در مواردی که مطلوبیت مقدارکمّی مشخص نیست، استفاده از روش حداکثرسازی است و قابل ذکر است که این روش از روش‌های متداول اقتصادسنجی است. مدل مطلوبیت سفر در شهر تهران به صورت رابطه زیر است:[۱و۳]

$$U = -\frac{۱/۶۸۱۵۶۲۵}{۰/۰۰۰۳۰۴}t - ۰/۳۸۳c$$

[30] Production Based Method
[31] Cost of Time
[32] Revealed Preferences
[33] Stated Preferences

در رابطه فوق مقدار α برابر ۱/۶۸۱۵۶۲۵ و مقدار β برابر ۰/۰۰۰۳۰۴ به دست آمده است .همانگونه که پیش‌تر استدلال شده نسبت $\frac{\alpha}{\beta}$ بیانگر ارزش زمان سفر خواهد بود،به این ترتیب روش برآورد ارزش زمان سفر بر اساس حداکثرسازی مطلوبیت برابر است با:

$$\left(\frac{rls}{h}\right) \quad ۳۳۱۸۸/۷ \quad Vot=\frac{\alpha}{\beta}=\frac{۱/۶۸۱۵۶۲۵}{۰/۰۰۰۳۰۴}=$$

در این پژوهش هزینه زمان سفر ۳۳۲۰۰ ریال بر ساعت در نظر گرفته می‌شود.

هزینه‌ی تولید آلاینده‌های هوا

هوا مایه زندگی است و نیاز به آن بیش از نیاز به آب و غذا می‌باشد . متوسط مقدار هوایی که انسان بالغ در یک شبانه روز تنفس می‌کند تقریباً ۱۵ کیلوگرم است ،در حالیکه غذا و آب مورد مصرفش به ترتیب ۱۵ و ۲/۵ کیلوگرم می‌باشد.در سال ۲۰۰۶ گزارشی توسط بانک جهانی منتشر شده که به بررسی اثرات بخش انرژی بر محیطزیست ایران پرداخته است.این گزارش، مقاله انرژی و محیطزیست EER[34] نام دارد .در EER برای محاسبه هزینه‌های ناشی از خسارات آلودگی هوا از تکنیکی به نام Externe استفاده شده است که بطور گسترده‌ای در اتحادیه اروپا بکار گرفته می‌شود و هزینه‌های خسارت (به ازای هر تن آلودگی) برآورد شده در کشورهای اتحادیه اروپا را مشخص می‌کند،به اینصورت که با استفاده از برآورد برابری قدرت خرید از سرانه تولید ناخالص داخلی، مقادیر برای ایران تعدیل می‌شوند.این گزارش هزینه‌ها را برای خسارات ناشی از آلاینده‌های هوا بصورت زیر برآورد نموده است. [۳و۲۷]

Iran	Value ($/tonne)
PM_{10}	4,300
NOx	600
SO_2	1,825
CO	188
NMVOCs	o.5

شکل۶. هزینه خسارات ناشی از آلاینده های مختلف هوا در ایران (گزارش بانک جهانی EER,۲۰۰۶)

اما در کشور ایران هم پژوهش‌های بسیاری در زمینه‌ی تعیین هزینه‌های ناشی از آلاینده‌های هوا توسط دانشجویان در پایان-نامه‌ها ،اداره‌ها و موسسه‌های مختلف بخصوص شهرداری‌ها انجام گرفته است ،که در این پژوهش از آمار مربوط به مقاله‌ی زهره حسامی و فرناز والیزاده معجزی با عنوان هزینه‌های اجتماعی ناشی از آلودگی هوا در بخش حمل و نقل عمومی ،به دلیل به روز بودن آمار و ارقام استفاده شده است ،که طبق این مقاله هزینه‌ی ناشی از آلاینده‌های هوا به ازای هر تن آلاینده ۲۱۴۵۸۰۷۵۸ ریال است.[۴]

[34] The Energy Environment Review

هزینه‌ی سوخت

با توجه به وضعیت کنونی سوخت در کشورمان هزینه هر لیتر بنزین بصورت آزاد و معادل ۱۰۰۰۰ ریال در نظر گرفته می‌شود.

معرفی الگوریتم ژنتیک

الگوریتم فرا ابتکاری بهینه سازی ژنتیک [۳۵] یک روش محاسباتی تکاملی مبتنی بر جمعیت جواب‌ها است.مانند سایر الگوریتم‌های جمعیت محور ، الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات نیز ابزار بهینه‌سازی است که می‌تواند انواع مختلفی از مسایل بهینه‌سازی را حل نماید . این الگوریتم با الهام‌گیری از رفتار اجتماعی گروهی از پرندگان مهاجر که در تلاش برای دستیابی به مقصد ناشناخته‌ای هستند ، توسط ابراهات و کندی[۳۶] توسعه داده شده است . [۸ و ۲۰]

در الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک ، جمعیت جواب‌ها گروه[۳۷] نامیده می شود و هر جواب مانند یک پرنده در گروهی از پرندگان است و ذره[۳۸] نام دارد و شبیه کرموزوم در الگوریتم ژنتیک است.تمامی ذرات دارای مقدار شایستگی[۳۹] هستند که با استفاده از تابع شایستگی[۴۰] محاسبه می‌گردد و تابع شایستگی ذرات باید بهینه گردد . جهت حرکت هر ذره توسط بردار سرعت[۴۱] آن ذره تعیین می‌شود . در مقایسه با الگوریتم ژنتیک ، این الگوریتم از دو مزیت برخوردار است :

۱) سهولت پیاده‌سازی و ۲) تعداد پارامترهای قابل تنظیم کمتر . بر خلاف الگوریتم ژنتیک در فرایند تکاملی،در الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات،پرندگان جدیدی از نسل قبل (تولید جواب‌های جدید از جواب‌های قبلی) ایجاد نمی‌گردد ، بلکه هر پرنده رفتار اجتماعی خود را با توجه به تجربیاتش و رفتار سایر پرندگان گروه تکامل بخشیده و مطابق آن حرکت خود را به سوی مقصد بهبود می‌دهد.به عبارت دیگر ، در این الگوریتم ، عملکردهای تکاملی چون تقاطع و جهش وجود ندارد. الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک با جمعیتی از جواب‌های اولیه تصادفی (دسته ذرات) آغاز می‌گردد.هر ذره به صورت تکراری در فضای جواب حرکت می‌کند و جهت حرکت در هر گام تحت تأثیر موقعیت بهترین جواب بدست آمده توسط ذره و نیز موقعیت بهترین جواب به دست آمده در میان تمامی ذرات تعیین می‌گردد .

به عبارت دیگر ، با توجه به تقلید این الگوریتم از دسته‌ای از پرندگان که در حین پرواز با یکدیگر ارتباط دارند ، در زمان پرواز ، هر پرنده به سوی مشخصی نگاه می‌کند.با برقراری ارتباط میان پرندگان ، پرندگان با موقعیت بهتر شناسایی می‌گردند و بر همین اساس ، هر پرنده به سوی بهترین پرنده با سرعتی که وابسته به موقعیت کنونی‌اش است ، حرکت می‌کند . سپس هر پرنده از موقعیت جدیدش به جستجو ادامه می‌دهد و فرآیند تا زمان رسیدن پرندگان به مقصد مطلوب تکرار می‌شود. این نکته قابل ذکر است که این فرایند شامل تراکنش و هوشمندی همزمان به گونه‌ای است که پرندگان از تجربیات خودشان و نیز از تجربه سایر پرندگان جهت یافتن مسیر خوب استفاده می‌کنند . [۸ و ۲۰]

در این قسمت، نحوه پیاده‌سازی الگوریتم ژنتیک شرح داده می‌شود. الگوریتم با یک جمعیت اولیه که به صورت تصادفی تولید می‌شوند، آغاز و با یک شرط پایانی به اتمام می‌رسد. شرط پایانی برای الگوریتم اجرای ۱۰۰ تکرار متوالی الگوریتم است.

[35] Particle Swarm Optimization
[36] Eberhart and Kennedy , 1995
[37] Swarm
[38] Particle
[39] Fitness Value
[40] Fitness Function
[41] Velocity

متغیرهای مستقل و وابسته پژوهش

از آنجایی که هدف نهایی این پژوهش را می‌توان در تعیین تقاطع‌های غیرهمسطح مناسب برای شرایط ترافیکی مختلف دانست، می‌بایست قابلیت انعطاف لازم را داشته باشد و بتواند هر سه جنبه میزان مصرف سوخت، میزان آلایندگی و نیز زمان سفر را را در نظر گیرد. لذا به صورت واضح می‌توان متغیرهای زیر را نام برد.

متغیرهای وابسته تحقیق

با توجه به متغیرهای مستقل ،نوع تقاطع غیرهمسطح مناسب ،متغیرهای وابسته‌ی این پژوهش می‌باشند،در واقع هر پاسخی به این سوال که "در شرایط منتخب، کدامین نوع از تقاطع غیرهمسطح باید استفاده شود ؟" متغیر وابسته است.

متغیرهای مستقل تحقیق

متغیر مستقل این تحقیق را می‌توان همانا شرایط و داده‌های ورودی مساله دانست،یعنی:

- ✓ میزان زمان سفر
- ✓ میزان تولید آلاینده
- ✓ میزان مصرف سوخت

تعریف مدل و تابع هدف مساله

این پژوهش به دنبال آن است تا با استفاده از الگوریتم ژنتیک تابع زیر را به صورت کمینه محاسبه نماید:

$$= T + P + F^{Z_{min}}$$

در این رابطه:

Z = هزینه نهایی

T = رابطه زمان سفر بر حسب حجم ترافیک (V)

P = رابطه میزان تولید آلاینده‌های هوا بر حسب حجم ترافیک (V)

F = رابطه میزان مصرف سوخت برحسب حجم ترافیک (V)

رابطه‌ی بالا به این دلیل که هر کدام از سه پارامتر مورد بررسی به تنهایی و مستقل از سایر پارامترها عمل می‌کند، همچنین به دلیل اینکه اگر میزان هر کدام از پارامترها مقداری تغییر کند،مقدار تابع هدف نیز به همان میزان تغییر خواهد کرد و نیز به دلیل برقراری مفروضات جمع پذیری پارامترها،بخش پذیری و معین بودن آنها، به صورت تابع خطی مدل گردیده است.

رابطه‌های زمان سفر ،میزان تولید آلاینده‌های هوا و میزان مصرف سوخت ،حاصل از خروجی‌های نرم‌افزار AIMSUN می‌باشند که همگی بر اساس میزان حجم ترافیک بر حسب تعداد وسیله نقلیه در ساعت هستند که در فصل آینده به آنها پرداخته می‌شود.

محدودیت مساله

از آنجا که محدودیت‌های مساله می‌بایست با استفاده از روابط حاصل از خروجی نرم‌افزار AIMSUN محاسبه گردد، لذا محدودیت‌های موجود در فصل بعد ارائه گردیده‌اند.

کدگذاری و شیوه نمایش جواب‌ها

برای استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری نیاز است هر جواب از مسئله به صورتی ساده و قابل استفاده در برنامه نویسی، کدگذاری شود. نحوه کدگذاری جواب تاثیر بسزایی در سرعت و دقت هر الگوریتم فراابتکاری دارد؛ کدگذاری جواب‌ها بر اساس رعایت شرایط زیر باید صورت گیرد.

۱. رابطه‌ای یک به یک و پوشا بین هر جواب از مسئله و نحوه نمایش جواب ها وجود داشته باشد. یعنی هر جواب از مسئله، دقیقاً با یک ساختار نمایش داده شود و هر ساختار نمایش تنها با یک جواب از مسئله متناظر باشد.

۲. هر جواب باید در فضای حافظه کوچکی ذخیره شود.

۳. نمایش هر جواب باید بگونه‌ای انتخاب شود تا استفاده از عملگرها و همسایگی‌های مورد نیاز در الگوریتم‌های فراابتکاری به آسانی صورت گیرد.

برای کدگذاری هر جواب مساله انتخاب نوع بهینه تقاطع غیرهمسطح ، از یک آرایه به طول تعداد انواع تقاطع غیرهمسطح استفاده می‌شود. این آرایه معرف این واقعیت است که هر یک از انواع تقاطع‌های غیرهمسطح با چه وزنی انتخاب شده‌اند.[۲۶]

	تقاطع غیرهمسطح جهتی	تقاطع غیرهمسطح نیمه شبدری	تقاطع غیرهمسطح شبدری	تقاطع غیرهمسطح تک‌نقطه‌ای	تقاطع غیرهمسطح لوزی
جمعیت شماره ۱					
جمعیت شماره ۲					
جمعیت شماره ۳					
جمعیت شماره ۴					
...	...	...	...	..	...
جمعیت شماره n					

همانطور که در شکل فوق مشاهده می‌شود، پنج نوع تقاطع غیرهمسطح وجود دارد که هر یک می‌بایست عددی مشخص را دریافت نمایند. حل این مساله در حالتی که تعداد حمل و نقل مشخص است تبدیل به یک معادله می‌گردد که کافی است کاربر عدد حجم ترافیک را در معادله مربوط به زمان، میزان آلایندگی و مصرف سوخت قرار دهد تا مشخص گردد که در حجم ترافیکی مورد نظر، کدامین نوع تقاطع غیرهمسطح باید انتخاب شود.
لیکن از آنجا که حجم دقیق استفاده‌کنندگان از تقاطع‌های غیرهمسطح را نمی‌توان همواره با قطعیت مشخص نمود لذا در این تحقیق از مفهوم بازه قابل قبول برای تخمین حجم ترافیکی ورودی به تقاطع،استفاده شده است. بدین منظور در ابتدای اجرای

نرم‌افزار از کاربر خواسته می‌شود تا حد بالا و حد پایین را مشخص نمایند به عبارت دیگر اگر قرار است V معرف مقدار حجم ترافیکی باشد آنگاه با در اختیار داشتن حد بالا و حد پایین[۴۲] می‌توان به تخمین بازه حجم ترافیکی اقدام نمود.
بنابراین مفهوم، هر یک از سطرها معادل با یکی از اعضاء جمعیت است. از این رو هر آرایه نمایشگر میزان وضعیت جمعیت تخصیص یافته به هر یک از انواع تقاطع‌های غیرهمسطح خواهد بود.

الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک ابتدا با یک گروه از ذرات (جواب‌ها) به صورت تصادفی آغاز می‌شود ، و در هر مرحله از این الگوریتم ، موقعیت ذرات به هنگام شده و الگوریتم به دنبال جواب بهینه می گردد.ذرات با توجه به سرعت بهترین موقعیتی که هر ذره[۴۳] داشته و بهترین موقعیتی که همسایگی هر ذره[۴۴]داشته است به هنگام می‌شوند .در صورتی که تمام ذرات گروه به عنوان همسایگی در نظر گرفته شود ، موقعیت بهترین ذره نقطه‌ی بهینه‌ی کلی[۴۵] است . در اکثر تحقیقات تمام ذرات به عنوان همسایگی در نظر گرفته می‌شوند . در این پژوهش نیز به همین صورت در نظر گرفته شده است . قسمت اصلی الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک به هنگام‌سازی سرعت و موقعیت ذرات با توجه به معادلات زیر است : [۲۶]

$$V_{ij}^{t+1} = V_{ij}^{t} + C_1 r_{1j}^{t} \left(Gbest - X_{ij}^{t} \right) + C_2 r_{2j}^{t} \left(Pbest - X_{ij}^{t} \right) \quad (۲-۶)$$

$$X_{ij}^{t+1} = X_{ij}^{t} + V_{ij}^{t+1} \quad (۲-۷)$$

از معادلهٔ (۲-۶) بردار سرعت هر ذره با توجه به سرعت ذره در مرحلهٔ قبلی (V_{ij}^{t}) به هنگام می‌شود ، در این معادله i نشان دهنده‌ی شماره‌ی ذره، j نیز نشان‌دهنده‌ی سلول‌های هر ذره است، $Pbest$ بهترین موقعیتی است که ذره تا به حال به دست آورده است و $Gbest$ بهترین موقعیتی است که کل ذرات به دست آورده اند ، و r_{1j}^{t} و r_{2j}^{t} دو عدد تصادفی با توزیع یکنواخت بین (۱ ، ۰) هستند که مستقل از یکدیگر تولید می‌شوند . مقادیر C_1 و C_2 ضرایب یادگیری هستند و تأثیر $Pbest$ و $Gbest$ را بر فرایند جستجو کنترل می‌کنند . پس از به‌هنگام شدن سرعت ذرات ، موقعیت ذره با استفاده از معادله ی (۲-۷) به‌هنگام می‌شود . [۲۶ و ۲۰]

۱-۱-۱-۱- محاسبه ی مقدار برازندگی

در الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات، هر ذره (جواب) با توجه به معیارهای مشخصی ارزیابی می‌شود، که با توجه به آنها تابع شایستگی تعریف می‌شود، و برای هر ذره مقدار شایستگی بدست می‌آید. معمولاً بهترین تابع برازندگی، تابع هدف آن مسأله است. در الگوریتم ژنتیک ،در مسائل بیشینه‌سازی تابع برازندگی همان تابع هدف می‌باشد و در مسائل کمینه‌سازی ،تابع برازندگی بصورت $1/f$ (یک بر تابع هدف) در نظر گرفته می‌شود.[۶]

۲-۳-۵-۳- انتخاب Pbest و Gbest

---

[42] مشخص شده‌اند upper_percent,lower_percent که در کدهای پیوست شماره ۱ با عناوین
[43] Pbest
[44] Nbest
[45] Gbest

Pbest بهترین موقعیتی است که هر ذره به آن دست یافته است، که این مشخصه را می‌توان به صورت حافظه‌ای برای هر ذره در نظر گرفت. معمولاً Pbest براساس تابع برازندگی ذرات تعیین می‌شوند. البته معیارهای دیگری را می‌توان برای تعیین بهترین موقعیت به کار برد و در عین حال قابلیت و کارایی جستجو کاهش نیابد. به عنوان مثال می‌توان تابع برازندگی را طوری تعریف کرد که ذرات فقط موقعیت‌های مربوط به جواب‌های شدنی را به خاطر آورند و جواب‌های نشدنی را در نظر نگیرند.
Gbest بهترین موقعیتی است که ذرات موجود تاکنون به آن دست یافته‌اند. برای انتخاب Gbest مقادیر برازندگی ذرات با یکدیگر مقایسه شده و بهترین به عنوان Gbest انتخاب می‌شود.[۶]

ضرایب یادگیری

ضرایب یادگیری C_1 و C_2 نشان‌دهنده‌ی وزن شتابی است که ذرات را به سوی Gbest و Pbest هدایت می‌کنند. این ضرایب بیانگر تمایل ذرات به الگوبرداری از رفتارهایی هستند که در گذشته باعث موفقیت شده‌اند. مقادیر C_1 و C_2 برابر با ۲ در نظر گرفته شده‌اند تا وزن یکسانی برای جستجوی محلی و جستجوی کلی، در نظر گرفته شده باشد.برای این ضرایب می‌توان مقادیر ۰ و ۱ را نیز لحاظ نمود،اما چون مقدار ۰ یکی از پارامترهای جستجو را حذف می‌کند و مقدار ۱ سرعت همگرایی پایین‌تری دارد،از مقدار ۲ در این تحقیق استفاده گردیده است. [۶]

Initialization positions and velocities of swarm ;
Do { Evaluate F(x_i^t) ;
For I = 1 to Population Size :
Update Pbest
Update Gbest
For I = 1 to Population Size :
Update velocity ; // $V_{ij}^{t+1} = \theta(t+1)V_{ij}^t + C_1 r_{1j}^t \left(Gbest - X_{ij}^t\right) + C_2 r_{2j}^t \left(Pbest - X_{ij}^t\right);$
Update Position ; // $X_{ij}^{t+1} = X_{ij}^t + V_{ij}^{t+1}$
} while (stopping criterion is not met) ;

شکل ۱۰. شبه کد الگوریتم ژنتیک

نحوه‌ی پیاده‌سازی الگوریتم ژنتیک

همانطور که در قسمت قبل نیز عنوان شد، برای حل این مساله خاص، نیاز به سفارشی‌سازی این الگوریتم‌است. از این رو در این الگوریتم از نحوه کدگذاری که در قسمت‌های قبل به تفصیل راجع به آن صحبت شد، استفاده شده است اما روند برخورد با این کدگذاری‌ها دچار تفاوت ماهوی است که در ادامه توضیح داده خواهد شد.
برای آنکه بتوان بهترین عملکرد را از مجموعه متغیرهای مورد نظر انتظار داشت، ابتدا یکبار دیگر و مبتنی بر شکل روندنمای[۴۶] ۱۲-۲ می‌توان خلاصه‌ای از آن ارائه داد:
نمودار فوق به خوبی مشخص می‌سازد که ابزار ارائه شده در این پژوهش قابلیت دارد تا با دریافت اطلاعات اولیه شامل حجم ترافیک، درصد حداقل و حداکثری استفاده از تقاطع‌های غیرهمسطح و معادلات ترافیکی، نسبت به شناسایی بهترین عملکرد در بین انواع تقاطع‌های غیرهمسطح اقدام نماید.

[46] FlowChart

جمهوری اسلامی ایران
وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
شماره مجوز کنگره از وزارت علوم: ۷۲۶۴۰۳۸

بدیهی است که کاربر می‌بایست این اطلاعات را به نرم‌افزار اعلام نماید. سپس با دریافت این اطلاعات و سایر داده‌های مورد نیاز از نرم‌افزار خواسته می‌شود تا نسبت به یافتن بهینه‌ترین تقاطع غیرهمسطح اقدام نماید و مشخص نماید که از کدامین نوع تقاطع غیرهمسطح باید استفاده نمود.

۱-۳-۵-۳- نحوه کدنویسی

به منظور اجرای الگوریتم معرفی شده در قسمت قبل نیاز است به تشریح شیوه برخورد با مسئله این تحقیق پرداخته شود. همانطور که قبلا نیز معرفی شد، هر سبد سهام در ادبیات الگوریتم ژنتیک به مثابه یک کروموزوم و در ادبیات حرکت دسته پرندگان (ژنتیک) به مثابه یک پرنده نگریسته می‌شود. در کدنویسی هر دو الگوریتم تعداد جمعیت (تعداد کروموزم‌ها در الگوریتم ژنتیک و تعداد پرندگان در الگوریتم دسته حرکت پرندگان) برابر با ۱۰۰ در نظر گرفته شده‌اند و با npop مشخص گردیده‌اند و تعداد تکرارهای این دو الگوریتم به صورت ثابت و برابر با ۱۰۰ تکرار در نظر گرفته شده‌اند؛ در سوی دیگر و در الگوریتم حرکت دسته پرندگان ، تعداد گروه‌های پرندگان برابر با ۱۰ در نظر گرفته شده است تا nlocals=10 باشد. برای هر یک از گروه‌ها، سر دسته‌ای تعیین می‌گردد که در تکرارهای متوالی، پرندگان می‌بایست دائماً رفتار خود را ابتدا با رئیس این گروه تنظیم نمایند و رئیس گروه نیز حرکت خود را با بهترین پرنده هماهنگ خواهد نمود. [۱۴]

این عمل بر مبنای بهترین پرنده رخ می‌دهد که بتوان جهت‌گیری کلی دسته‌ها را بر مبنای رهبر هر یک از دسته‌ها ایجاد نمود. در این حالت، می‌بایست بهترین پرنده را انتخاب نمود و برای هر یک از رهبران اقدام به جفت‌گیری نمود. دراین حالت نیز دو مکان جدید برای هر رهبر بدست می‌آید که می‌توان از بین آنها هیچ، یک یا دو مکان شدنی در اختیار داشت. در این شرایط است که اگر در بین جواب‌های شدنی جواب بهتری نسبت به مکان فعلی پرنده رهبر دسته وجود داشته باشد، مکان پرنده به‌روز شده و در غیر این صورت (و همچنین در صورت بروز جواب‌های نشدنی) می‌بایست رهبر فعلی را در نظر گرفت. این عمل برای هر یک از پرندگان رهبر (برترین پرندگان در هر دسته) رخ خواهد داد. [۱۵]

متعاقب اجرای این عمل برای هر یک از مکان‌های پرندگان، مکان‌های حالت و مکان‌های موازی‌سازی نیز دچار جفت‌گیری شده و تنها در مورد مکان‌های حالت، شدنی بودن بررسی می‌شود.

نحوه پیاده‌سازی

از نرم‌افزار MATLAB در کدنویسی این تحقیق استفاده شده است. این نرم‌افزار به سادگی می‌تواند فضایی بسیار دوستانه و دور از تکلف را فراهم نماید. وجود نرم‌افزارهای کدنویسی دیگر در عین توان بالا دارای پیچیدگی‌های زیادی هستند. در هنگام گرفتن ورودی‌ها، پردازش‌ها و اشکال‌زدایی و ... تا دریافت خروجی‌ها همگی تخصص و تجربه خاصی می‌طلبند که MATLAB به کمک محیط ساده خود و ایجاد بانک دستورات که طول و پیچیدگی کدنویسی را بسیار کاهش می‌دهد، توانسته است بار فکری کدنویسی سنگین را از ذهن مهندسان دور نماید. کدنویسی الگوریتم ژنتیک در پنج پوشه انجام شده است. هر پوشه با عنوان یک تابع[۴۷] شناخته می‌شود.توابع اول ، دوم و سوم معادلات مربوط به زمان سفر ، میزان تولید آلاینده و میزان مصرف سوخت را شامل می‌شود. تابع چهارم وظیفه انجام ایجاد جمعیت اولیه و مدیریت تکرار مراحل و بررسی شدنی بودن را بر عهده دارد و تابع پنجم نیز در هر تکرار میزان تابع هدف را ارزیابی می‌نماید.

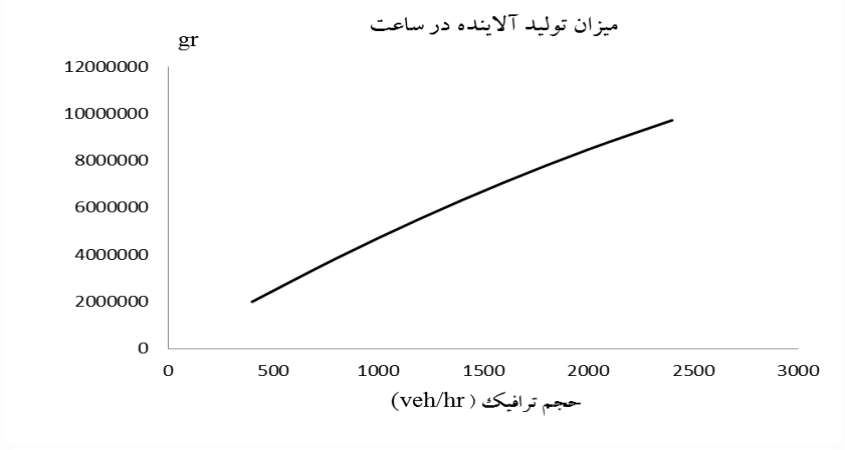
خروجی‌های نرم‌افزار

همانطور که در فصل قبل توضیح داده شد خروجی‌های نرم‌افزار ایمسان پارامترهای متعددی را شامل می‌شود که در این پژوهش با توجه به بررسی‌های صورت گرفته بر روی تقاطع‌های غیرهمسطح پارامترهای زمان سفر، میزان مصرف سوخت و میزان تولید آلاینده‌های هوا به عنوان پارامترهای موثر در انتخاب تقاطع غیرهمسطح بهینه برگزیده شدند و در معادلات لحاظ

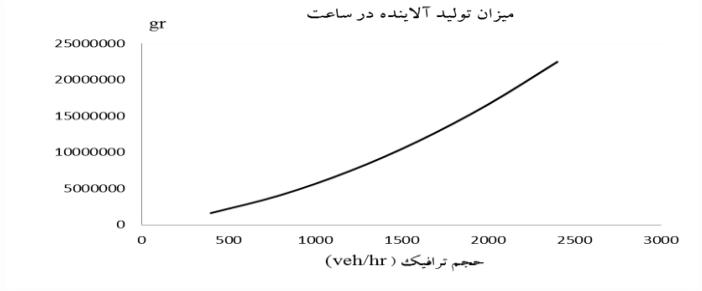
[47] Function

خواهند شد.بنابراین پس از استخراج خروجی‌های مورد نظر و با بررسی آنها و مطالعات صورت گرفته ملاحظه می‌شود که حجم گردش به چپ‌ها که باعث بوجود آمدن تداخل در تقاطع‌ها می‌شوند نقش بسیار مهمی را در عملکرد تقاطع‌های غیرهمسطح بازی می‌کنند.

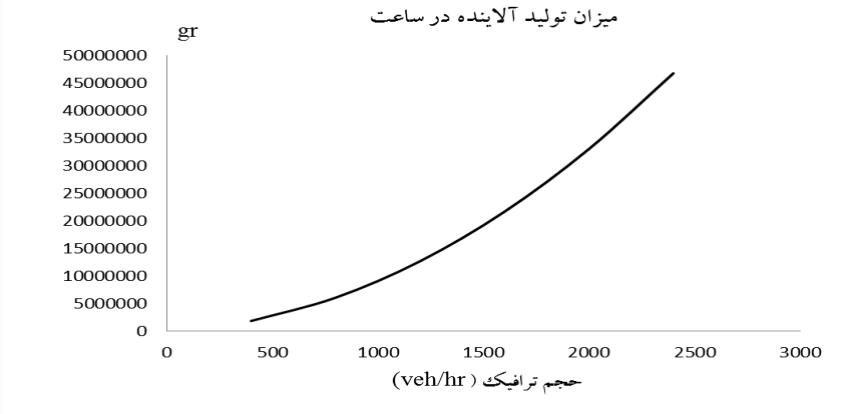
شکل‌های ۱ تا ۱۵ شکل‌های مربوط به خروجی‌های آلودگی هوا ، میزان مصرف سوخت و زمان سفر بر حسب میزان تغییرات حجم گردش به چپ در تقاطع‌ها می‌باشند.این اشکال با میانگین‌گیری از نتایج نرم‌افزار ایمسان برای ۱۴ سناریوی مختلف مربوط به هر کدام از تقاطع‌های مفروض، در احجام مختلف ترافیکی،که جداول مربوط به این نتایج در پیوست ۲ آمده است و سپس استفاده از نرم‌افزار اکسل،رسم شده‌اند.



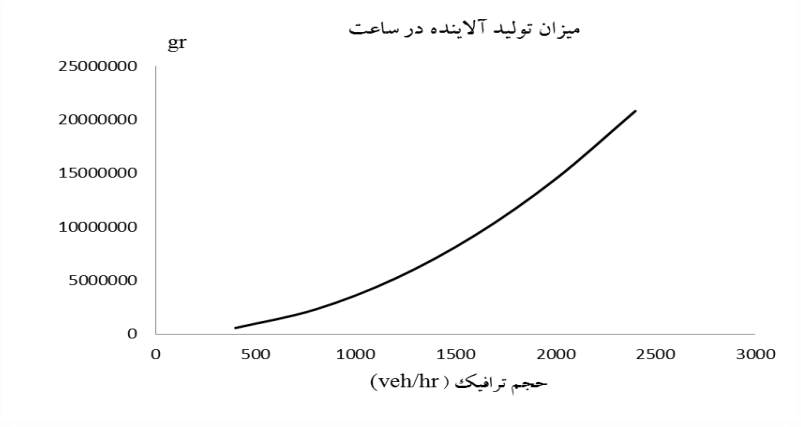
نمودار میزان تولید آلاینده- حجم ترافیکی برای تقاطع غیرهمسطح تک‌نقطه‌ای



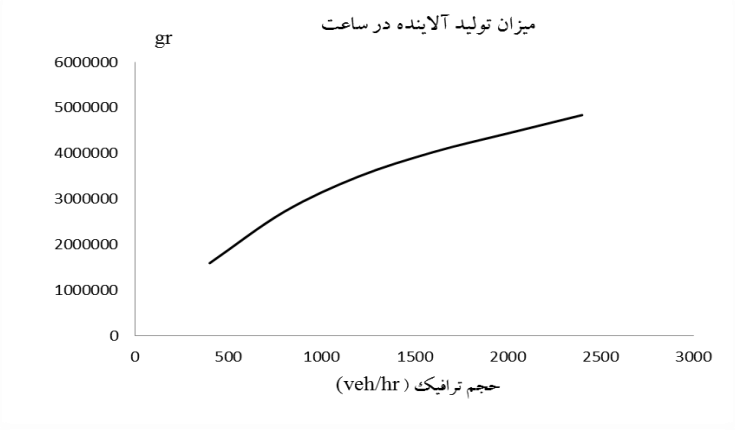
نمودار میزان تولید آلاینده- حجم ترافیکی برای تقاطع غیرهمسطح شبدری کامل



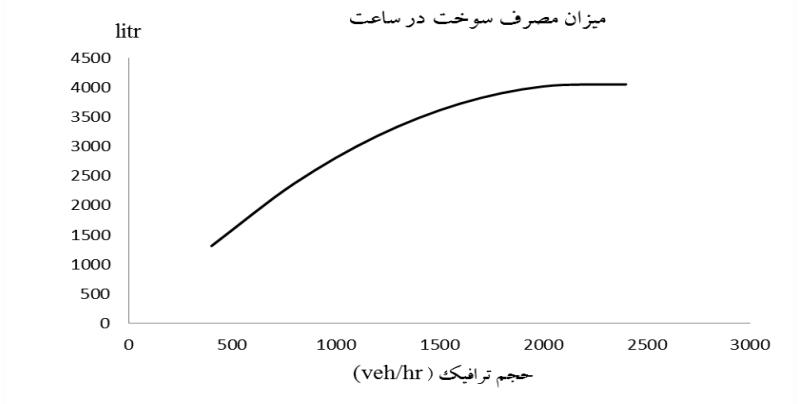
نمودار میزان تولید آلاینده- حجم ترافیکی برای تقاطع غیرهمسطح نیمه شبدری



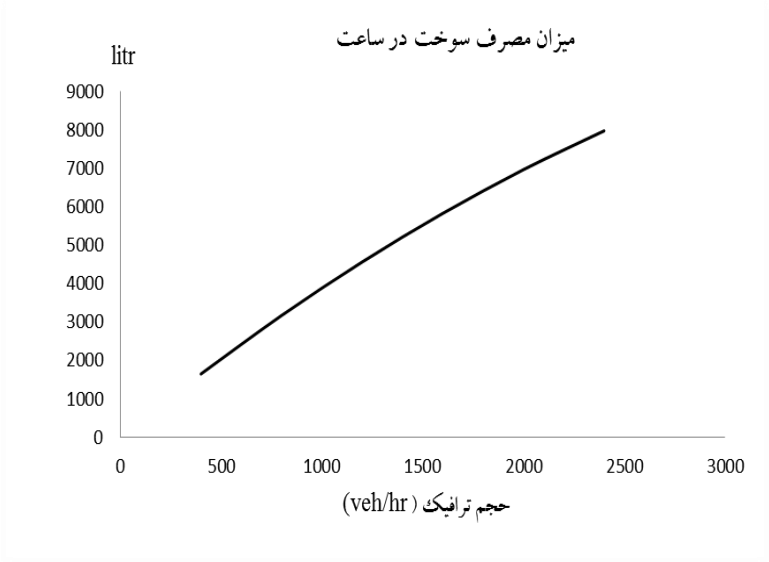
نمودار میزان تولید آلاینده- حجم ترافیکی برای تقاطع غیرهمسطح جهتی



نمودار میزان تولید آلاینده- حجم ترافیکی برای تقاطع غیرهمسطح لوزی

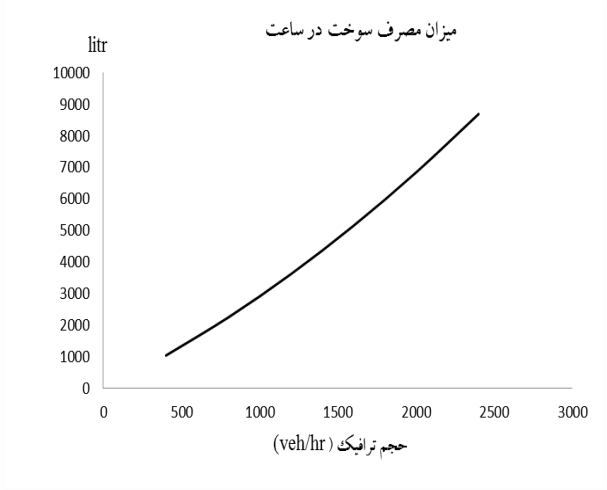


نمودار میزان مصرف سوخت- حجم ترافیکی برای تقاطع غیرهمسطح تک‌نقطه‌ای

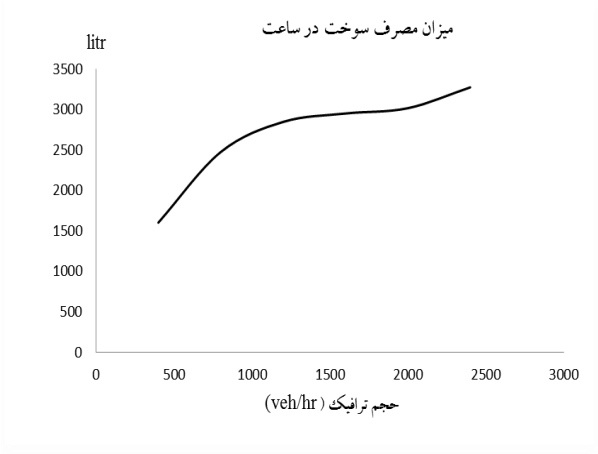


نمودار میزان مصرف سوخت- حجم ترافیکی برای تقاطع غیرهمسطح شبدری کامل

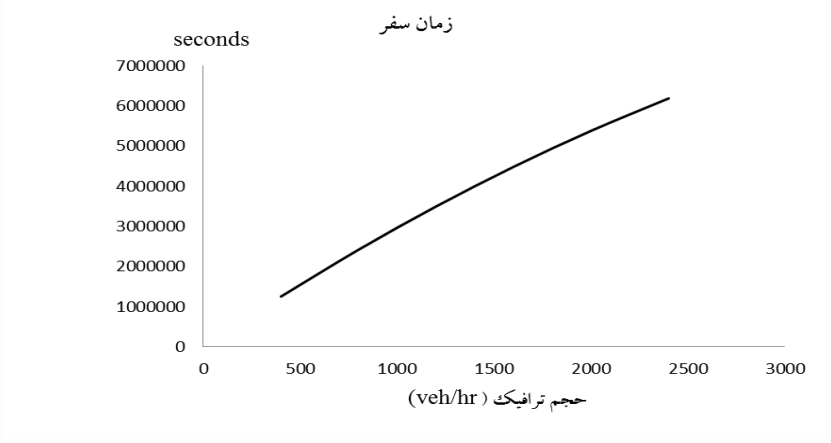
نمودار میزان مصرف سوخت- حجم ترافیکی برای تقاطع غیرهمسطح نیمه شبدری



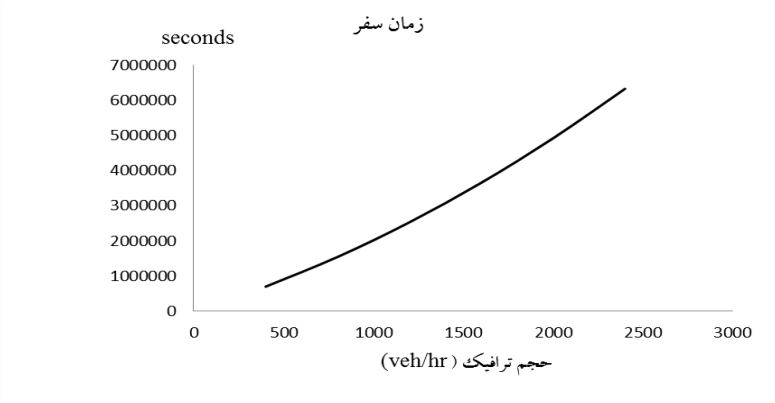
نمودار میزان مصرف سوخت- حجم ترافیکی برای تقاطع غیرهمسطح جهتی



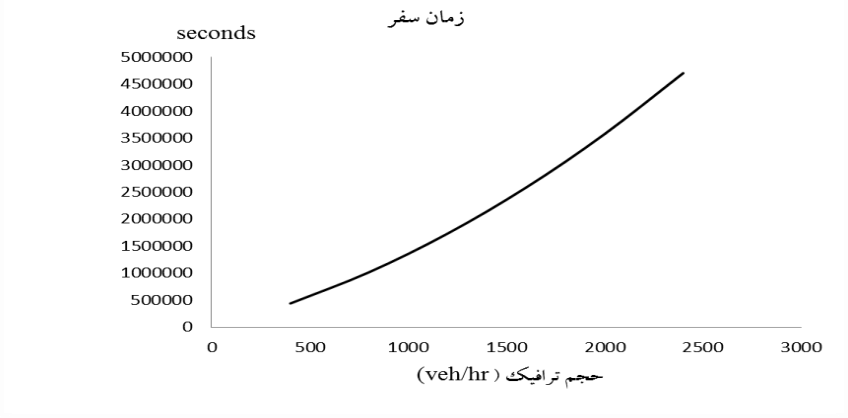
نمودار میزان مصرف سوخت- حجم ترافیکی برای تقاطع غیرهمسطح لوزی



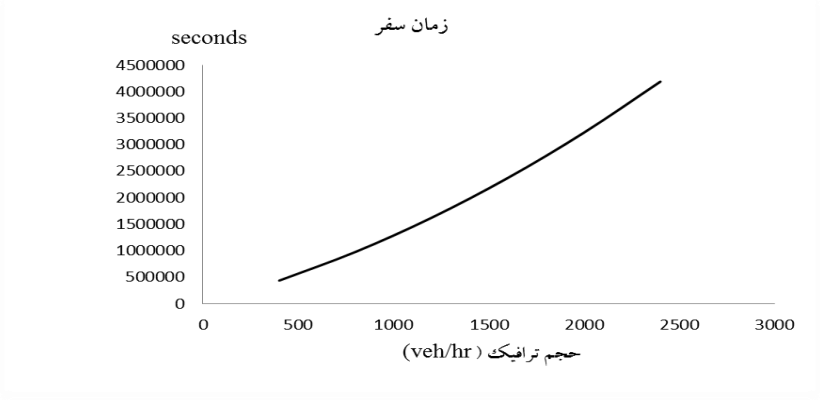
نمودار زمان سفر- حجم ترافیکی برای تقاطع غیرهمسطح تک‌نقطه‌ای



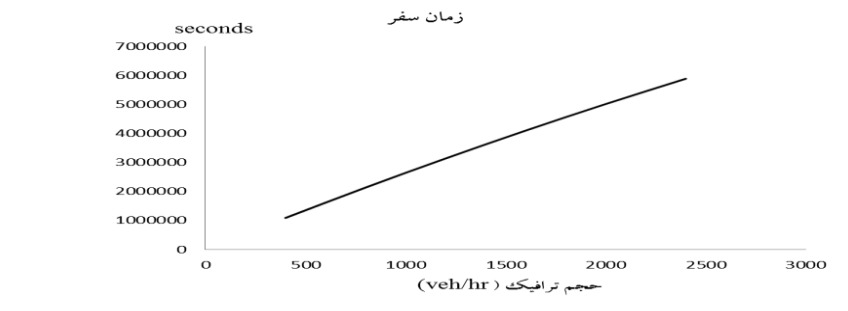
نمودار زمان سفر- حجم ترافیکی برای تقاطع غیرهمسطح شبدری کامل



نمودار زمان سفر- حجم ترافیکی برای تقاطع غیرهمسطح نیمه شبدری



نمودار زمان سفر- حجم ترافیکی برای تقاطع غیرهمسطح جهتی



نمودار زمان سفر- حجم ترافیکی برای تقاطع غیرهمسطح لوزی

معادلات مربوط به پارامترهای زمان سفر و میزان آلاینده و سوخت

رابطه‌های ۱ تا ۱۵ رابطه‌هایی می‌باشند که از نمودارهای قسمت قبل و توسط نرم‌افزار اکسل حاصل گردیده‌اند.در این رابطه‌ها V حجم گردش به چپ در تقاطع‌ها می‌باشد که در ضرایب بدست آمده در فصل قبل که مربوط به تبدیل این سه پارامتر به هزینه بودند،ضرب شده‌اند و بر اساس این معادلات میزان زمان سفر ، میزان تولید آلاینده و میزان مصرف سوخت بدست می-آید.

جمهوری اسلامی ایران
وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
شماره مجوز کنگره از وزارت علوم: ۷۲۶۴۰۳۸

معادلات زمان سفر

معادلات زمان سفر بر حسب حجم گردش به چپ‌های تقاطع‌ها به صورت زیر می‌باشد:

تک‌نقطه‌ای $T(sec) = -۹۳۰۲/۶۴\ v^2 + ۱۰۷۹۲۶۵۶۰\ v$ ۱

شبدری کامل $T(sec) = ۱۴۵۸۴\ v^2 / ۷۶ + ۵۲۵۱۵۷۶۰\ v$ ۲

نیمه شبدری $T(sec) = ۱۴۲۷۲\ v^2 /۷ + ۳۰۷۷۹۷۲۰\ v$ ۳

جهتی $T(sec) = ۱۰۸۸۶\ v^2 /۳ + ۳۱۸۲۷۱۸۰\ v$ ۴

لوزی $T(sec) = v^2 -۴۵۱۸/۵ + ۹۲۲۵۹۴۸۰\ v$ ۵

معادلات میزان تولید آلاینده

معادلات میزان تولید آلاینده بر حسب حجم گردش به چپ‌های تقاطع‌ها به صورت زیر می‌باشد:

تک‌نقطه‌ای $P(gr) = -۵۹۹۸۵۰\ v^2 + ۶۶۶۳۶۲۴۰۰۰\ v$ ۶

شبدری کامل $P(gr) = ۳۴۴۹۴۶۰\ v^2 + ۳۷۹۵۸۲۵۰۰۰\ v$ ۷

نیمه شبدری $P(gr) = ۹۵۹۰۸۹۲\ v^2 + ۲۱۰۸۶۳۴۰۰۰\ v$ ۸

جهتی $P(gr) = ۴۶۷۴۴۴۴\ v^2 -۳۵۱۶۵۴۰۰\ v$ ۹

لوزی $P(gr) = ۳۸۷\ v^3\ v^2 -۲۳۵۴۸۹۵+ ۶۰۲۴۵۵۸۰۰\ v$ ۱۰

معادلات میزان مصرف سوخت

معادلات میزان مصرف سوخت بر حسب حجم گردش به چپ‌های تقاطع‌ها به صورت زیر می‌باشد:

تک‌نقطه‌ای $F(lit) = -۸\ v^2 + ۳۶۰۸۷\ v$ ۱۱

شبدری کامل $F(lit) = v^2 -۴ +۴۲۸۲۶\ v$ ۱۲

نیمه شبدری $F(lit) = ۹\ v^2 + ۲۳۷۳۲\ v$ ۱۳

جهتی $F(lit) = ۵\ v^2 +۲۴۲۱۳\ v$ ۱۴

لوزی $F(lit) = .\mathbf{v}^{۳}/۰۰۶\,\mathbf{v}^{۲} - ۳۰ + ۴۲۸۲۶\,\mathbf{v}$

۱۵

محاسبه‌ی محدودیت‌های مساله

با توجه به تابع هدف تعریف شده برای مساله در فصل قبل و پارامترهای موجود در آن و با توجه به ماهیت مدل که ازجنس هزینه می‌باشد ،لذا منفی بودن متغیر تصمیم‌گیری بی‌معنا خواهد بود ،بنابراین مقدار پارامتر Z می‌بایست غیرمنفی باشد.
از سوی دیگر با محاسبه‌ی معادلات پارامترهای مختلف برای تمامی تقاطع‌های غیرهمسطح مورد بررسی ،از مجموع بیشینه‌ی هزینه‌ی هر پارامتر با یکدیگر ،هزینه‌ای معادل ۱۴۰ میلیارد ریال برآورد گردیده است که مقدار پارامتر Z می‌بایست از این مقدار کمتر باشد.
بنابراین در مورد محدودیت مدل خواهیم داشت:

$$. \leq Z \leq ۱۴۰۰۰۰۰۰۰۰ \quad (۱۶)$$

$$. \leq T \leq ۹۵۷۰۰۰۰۰۰۰ \quad (۱۷)$$

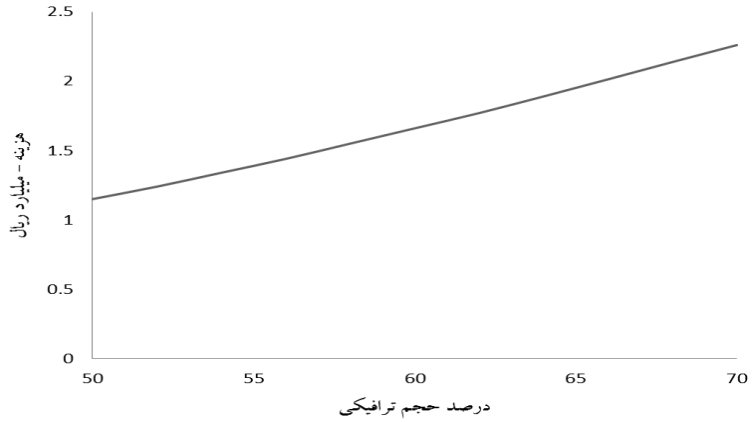
$$. \leq P \leq ۴۰۰۰۰۰۰۰۰۰ \quad (۱۸)$$

$$. \leq F \leq ۵۳۰۰۰۰۰۰۰۰ \quad (۱۹)$$

نتایج اجرای الگوریتم ژنتیک

در این بخش به ارائه نتایج اجرای الگوریتم مورد نظر در این پژوهش پرداخته می‌شود. ابتدا خلاصه نتایج ونمودارهای عملکرد الگوریتم برای سه سری از مسائل به صورت نمونه به شرح زیر ارائه می‌گردد تا کارایی الگوریتم در این حوزه به تفصیل مشخص گردد:
برای اجرای این مدل و الگوریتم مشابه آن سه نمونه متفاوت با سه رویکرد متفاوت به انجام رسیده‌اند. لازم به ذکر است از آنجا که سه معیار زمان سفر، میزان آلایندگی و میزان مصرف سوخت باید به صورت همزمان کمینه شوند لذا با فرض آنکه کاربر به همه آنها یک مقدار اهمیت داده است، وزن‌های برابر یک برای همه در نظر گرفته شده است .

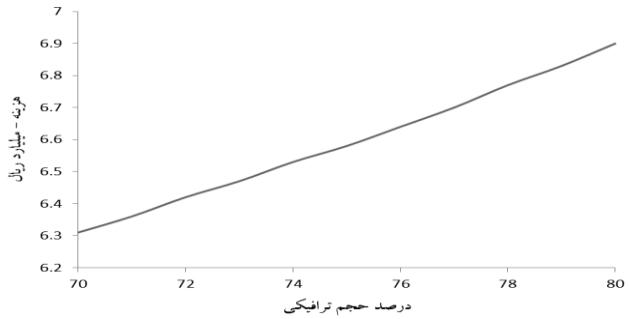
- ✓ ابتدا از نرم‌افزار در حجم ترافیکی ۱۰۰۰ وسیله نقلیه در ساعت و با حد پایین ۵۰ درصد و حد بالای ۷۰ درصد نسبت به یافتن تقاطع غیرهمسطح بهینه درخواست شده است:



نمودار تقاطع غیرهمسطح جهتی به عنوان تقاطع غیرهمسطح بهینه در حجم ترافیک ۱۰۰۰ وسیله نقلیه در ساعت

همانطور که مشخص است تقاطع غیرهمسطح جهتی، در حجم ترافیک ۱۰۰۰ وسیله نقلیه در ساعت ، دارای مقدار کمینه نسبت به سایر تقاطع‌های غیرهمسطح می‌باشد و چون معیارهای بکار گرفته شده که همگی تبدیل به هزینه شده‌اند ، هر چه کمتر باشند بهتر هستند، به همین جهت به نظر می‌رسد که بهترین عملکرد در این حجم ترافیک،از آن این نوع تقاطع غیرهمسطح است.

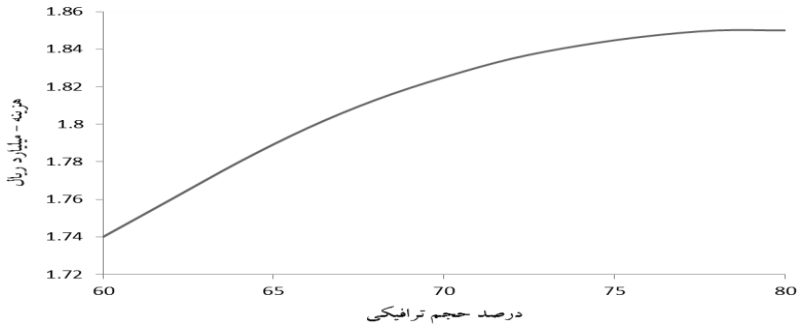
- ✓ در گام دوم از نرم‌افزار خواسته شده است تا با حجم ترافیکی ۳۵۰۰ وسیله نقلیه در ساعت و حد بالای ۸۰ درصد و حد پایین ۷۰ درصد نسبت به یافتن تقاطع غیرهمسطح بهینه اقدام نماید:



نمودار تقاطع غیرهمسطح لوزی به عنوان تقاطع غیرهمسطح بهینه در حجم ترافیک ۳۵۰۰ وسیله نقلیه در ساعت

همانطور که مشخص است بر اساس این نمودار به سادگی می‌توان تحلیل‌هایی راجع به بهترین تقاطع غیرهمسطح انجام داد.در اینجا نیز تقاطع غیرهمسطح لوزی،عملکرد بهتری در حجم ترافیکی ۳۵۰۰ وسیله نقلیه در ساعت ، در رابطه با کمینه بودن هر سه پارامتر زمان سفر ، میزان تولید آلاینده‌ها و میزان مصرف سوخت ، از خود نشان داده است.

- ✓ در گام سوم از نرم‌افزار خواسته شده است تا با حجم ترافیکی ۶۵۰۰ وسیله نقلیه در ساعت و حد بالای ۸۰ درصد و حد پایین ۶۰ درصد نسبت به یافتن تقاطع غیرهمسطح بهینه اقدام نماید:



نمودار تقاطع غیرهمسطح تک‌نقطه‌ای به عنوان تقاطع غیرهمسطح بهینه در حجم ترافیک ۶۵۰۰ وسیله نقلیه در ساعت

همانطور که مشاهده می‌شود،تقاطع غیرهمسطح تک‌نقطه‌ای در حجم ترافیک ۶۵۰۰ وسیله نقلیه در ساعت ، دارای بهترین عملکرد در بین پنج تقاطع غیرهمسطح مورد بررسی می‌باشد.

نتیجه گیری

در این پژوهش، به بررسی نکات مهم و حائز اهمیت در حوزه انتخاب بهینه‌ی تقاطع‌های غیرهمسطح پرداخته شده است تا بتوان استفاده از روش‌های فرا ابتکاری (متاهیوریستیک)[۴۸] موجود در حوزه‌ی الگوریتم‌های هوش مصنوعی در جهت نیل به اهداف انتخاب بهینه‌ی تقاطع‌های غیرهمسطح را فراهم نمود. از این رو در این پژوهش به کمک بررسی ابعاد فنی مباحث هوش مصنوعی، عملکرد یکی از مشهورترین این الگوریتم‌ها که همانا الگوریتم فرا ابتکاری ژنتیک بود به تصویر کشیده شد و مبتنی بر داده‌های خروجی از این روش مشخص گردید که در حالت‌هایی که عوامل مختلف ترافیکی در قالب سه معادله زمان سفر، میزان آلایندگی و مصرف سوخت سبب ایجاد تغییر رفتاری می‌شوند نمی‌توان به هیچ عنوان به برنامه‌ریزی مبتنی بر روش‌های سنتی اکتفا نمود و می‌بایست روش‌هایی وجود داشته باشند که بتوانند، برخی روابط بسیار پیچیده و محاسباتی سنگین را درک و تجزیه و تحلیل نمایند.

از این رو می‌توان ادعا نمود که استفاده از روش‌های هوش مصنوعی می‌توانند به عنوان ابزاری مناسب برای مقابله با پیچیدگی تعدد و تنوع تقاطع‌های غیرهمسطح و انتخاب بهینه تقاطع غیرهمسطح بر اساس مدل‌های موجود در منابع مورد توجه قرار گیرد. با این وجود و از آنجا که بحث سرمایه‌های اقتصادی و اجتماعی می‌تواند اهمیت زیادی داشته باشد لذا ابزار ارائه شده قادر است نه تنها به تشخیص گزینه بهینه بپردازد بلکه می‌تواند به افزایش سرعت نسبت به ارائه تحلیل‌های مختلف کمک نماید . نظر به این که حتی کوچک‌ترین خطایی می‌تواند منجر به بروز از دست دادن سرمایه‌های عظیمی شود ، لذا لازم است تا به بهبود کارایی الگوریتم‌های ارائه شده در حد ممکن پرداخته شود. در این راستا، الگوریتم ژنتیک یا حرکت دسته پرندگان که در این پژوهش از آن استفاده شده است توانسته است با عملکرد خوبی ، رضایت‌بخش باشد و می‌توان عنوان نمود که از آنجا که مساله مورد نظر با افزایش ابعاد به پیچیدگی بیشتری می‌رسد ، لذا نه تنها این روش می‌تواند مناسب باشد بلکه می‌تواند عملکرد مناسبی نیز در برخورد با این پیچیدگی از خود نشان دهد. همانطور که نمودارهای ارائه شده در این فصل به خوبی نمایش داده‌اند، می‌توان اینطور عنوان نمود که عملکرد الگوریتم ژنتیک ، توانسته است به صورتی مناسب عمل نماید. غالب تحقیقات صورت گرفته بر مقایسه الگوریتم ژنتیک و مفاهیم نیز موید این مطلب است که الگوریتم ژنتیک را می‌توان به خوبی در مسائلی که لازم به بهینه‌سازی چندین راه‌حل به صورت همزمان است ، بکار گرفت که در این پژوهش نیز با استفاده از الگوریتم ژنتیک نتایج زیر حاصل گشت:

۱) در حجم ترافیکی ۱۰۰۰ وسیله نقلیه در ساعت ،تقاطع غیرهمسطح جهتی
۲) در حجم ترافیکی ۳۵۰۰ وسیله نقلیه در ساعت ،تقاطع غیرهمسطح لوزی

[48] meta-heuristic

۳) در حجم ترافیکی ۶۵۰۰ وسیله نقلیه در ساعت ،تقاطع غیرهمسطح تک‌نقطه‌ای به عنوان تقاطع غیرهمسطح بهینه انتخاب گردیدند.

مراجع

۱- آهنگری،حامد،۱۳۸۴،"مقایسه نتایج روشهای مختلف برآورد ارزش زمان سفر"،پژوهشنامه حمل و نقل، شماره دو.

۲- اخباری،کامران،۱۳۸۷،"بررسی عوامل موثر از جمله ایمنی در انتخاب شکل تقاطع غیر همسطح"،هشتمین کنفرانس مهندسی حمل و نقل و ترافیک ایران.

۳- امیرامجدی،آرین،۱۳۹۰،" انتخاب نوع بهینه ی تقاطع غیر همسطح در شبکه های درونشهری"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده عمران.

۴- حسامی،زهره ،و والیزاده معجزی،فرناز،۱۳۸۸،" هزینه های اجتماعی ناشی از آلودگی هوا در بخش حمل و نقل عمومی "،کارشناسان ستاد محیط زیست و توسعه پایدار شهرداری تهران.

۵- حسن پور، شهاب ،۱۳۹۰،" اولویت بندی عوامل مؤثر بر انتخاب گزینه های تقاطعات غیرهمسطح شهری"،یازدهمین کنفرانس بین المللی مهندسی حمل و نقل و ترافیک.

۶- دلیری¬مقدم،حمید،۱۳۹۲،" توسعه مدل یکپارچه مساله زمانبندی تولید کارگاهی انعطاف¬پذیر و چیدمان تسهیلات"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده صنایع.

۷- رازی،میثم،۱۳۹۰،"مقایسه و ارزیابی پیکربندکلی چپگردها در تقاطعات غیرهمسطح به روش"AHP ، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشکده عمران.

۸- رمضانی موزیرجی ، فرهاد ، یعقوبی ، مهدی،۱۳۹۰،" الگوریتم کیاتیک بهینه سازی پرندگان"، اولین کنفرانس ملی مهندسی نرم افزار ایران.

۹- ریاستیان، سید محمدحسین،۱۳۹۲،" اصلاح طرح هندسی تقاطع نمازی شیراز به کمک نر افزار شبیه¬ساز ایمسان"،پایان نامه کارشناسی ارشد،دانشگاه سمنان،دانشکده عمران.

۱۰- سید حسین، سید کمال ، ۱۳۷۸، " انتخاب بهینه نوع تقاطع غیر همسطح برای یک محل خاص بر اساس تحلیل¬های ترافیکی و اقتصادی" پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده عمران.

۱۱- شاهی ، جلیل ، ۱۳۸۹ ،"مهندسی ترافیک"، مرکز نشر دانشگاهی ، چاپ یازدهم.

۱۲- شرکت سیمارون ،۱۳۹۰، قابل دسترسی در آدرس:

http://www.simaron.com/index.php?option=com_content&view=article&id=235&catid=38&lang=fa

۱۳- شرکت کنترل کیفیت هوا وابسته به شهرداری تهران،۱۳۹۳، قابل دسترسی در آدرس:

http://air.tehran.ir/default.aspx?tabid=121&ArticleId=316

۱۴- شیبانی، محمد،۱۳۸۵، :PSO-LA "یک مدل جدید برای بهینه سازی "، دوازدهمین کنفرانس بین المللی انجمن کامپیوتر ایران.

۱۵- فاخری تبریزی، آیسا،۱۳۸۵،" مقایسه¬ی عملکرد دو روش هوشمند الگوریتم ژنتیکی و الگوریتم پرندگان در حل مسئله¬ی برنامه¬ریزی تولید"، نهمین کنفرانس دانشجویی مهندسی برق ایران.

۱۶- قائمی، سید علی،۱۳۹۲،" ارزیابی اثر زمان بندی هوشمند تقاطع ها بر جریان ترافیک وآلودگی هوای شبکه های ترافیکی درون شهری"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده عمران.

۱۷- نشریه ۸۸ سازمان برنامه و بودجه،چکیده ای از طرح هندسی راهها و تقاطعها.

18-American Association of State Highway and Transportation Officials. A Policy on Geometric Design of Highways and Streets. Washington, D.C. 1990.

19- Bureau of design and environment manual, " INTERCHANGE TYPE AND DESIGN STUDIES"

20- Eberhart R, Kennedy J,1995," Particle Swarm Optimization", Bureau of Labor Statistics Washington.

21- Fowkes A S,2000," THE VALUE OF TRAVEL TIME SAVINGS IN EVALUATION ", Journal of Transport Economics and Policy.

22- Mulinazzi T, and Satterly G, 1973," An Evaluation Methodology for the Selection of an Interchange Configuration",Joint Highway Research Project, Indiana Department of Transportation and Purdue University, West Lafayette, Indiana.

23- Nicholas J. Garber, And Michael D. Fontaine, 1999," Guidelines for Preliminary Selection of the Optimum Interchange Type for a Specific Location",VTRC Report No. 99-R15, Charlottesville, Virginia Transportation Research Council.

24- Zhou F , Liu L and Zhang S ," Optimization Algorithm of Interchange Plan Selection Considering Multi-Factor", American Society of Civil Engineers.

25- Zhou Q, Huang W and Zhang Y, 2009," Identifying critical success factors in emergency management using a DEMATEL method", school of management, huazhong university of science and technology,china.

26- Talukder S,2011," Mathematical Modelling and Applications of Particle Swarm Optimization", Thesis of master of science, Blekinge Institute of Technology.

27- Tanjima P, Ulf-G Gerdtham and Hampus C.L, 2008 " Societal costs of air pollution-related health hazards: A review of methods and results "