مکانیابی بهینه حسگرهای هوشمند ترافیکی با تکنیکهای تصمیم‌گیری چند معیاره (ویکور، پرامتی، تاپسیس) و سیستم اطلاعات مکانی(GIS)

سمیه رخساری طالمی، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

محمودرضا دلاور، دانشیار، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی پردیس، دانشکده‌های فنی (قطب علمی مهندسی نقشه‌برداری در مقابله با سوانح طبیعی)، دانشگاه تهران، تهران، ایران

ابوالقاسم صادقی نیارکی، استادیار، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری-دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی (قطب علمی فناوری اطلاعات مکانی)، تهران، ایران

بهزاد مشیری، استاد، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

پست الکترونیکی نویسنده مسئول: mdelavar@ut.ac.ir

تاریخ دریافت : 95/08/07 - تاریخ پذیرش:95/12/15

چکیده

امروزه استفاده از شبکه حسگرهای هوشمند در بسیاری از کاربردهای شهری از جمله حمل و نقل و ترافیک گسترش یافته است. نقاط گرهی در شبکه حسگرها در مناطق تحت پایش قابلیت حرکت داشته و می‌توانند به جمع‌آوری اطلاعات مختلف بپردازد. اطلاعات جمع‌آوری شده از طریق ارتباط بی سیم به بخش مرکزی شبکه منتقل شده تا به جهت اجرای تصمیم‌گیریهای مختلف مورد استفاده قرار گیرد. برای نمونه با استفاده از شبکه حسگرها در حوزه ترافیک میتوان به جمع آوری پارامترهای مختلف ترافیکی مانند میزان ترافیک، سرعت وسایل نقلیه و شناسایی وسایل نقلیه به منظور ردیابی آنها پرداخت. البته علیرغم اهمیت زیرساخت مذکور نیازست که روش مناسبی در جهت استقرار بهینه آنها در مناطق تحت پایش لحاظ شود. این مسئله علاوه بر آنکه تضمین کننده میزان پوشش مناسب حسگرها در منطقه تحت پایش خواهد بود، با امکان شناسایی مناطق بهینه، نقش مهمی در کاهش هزینه نصب زیرساخت مذکور ایفا می‌کند. بنابراین هدف این تحقیق ارائه یک روش تحلیلی مناسب جهت مکانیابی بهینه حسگرهای ترافیکی است. روش پیشنهادی تلفیقی از تصمیم‌گیری چند معیاره و تحلیلهای مورد استفاده در سیستم اطلاعات مکانی است. به منظور افزایش کارایی روش پیشنهادی از بین تکنیکهای مرسوم در تصمیم‌گیری چند معیاره امکان مقایسه سه روش مرسوم تاپسیس، ویکور و پرامتی در منطقه مطالعه که بخشی از شبکه معابر شمال واشنگتن است فراهم شده است. این موضوع نقش مهمی در کمک به رفع محدودیت و دامنه کاربرد هر روش و امکان انتخاب یک روش مناسب از بین روشهای کاربردی در شرایط خاص مشابه با تحقیق مذکور را دارد.

واژه‌های کلیدی: مکانیابی بهینه، حسگر ترافیکی، پرامتی، تاپسیس، ویکور

1- مقدمه

امروزه استفاده از شبکه حسگرهای هوشمند در بسیاری از کاربردها از جمله حمل و نقل و ترافیک گسترش بسیار زیادی پیدا کرده است. شبکه حسگرهای هوشمند ترافیکی از نقاط گرهی تشکیل شده که در محیط پیرامون پخش خواهند شد و به

اخذ اطلاعات مختلف ترافیکی مانند میزان ترافیک، حجم آن، سرعت وسایل نقلیه و شناسایی وسایل نقلیه در جهت ردیابی آنها می‌پردازند (Bruno et al. ,2011). اگرچه استفاده از شبکه حسگرهای هوشمند یکی از روشهای نوین اخذ اطلاعات ترافیکی است ولی مهمترین چالش در این راستا استقرار بهینه آنها در مناطق تحت پایش است. بنابراین در این راستا نیازست که روش مناسبی برای تخصیص بهینه شبکه حسگرها در منطقه تحت پایش انتخاب شود. برای انتخاب روش مناسب، توجه به مواردی به شرح زیر مهم خواهد بود:

-انتخاب معیارهای کمی مناسب جهت مکانیابی بهینه حسگرها

-انتخاب روشهای وزندهی مناسب جهت مشخص کردن میزان اهمیت معیارهای مکانیابی شبکه حسگرها

-انتخاب روش تحلیلی مناسب جهت تلفیق ارزش کمی معیارهای انتخابی با رعایت وزنهای محاسباتی

-انتخاب مناطق بهینه بر اساس خروجی روش تحلیلی و صحت سنجی نتایج حاصل با داده‌های واقعی در منطقه.

لازم به ذکراست که در جهت انتخاب یک متدولوژی یا روش پیشنهادی مناسب نیازاست که نگاه جامع و کاملی داشت بر نمونه پروژه‌های مشابه که در سایر نقاط دنیا در این راستا انجام شده است.

یکی از تحلیل‌های مهمی که در جهت مکانیابی بهینه حسگرها (ازجمله حسگرهای ترافیکی) می‌تواند کمک کننده باشد تحلیل ریسک‌پذیری شبکه معابر شهری است. شبکه معابر شهری یکی از زیرساختهای مهمی است که در جهت نصب حسگرهای ترافیکی می‌تواند مورد توجه قرارگیرد. با اجرای تحلیل ریسک‌پذیری شبکه معابر شهری که می‌تواند با رعایت پارامترهای مختلف ترافیکی و وضعیت کالبدی و ساختاری آن باشد می‌توان به انتخاب خطرپذیرترین اتصالات که در بیشترین نیاز برای نصب حسگرها ی ترافیکی هستند پرداخت. لذا در این خصوص مطالعات مختلفی انجام گرفته است. برای نمونه Shoukry و همکاران در سال 2005 با استفاده از روش شبکه عصبی با ساختار انتشارروبه جلو۱ روش مناسبی در جهت ارزیابی ریسک پذیری در معابر شهری پیشنهاد دادند که خروجی آنها می‌تواند در جهت شناسایی معابر خطر پذیر به منظور نصب حسگرهای ترافیکی مورد توجه قرار گیرد (Shoukry,2005).

در ادامه Habibian و همکاران در سال 2011 با استفاده از روش سلسله مراتبی روش مناسبی در جهت ارزیابی نقاط خطرپذیر در شبکه‌های شهری پیشنهاد دادندکه در این مطالعه از پارامترهای ترافیکی برای ارزیابی ریسک استفاده شده بود (Habibian,Mesbah and Sobhani,2011). در برخی از مطالعات پیشنهادی از ترکیب تحلیلهای موجود در سیستم اطلاعات مکانی مانند تحلیل شبکه به منظور محاسبه فاصله شبکه معابر تا تسهیلات شهری و تئوریهای همپوشانی اطلاعات مانند ویکور به دلیل امکان مدلسازی ناهماهنگی شاخصها و همچنین امکان ارزیابی کمی شاخصها در مکانیابی حسگرهای ترافیکی استفاده شده بود که همین تحقیق میتوانست به منظور اجرای تحقیق مذکور مورد توجه قرار گیرد (رخساری و همکاران،1391).در ادامه مطالعات مذکور پیشنهاد شد که در محاسبه وزن معیارها در مکانیابی حسگر از عدم قطعیت بر اساس مفهوم فازی با روشی مانندسلسله مراتبی فازی و ترکیب آن با روش تصمیم گیری چند معیاره مانند تاپسیس استفاده شود (صادقی نیارکی و همکاران،1393).

در برخی دیگر از مطالعات انجام شده در خصوص مکانیابی شبکه حسگرها مفاهیم دیگری مانند پوشش برای اجرای تحلیل مکانیابی مورد توجه قرار گرفته است. نمونه این تحقیقات می‌تواند در تحقیق پیشنهادی مورد توجه قرار گیرد. برای نمونه می‌توان به طرح پیشنهادی توسط Vikram و همکاران در سال 2010 اشاره داشت که در آن استفاده از روش گریدی برای حل مسئله مکانیابی حسگرهای شهری با رعایت اصل بیشینه پوشش پیشنهاد شده است (Vikram and Abu-2010 Ghazaleh,).در نمونه دیگری از مطالعات که توسط Wang و همکاران در سال 2006 انجام شد حل مسئله مکانیابی حسگرها با رعایت شرط پوشش با روش ورونوی دیاگرام انجام گرفت (Wang,Cao and Porta,2006).

البته در برخی دیگر از روشهای پیشنهادی استفاده از مفهوم الگوریتمهای فراابتکاری به منظور پیدا کردن مناطق بهینه

حسگرها پیشنهاد شد. برای نمونه در این خصوص میتوان به طرح Masaki و همکاران در سال 2010 اشاره داشت که استفاده از روش بهینه‌سازی با الگوریتم تجمع ذرات را برای تخصیص بهینه گره‌های اصلی شناور[2] در شبکه حسگرها پیشنهاد دادند که نمونه این تحقیق میتوانست در اجرای تحلیل مذکور مورد استفاده قرار گیرد (Masaki,2010).

بنابراین با توجه به مطالعات پیشین در این تحقیق با استفاده ازسه روش مرسوم تصمیم‌گیری چند معیاره (تاپسیس، ویکور، پرامتی) و تلفیق این روشها با روش وزندهی سلسله مراتبی، روش مناسبی جهت مکانیابی حسگرهای ترافیکی پیشنهاد گردیده است. البته آنچه تفاوت اصلی این تحقیق با نمونه کارهای پیش فرض است مطالعه و ارزیابی چند روش مرسوم و کارای تصمیم‌گیری چند معیاره (روشهای ویکور، تاپسیس، پرامتی) به طور همزمان با هم است. لازم به ذکراست که این مسئله ضمن آنکه امکان ارزیابی محدودیت و قدرت هر روش را در مقایسه با سایر روشهای مذکور مورد توجه قرار داده در تحقیق فراهم می‌سازد درک مناسبی فراهم می‌سازد تا در حالتهای خاص از یک روش مناسب در میان روشهای مذکور برای انجام تحقیق استفاده شود. علاوه بر این مسئله این تحقیق به معرفی معیارهای استاندارد در جهت مکانیابی بهینه حسگرهای ترافیکی نیز پرداخته است.

لازم به ذکرست که این تحقیق به منظور پاسخ به سؤالاتی به شرح زیر می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد:

-چه معیارهایی برای مکانیابی بهینه حسگرهای ترافیکی وجود دارد.

-چه روشی می‌تواند به منظور ترکیب بهینه معیارهای ورودی مورد توجه قرار گیرد.

-چگونه میتوان به منظور کارایی تحلیلهای انجام گرفته از سیستم اطلاعات مکانی بهره گرفت.

همچنین در این تحقیق فرضیاتی به شرح زیر مورد توجه قرار گرفته است:

-در ارائه روش پیشنهادی برای مکانیابی حسگرها حرکت در نظر گرفته نشده است.

-به منظور محاسبه معیار فاصله تا تسهیلات شهری مانند مدارس از فاصله شبکه استفاده گردیده است.

-با مکانیابی بهینه این امکان فراهم می‌شود که حسگرهای مکانی جانمایی شده بتوانند به عنوان بخش اصلی یک شبکه حسگر ترافیکی به منظور جمع‌آوری اطلاعات ترافیکی عمل نمایند.

2- روشناسی تحقیق

همان طور که در بخش قبل نیز تشریح شد در این تحقیق روش مناسبی در جهت پیدا کردن مناطق بهینه جهت نصب حسگرهای ترافیکی پیشنهاد شده است که مراحل آن به شرح زیر است:

گام 1: شناسایی معیارهای بهینه و نرمالسازی مقادیر مربوط به آنها در اتصالات شهری پیش فرض

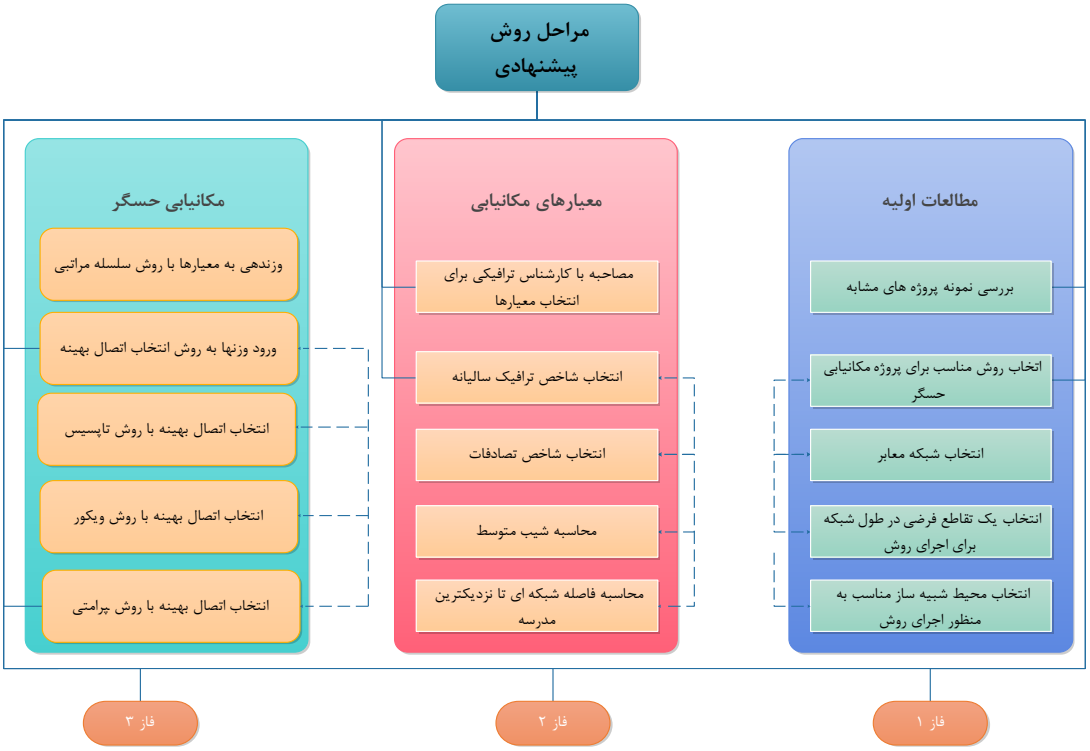
گام 2: وزندهی به معیارهای پیشنهادی با روش سلسله مراتبی

گام 3: طبقه‌بندی اتصالات پیش فرض در شبکه معابر شهری با روشهای تاپسیس، ویکور، پرامتی با رعایت وزن محاسباتی معیارها،

گام 4: انتخاب بهترین اتصال شهری به منظور نصب حسگر ترافیکی بر اساس روش پیشنهادی تحقیق. مراحل مختلف این تحقیق در شکل شماره (1) ارایه شده است.

2-1- معیارهای انتخابی تحقیق

اولین و مهمترین گام برای اجرای تحقیق پیشنهادی انتخاب معیارهای مناسب جهت پروژه مکانیابی است. در این راستا از شاخص هایی مانند میزان ترافیک متوسط سالیانه، شاخص تصادفات، شیب متوسط و فاصله هر اتصال شهری از تسهیلات شهری (مانند مدارس) استفاده شده است. لازم به ذکراست که انتخاب شاخصهای مذکور با توجه به نظر کارشناسان ترافیکی و مصاحبه با آنها صوت گرفته است. در ادامه جدول 1 نمایی از شاخصهای مورد استفاده در تحقیق و توضیح هریک را ارائه می‌نماید (رخساری و همکاران،1391).



شکل 1. مراحل مورد نیاز در اجرای تحقیق

شاخص محاسباتی مورد استفاده	شاخص	توضیح محاسبه
ترافیک	AADT	این شاخص میزان ترافیک متوسط سالیانه را نشان می دهد.این شاخص بیانگرمیزان ترافیک در یک مقطع در نظر گرفته شده در طول مسیر در طی یکسال است که با شمارش تعداد وسایل نقلیه که هر روز از آن مقطع عبور می کنند بدست می آید.
تصادفات	IR	می‌توان در خصوص شاخص تصادفات از شدت تصادفات یا تصادف سالیانه استفاده نمود.
شیب	-	شیب متوسط هر اتصال شهری در طول شبکه مورد مطالعه
دسترسی تسهلات شهری مهم	-	فاصله شبکه هر اتصال شهری تا نزدیکترین مدرسه

جدول 1. پارامترهای مورد استفاده در تحقیق (رخساری و همکاران،**1391**)

لازم به ذکرست که به منظور محاسبه شاخص فاصله هر اتصال شهری تا نزدیکترین مدرسه از تحلیل شبکه استفاده گردیده است. به منظور پیدا کردن کوتاهترین مسیر در تحلیل شبکه از الگوریتم دیسکترا استفاده شده است. الگوریتم دیسکترا یکی از الگوریتمهای دقیق در پیدا کردن کوتاهترین مسیر در یک شبکه است. این الگوریتم در یک گراف وزندار با وزن غیر منفی پیشنهاد گردیده است. این الگوریتم به محاسبه همه کوتاهترین مسیرها از یک نقطه به نقاط دیگر در طول شبکه می‌پردازد و از استراتژی جستجوی محلی در این خصوص به منظور پیدا کردن مسیر بهینه نهایی استفاده می‌کند (Mohammadi and Hunter,2012). لازم به ذکرست که به منظور محاسبه معیار مذکور از تابعهای مسیریابی پیش فرض در محیط GIS استفاده گردیده است.

2-2- روشهای پیشنهادی تحقیق

بعد از انتخاب معیارهای پیشنهادی تحقیق یک شبکه پیش فرض به منظور اجرای تحقیق مذکور انتخاب می‌گردد و مقادیر کمی مربوط به معیارهای پیشنهادی در آن آماده می‌گردد. بعد از آماده‌سازی اطلاعات مورد نیاز پارامترهای مذکور وارد روش تحلیلی پیشنهادی در مکانیابی می‌گردد که تلفیقی از روش سلسله مراتبی و روشهای تصمیم‌گیری چند معیاره مانند تاپسیس، ویکور و پرامتی است. بنابراین در ادامه مرور کوتاهی خواهیم داشت بر روشهای مورد استفاده شرح داده شده و کاربرد هریک در اجرای تحقیق مذکور

2-2-1-وزندهی به پارامترهای ورودی

به منظور محاسبه وزن معیارهای ارزیاب ریسک با روش سلسله مراتبی در ابتدا معیارهای انتخابی مکانیابی با استفاده از مقیاس ساعتی (اعداد 1 تا 9) به صورت دو به دو مقایسه می‌شوند تا ماتریس تصمیم‌گیری تشکیل شود. لازم به ذکراست که به منظور اجرای محاسبه زوجی در این تحقیق از مصاحبه با کارشناس ترافیکی استفاده شده است. در ادامه به منظور محاسبه وزن معیارها اعداد مربوط به ماتریس مذکور نرمال شدند. بدین منظور هر درایه ماتریس تصمیم‌گیری بر مجموع عناصر هر ستون تقسیم می‌شود بعد از نرمال سازی، اعداد ماتریس تصمیم‌گیری از میانگین هر سطر استفاده شده تا وزن مربوط به هر معیار ورودی بدست آید. البته به منظور ارزیابی میزان صحت مربوط به محاسبات انجام شده، شاخص ناسازگاری محاسبه گردید. شاخص ناسازگاری در واقع مفهوم سازگاری تناسب عناصر ماتریس مقایسه را نشان می دهد؛ بنابراین با کمک مفهوم ضرایب ویژه ماتریس مقایسه(مقدار λ_{max})و همچنین بعد این ماتریس (n)، ضریبی به نام (IR)تعیین گردید که بیانگر ناسازگاری ماتریس مقایسه است. در صورتی که مقدار فوق کمتر از 0/1 باشد، نشانه سازگاری کامل ماتریس مقایسه خواهد بود. برای محاسبه ی شاخص مذکور از روابط (1) و (2) استفاده گردید (مؤمنی،1390)، (مؤمنی،1391) و (Bruno,et al.2012).

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \qquad (1)$$

$$IR = \frac{CI}{IRI} \qquad (2)$$

برای‌محاسبه‌ی پارامتر IRI از جدول (📄) استفاده می‌شود.

2-2-2-تلفیق ارزش کمی معیارهای ورودی

به منظور تلفیق ارزش کمی مربوط به معیارهای ورودی از روشهای تصمیم‌گیری چند معیاره مانند تاپسیس، ویکور و پرامتی در این تحقیق استفاده شده است. لازم به ذکرست که انجام محاسبات در روشهای مذکور با رعایت وزن محاسبه شده از روش سلسله مراتبی خواهد بود. بنابراین در این بخش مروری خواهیم داشت بر مفاهیم مربوط بر سه روش پیشنهادی.

روش تاپسیس:

روش تاپسیس[3] اولین بار توسط هوانگ یون در سال 🗁🗁 پیشنهاد شد در این روش m گزینه بوسیله n شاخص مورد ارزیابی قرار می گیرند. پایه این انتخاب بر این مفهوم استوار است که گزینه انتخابی باید کمترین فاصله را با راه حل ایده آل مثبت (بهترین حالت) و بیشترین فاصله را با راه حل ایده آل منفی داشته باشد، فرض بر این است که مطلوبیت هر شاخص به طور یکنواختی افزایشی یا کاهشی است. حل مسئله با این روش مستلزم طی مراحل زیر است (مؤمنی،1390)، (مؤمنی،1391) و (Ju and Wang,2012).

-کمی کردن ونرمالسازی ماتریس تصمیم (N)

جهت به دست آوردن ماتریس نرمال موزون (V)، ماتریس نرمال شده (N) در ماتریس قطری وزن ها (W) ضرب می گردد.

$$V = N * W \qquad (۳)$$

-تعیین راه حل ایده آل مثبت و منفی: راه حل ایده آل مثبت (V_j^+)، بردار بهترین مقادیر هر شاخص ماتریس V است،و راه حل ایده آل منفی (V_j^-)، بردار بدترین مقدار هر شاخص ماتریس V است. بهترین مقادیر برای شاخص های مثبت، بزرگترین مقادیر و برای شاخص های منفی، کوچک ترین مقادیر است. بدترین مقادیر برای شاخص‌های مثبت، کوچکترین مقادیر و برای شاخص های منفی بزرگترین مقادیر است.

-به دست آوردن فاصله هر گزینه از ایده آل مثبت (d_i^+) و منفی (d_i^-) استفاده از روابط (4) و (5):

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} (v_{ij} - v_j^+)^2} \quad i = 1,2,...,m \qquad (۴)$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad i = 1,2,...,m \qquad (۵)$$

-تعیین نزدیکی نسبی به راه حل ایده آل با رابطه (6)

$$CL_i^* = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \qquad (۶)$$

روش ویکور:

روش ویکور[۴] یکی از روش های مناسب در حل مسائلی است که با معیارهای ناسازگار روبرو می‌باشد. مراحل مقایسه گزینه ها در روش فوق به صورت زیر است (آذرو رجب زاده،1389) و (San,2011).

-تشکیل ماتریس تصمیم گیری با استفاده از مقادیر شاخص برای هر گزینه

-محاسبه وزن مربوط به هر معیار که در تحقیق مورد نظر از روش سلسله مراتبی بدست آمده است.

-نرمال سازی ماتریس تصمیم

-تعیین بهترین f_i^+ ، بدترین مقدار f_i^- ، برای هر معیار از بین گزینه های موجودبا استفاده از روابط (7) و (8):

$$f_i^+ = \max_j f_{ij} \qquad (۷)$$

$$f_i^- = \min_j f_{ij} \qquad (۸)$$

-محاسبه پارامترهای (S,R)، با درنظر گرفتن بهترین و بدترین مقدار برای هر معیار با استفاده از روابط (9) و (10):

$$S_j = \sum_{i=1}^{n} \left[w_i (f_i^+ - f_{ij}) \Big/ (f_i^+ - f_{ij}^-) \right], \quad j = 1,2,...,J \qquad (۹)$$

$$R_j = \max_i \left[w_i (f_i^+ - f_{ij}) \Big/ (f_i^+ - f_{ij}^-) \right] \qquad (۱۰)$$

محاسبه مقدار تابع مزیت (Q) با کمک پارامترهای (R,S) با رابطه (11) و (12)، توجه در رابطه مذکورپارامتر (v) به نام وزن معرفی می شود که در بازه 0 تا 1 متغیر است و لذا مقایسات گزینه ها با توجه به محدوده در نظر گرفته شده برای این پارامتر خواهد بود:

$$Q_j = \left(v * (S_j - S^*) \Big/ (S^- - S^*) \right) + \left((1-v) * (R_j - R^*) \Big/ (R^- - R^*) \right) \qquad (۱۱)$$

$$\begin{cases} S^* = \min_i S_j, : S^- = \max_i S_j \\ R^* = \min_i R_j, : R^- = \max_i R_j \end{cases} \qquad (۱۲)$$

محاسبه بهترین گزینه: در روش مذکور، مقدار پارامتر Q بیانگر رتبه گزینه ها خواهد بود هرچه مقدار پارامتر فوق کمتر باشد گزینه مورد نظر گزینه، گزینه بهتری خواهد بود البته برای انتخاب گزینه نهایی شرطی به نام پذیرش میزان برتری نیز بررسی می‌شودکه به صورت زیر رابطه (13) خواهد بود:

$$Q(a'') - Q(a') \geq \frac{1}{n-1} \qquad (۱۳)$$

بنابراین برای انتخاب بهترین گزینه چنانچه تفاوت تابع مزیت گزینه در رتبه یک $Q(a'')$ با تابع مزیت گزینه در رتبه دو $Q(a')$، از حد آستانه رابطه فوق که با کمک n تعداد گزینه ها بدست آمده بیشتر باشد گزینه مورد نظر به عنوان

بهترین گزینه انتخاب خواهد شد. در این خصوص به رابطه 14 توجه کنید:

$$Q(a'') - Q(a') \geq \frac{1}{n-1} \qquad (14)$$

روش پرامتی:

روش پرامتی[5] یکی از روش های تصمیم گیری چند معیاره است که برخلاف روش هایی مانند تاپسیس و ویکر از مقایسه زوجی برای مقایسه گزینه ها استفاده می کند. اساس مقایسه در روش فوق بر پایه تعریف یک تابع برتری (P) پیش تعریف شده است که در تحقیق فوق نوع V شکل با توجه به کاربرد گسترده آن مورد استفاده قرار گرفته است. مهمترین مسئله در استفاده از تابع برتری برای مقایسه گزینه ها، تعیین ناحیه بی تفاوتی است که با دو پارامتر p,q مشخص می شود، در واقع این دو پارامتر بیان می کنندر صورتی که تفاوت کمتر از q باشد هیچ برتری وجود ندارد. در صورتی که میزان تفاوت بزرگتر از p باشد آنگاه گزینه ای که امتیاز بیشتری دارد نسبت به گزینه دیگر دارای اولویت کامل خواهد بود. اگر تفاوت گزینه ها بین p تا q آنگاه اولویت گزینه ها همانند تابع خطی برتری خواهد بود. برای درک بهتر پارامترهای تابع به رابطه (15) توجه کنید. (مؤمنی،1390)، (مؤمنی،1391) و (Moreira,et al.2008).

$$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq q \\ \dfrac{d-q}{p-q} & q < d <= p \\ 1 & d > p \end{cases} \qquad (15)$$

معمولا پارامتر q را می توان کمینه داده و پارامتر p، میزان متوسط داده‌ها در نظر گرفت. رتبه‌بندی نهایی یا اولویت دو گزینه با جمع‌کردن اولویت همه شاخص‌ها با رعایت وزن شاخص ها (w_j) بدست می‌آید که توسط رابطه 16 بیان شده است:

$$\pi(a,b) = \frac{\sum_{j=1}^{k} w_j p_j(a,b)}{\sum_{j=1}^{k} w_j} \qquad (16)$$

اگر تعداد گزینه ها(n) بیشتر از دو باشد، رتبه بندی پایانی بوسیله مجموع مقادیر مقایسات زوجی بدست می آید. برای هر گزینه $a \in A$ و با در نظر گرفتن گزینه های دیگر $x \in A$، می توان جریان رتبه بندی خالص (Φ)، را بدست آورد که با استفاده از رابطه ی (17) بیان شده است:

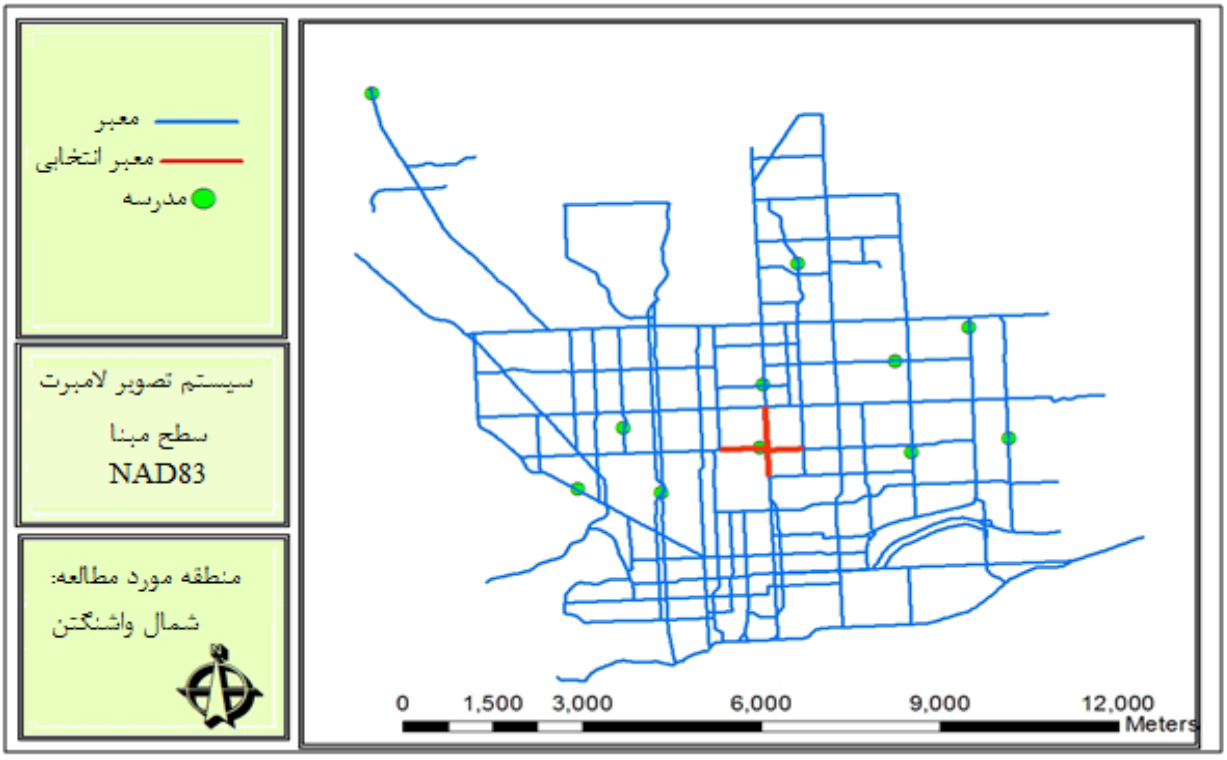
$$\begin{cases} \Phi^{+}(a) = \dfrac{\sum_{b=1}^{n} \pi(a,x)}{n-1} \\ \Phi^{-}(a) = \dfrac{\sum_{b=1}^{n} \pi(x,a)}{n-1} \end{cases} \rightarrow \Phi = \Phi^{+}(a) - \Phi^{-}(a) \qquad (17)$$

3- منطقه مورد مطالعه

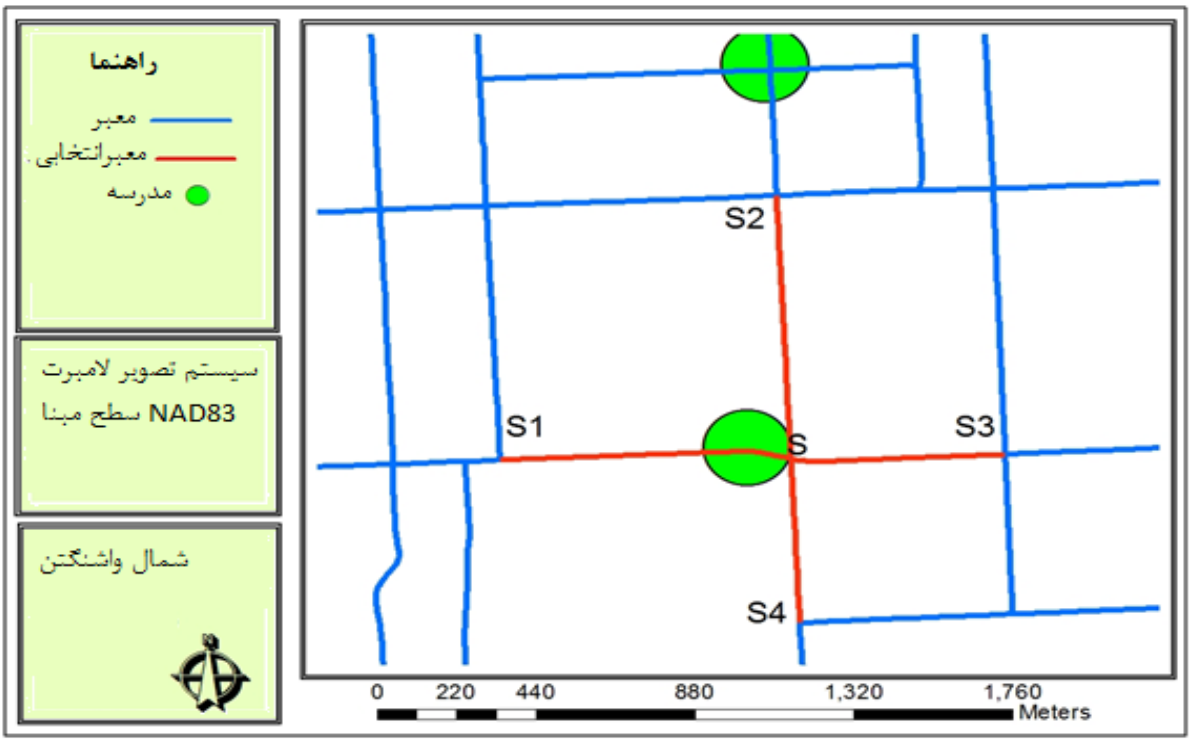
نمونه داده مطالعاتی مربوط به منطقه‌ای در شمال واشنگتن است که در سیستم تصویر مخروطی لامبرت و سیستم مختصات NAD-83که در طول جغرافیایی "30 '17 °117و "30 '30 °117 و در عرض جغرافیایی "30 '39 °47 و "30 '45 °47واقع است. شکل (2) نمایی از نقشه منطقه مطالعاتی را نشان می‌دهد. داده مورد نظر در بخش پیاده سازی به منظور اولویت بندی اتصالات شهری بر اساس میزان اهمیت آنها برای نصب حسگرهای ترافیکی مورد استفاده قرار گرفت. به منظور اجرای تحقیق یک اتصال شهری به صورت پیش فرض برای نشان دادن روش پیشنهادی انتخاب شد البته این روش میتواند برای تمامی اتصالات شبکه شهری تکرار شود و انتخاب اتصال مذکور تنها به منظور نمایش روش اجرای طرح است.

جدول 2. محاسبه پارامتر IRI

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IRI	0	0	0/58	0/9	1/12	1/24	1/32	1/41	1/45	1/51



شکل 2. شبکه معابر منطقه مورد مطالعه در واشنگتن



شکل 3. اتصال انتخابی در شبکه پیش فرض

4- نتایج تحقیق

به منظور اجرای تحقیق پیشنهادی در اتصال پیش فرض در ابتدا وزن مربوط به معیارهای پیشنهادی با روش سلسله مراتبی محاسبه شد. نتایج مربوط به محاسبات وزن در طرح پیشنهادی در جدول (3) ارایه شده است. به منظور صحت سنجی محاسبات انجام گرفته شاخص ناسازگاری محاسبه شد که در روش پیشنهادی میزان آن کمتر از 0/1 بود که این موضوع سازگاری محاسبات انجام گرفته شده را نشان می‌دهد.

بعد از محاسبه وزن معیارهای ورودی، اتصالات شهری نمونه با رعایت وزن مذکور با روشهای تاپسیس، ویکور، پرامتی مقایسه شدند تا در نهایت اتصال بهینه جهت نصب حسگرها انتخاب شود. در این خصوص لازم بود که در اتصالات نمونه ارزش کمی مربوط به معیارهای پیشنهادی تعیین گردیده و سپس این ارزش نرمال گردد. در این خصوص دو راهکار می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد که شامل تقسیم ارزش هر اتصال پیش فرض در یک معیار بر مجموع ارزش متناظر با آن معیار در سایر اتصالات یا تقسیم ارزش هر اتصال در معیار پیش فرض بر جذر مجموع مربعات ارزش سایر اتصالات در همان معیار است. جدول (4) میزان ارزش مربوط به معیارهای پیشنهادی را در هر اتصال نمونه نشان می‌دهد. این ارزش می‌تواند در روشهای پرامتی، تاپسیس و ویکور مورد استفاده قرار گیرد.

جدول 3. وزن محاسبه شده معیارها با روش سلسله مراتبی

معیار ورودی	وزن محاسبه شده
شاخص ترافیک سالیانه	0/58
تصادفات	0/26
شیب متوسط	0/11
فاصله تا مدارس	0/05

اتصال پیش فرض	تصادفات	ترافیک	فاصله تا مدرسه	شیب
S-S2	0.52543	0.493325	0.570285	0.5
S-S1	0.540883	0.650824	0.00238	0.5
S-S3	0.278169	0.135371	0.580848	0.5
S-S4	0.594972	0.561011	0.580848	0.5

جدول4. ارزش کمی معیارهای نرمال شده در اتصال پیش فرض

در روش تاپسیس انتخاب اتصال بهینه بر اساس میزان شاخص نزدیکی صورت می‌گیرد. هرچه قدر شاخص نزدیکی به یک نزدیکتر باشد نشان دهنده نزدیک تر بودن اتصال مذکور برای انتخاب به عنوان اتصال بهینه است. جدول (5)، نتایج مقایسه در روش تاپسیس و رتبه بندی اتصالات بر اساس میزان شاخص نزدیکی را به منظور انتخاب برای نصب حسگر نشان می‌دهد. این روش به دلیل گستردگی کاربرد و امکان ارزیابی شاخص‌های کمی و استفاده از مفهوم فاصله از نقطه ایده آل در این تحقیق انتخاب شده است.

در ادامه مجدداً با روش ویکور اتصالات مذکور مقایسه شدند در روش ویکور مقایسه بر اساس ارزش تابع مزیت صورت گرفت. هرچه ارزش مذکور کمتر باشد نشان دهنده امکان انتخاب اتصال بیشتر برای مکانیابی حسگراست. البته به منظور تحلیل حساسیت در روش مذکور مقایسه اتصالات با تغییر پارامتر V صورت گرفت. در ادامه جدول (6) میزان ارزش

مربوط به تابع مزیت را با تغییر این پارامتر و همچنین رتبه نهایی هر اتصال شهری را نشان می‌دهد. این روش به دلیل گستردگی کاربرد و امکان ارزیابی شاخصهای کمی و استفاده از مفهوم تابع مزیت که امکان ارزیابی کمی و تحلیل حساسیت را در انتخاب اتصال بهینه فراهم می‌سازد انتخاب شد.

جدول 5. ارزش خروجی روش تاپسیس

اتصال پیش فرض	ارزش شاخص نزدیکی	رتبه اتصال
S-S2	0.668215	3
S-S1	0.87145	1
S-S3	0	4
S-S4	0.75988	2

جدول 6. رتبه بندی اتصالات پیش فرض با روش ویکور

اتصال پیش فرض	v=0.1	v=0.5	v=1	رتبه
S-S2	0.078292	0.156165	0.253507	3
S-S1	0	0	0	1
S-S3	1	1	1	4
S-S4	0.027151	0.044477	0.066134	2

سپس در ادامه رتبه بندی اتصالات پیش فرض با روش پرامتی صورت گرفت، همان طور که در این تحقیق توضیح داده شد تابع پیش فرض لحاظ شده تابع به فرم V شکل بود. در روش پرامتی مقایسه اتصالات شهری بر اساس میزان جریان خالص خروجی صورت گرفت.

جدول (7) نتایج حاصل از مقایسه اتصالات پیش فرض را در روش پرامتی با رعایت ارزش جریان خالص خروجی نشان می‌دهد. بیشتر بودن این ارزش میتواند نشان دهنده نزدیکتر بودن امکان انتخاب اتصال شهری برای نصب حسگر باشد. این ارزش دو مزیت مهم در برابر روشهای قبل دارد امکان استفاده از مقایسات زوجی و همچنین امکان تعریف یک تابع برتری که پارامترهای آن بنابر نظر متخصص ترافیکی انتخاب می‌شود و امکان تعریف حد آستانه مناسب را در ارزیابی فراهم می‌سازد.

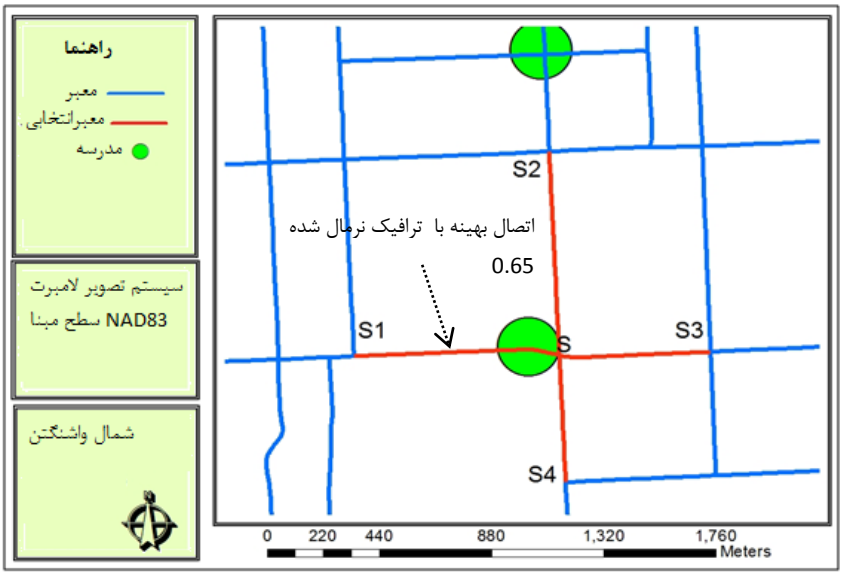
5- ارزیابی نتایج تحقیق

لازم به ذکرست در برخی از نمونه‌های اجرایی تنها نصب حسگر بر اساس شاخص ترافیک صورت می‌گیرد در حالیکه نیازست در این مسئله مواردی مانند میزان تصادفات، شیب، نزدیکی به مکانهای نزدیک پایش مانند مدارس نیز در نظر گرفته شود و رعایت این مسئله سبب می‌شود که خطرپذیرترین اتصال شهری با بیشترین اولویت برای نصب حسگر انتخاب شود که این مسئله منجر به کاهش خطراتی مانند سوانح جاده‌ای با امکان پایش اتصالات خطرپذیر فراهم می‌سازد. بنابراین شاخصهای اجرایی تحقیق مذکور شاخصهای کارایی در مقایسه با روشهای سنتی به شمار می‌رود. علاوه بر این مسئله این تحقیق روش محاسباتی خاصی که بر اساس تکنیکهای تصمیم‌گیری چند معیاره مانند تاپسیس، ویکور، پرامتی است فراهم می‌سازدکه در مقایسه با روشهای سنتی امکان استفاده از شاخصهای کمی و مناسب را در این راستا فراهم می‌سازد. مانند استفاده از شاخص

نزدیکی در تاپسیس، تابع مزیت در ویکور و جریان خالص خروجی در پرامتی. لازم به ذکرست که علت استفاده از سه روش به صورت همزمان امکان صحت‌سنجی مناسب است چرا که معمولاً اتصال شهری که در تعداد روش بهتری بهینه است نشان‌دهنده پایداری بالاتر انتخاب به عنوان اتصال بهینه خواهد بود. همان طور که در این تحقیق نشان داده شد و در بخش قبل نتایج کمی روشهای مذکور موجودست اتصال (S-S1) به عنوان بهینه‌ترین اتصال انتخاب شده که این روش در مقایسه باروش سنتی که بر اساس صرفاً معیار ترافیک است نیز این اتصال دارای اولویت اول به عنوان نصب حسگرست. البته در نمونه‌های کاری آینده پیشنهادست که از روش پیشنهادی این تحقیق استفاده شود چرا که امکان معرفی خطرپذیرترین اتصال را فراهم می‌سازد و رعایت شاخص ترافیک به تنهایی کافی نیست.

جدول 7. رتبه بندی اتصالات پیش فرض با روش پرامتی

رتبه اتصال	جریان خالص خروجی	اتصال پیش فرض
3	0.055	S-S2
1	0.333	S-S1
4	-0.605	S-S3
2	0.216	S-S4



شکل 4. اتصال انتخابی درواقعیت برای نصب حسگر که منطبق بر نتیجه تحقیق شده

6- نتیجه‌گیری

در این تحقیق با بررسی برخی، روشهای پیشنهادی تصمیم گیری چند معیاره مانند تاپسیس، ویکور، پرامتی و تلفیق آنها با روش وزندهی سلسله مراتبی، روش مناسبی برای مکانیابی حسگرهای ترافیکی پیشنهاد شد. در این تحقیق پیشنهاد شد که مکانیابی حسگرها با استفاده از معیارهای انتخابی مانند میزان ترافیک سالیانه، تصادفات، شیب متوسط و فاصله هر اتصال تا نزدیکترین مدرسه به اتصال بهینه صورت گرفت. بنابراین در هر اتصال پیش فرض ارزش کمی معیارها به روش پیشنهادی وارد

شد و در نهایت با استفاده از روش پیشنهادی تلفیق شد تا در نهایت اتصال بهینه برای نصب حسگر انتخاب شود. لازم به ذکراست که در روش مذکور وزندهی معیارها با روش سلسله مراتبی و رتبه بندی نهایی اتصالات با رعایت وزن معیارهای ورودی با روشهای تاپسیس، ویکور و پرامتی صورت گرفت. در این تحقیق روش تاپسیس امکان مقایسه اتصالات را بر اساس فاصله از نقطه ایده‌آل فراهم ساخت و روش ویکور نیز امکان استفاده از تابع مزیت را در جهت تحلیل حساسیت مورد نیاز در این خصوص ممکن ساخت. روش پرامتی نیز به دلیل دو مزیت مهم مورد توجه قرار گرفت امکان مقایسه زوجی بر اساس شاخصهای مورد استفاده مکانیابی حسگر و همچنین امکان تعریف حد آستانه مناسب در تابع برتری به منظور انتخاب اتصال بهینه. بنابراین خروجی روش مذکور امکان مقایسه مناسب روشهای مذکور را به منظور شناخت قابلیتها و محدودیتهای هر روش ساخت. همچنین به منظور ارزیابی خروجی حاصل از روش پیشنهادی نتایج تحقیق با روش اجرایی مقایسه شد نتایج نشان داد که در روش سنتی انتخاب اتصال بهینه نصب حسگر در شبکه شهری تنها با رعایت شاخصهایی مانند ترافیک است در حالی که در این روش علاوه بر ترافیک شاخصهای مناسب دیگری مانند (تصادفات، دسترسی به مکانهای نیازمند پایش مانند مدارس و شیب) که بیانگر خطرپذیری اتصال شبکه شهری و همچنین وضعیت مناسب آن جهت نصب حسگرست انتخاب شده است. علاوه بر این مسئله امکان بهره‌گیری از سه روش تحلیلی تاپسیس، پرامتی و ویکور که سه روش مهم و مرسوم در انتخاب هستند سبب می‌شود که پایداری بیشتری در انتخاب اتصال بهینه جهت نصب حسگرفراهم شود به عبارت دیگر اتصالی که در تعداد روش بیشتری به عنوان اتصال بهینه انتخاب شود نشان دهنده پایداری بیشتر در انتخاب به عنوان مکان مناسب حسگر ترافیکی است. نتایج تحقیق با شناسایی مناطق خطرپذیر در شبکه شهری منجر به کاهش سوانح جاده‌ای می‌گردد.

7. پی‌نوشت‌ها

1. Feed forward
2. Sink node
3. Topsis
4. Vikor
5. Promethee

8- مراجع

— آذر،ع.، رجب زاده، ع.(1389)،"تصمیم گیری کاربردی رویکرد MADM"، انتشارات نگاه دانش.

— رخساری، س.، دلاور، م.، صادقی نیارکی، ا.، ، مشیری، ب.(1391)، "تحلیل کیفیت اطلاعات در تعامل‌پذیری یک سیستم ترافیک شهری بر مبنای سیستم اطلاعات مکانی فراگستر"، دانشگاه تهران.

— صادقی نیارکی، ا.، دلاور، م.، رخساری، س. (1393)، "مکانیابی بهینه حسگرهای مانیتورینگ ترافیکی با استفاده از روش سلسله مراتبی فازی و روش تاپسیس"، فصلنامه علمی و پژوهشی اطلاعات جغرافیایی سپهر،دوره 23،شماره 90،تابستان 93.

— مومنی، م.، شریفی سلیم، ع.(1390)، "مدل‌ها و نرم افزارهای تصمیم گیری چند معیاره"، انتشارات دانشگاه تهران.

— مومنی، م.(1391)، "مباحث نوین تحقیق در عملیات".

— Bruno, G., Esposito, E. ,Genovese, A. and Passaro, A (2012) AHP-based approaches for supplier evaluation: problems and perspectives, Journal of Purchasing & supply Management, Elsevier,Vol.18,PP. 159–172.

— Habibian, M., Mesbah, M.and Sobhani, A. (2011), "Ranking of hazardous road locations in two-Lane two-way rural roads with no Crash Record", Australasian Transport research forum, Adelaide, Australia, Publication website: http://www.patrec.org/atrf.aspx.

— ITU-T technology watches briefing report series. (2008), Ubiquitous Sensor Networks (USN).

— Ju, Y. and Wang, A. (2012), "Emergency alternative evaluation under group decision makers: A method of incorporating DS/AHP with extended TOPSIS, Journal of Expert Systems with Applications", Vol.39, pp.1315–1323.

— Masaki ,Y.(2010), "An effective sink node allocation scheme for long-term operation of wireless sensor networks using adaptive suppression PSO, International Conference on

Spain: The VIKOR method", Journal of Renewable Energy, Vol. 36, pp.498–502.

- Shoukry, F. (2005), "artificial neural network in classification of severity levels in crashes with Guardrail", MSC. Degree thesis, Department of civil Engineering, West Viriginia.

- Vikram, M. and Abu-Ghazaleh, N. (2010), "Scale target coverage in smart camera network, ICDSC", Atlanta, USA.

- Wang, G., Cao, G. and Porta, T. (2006), "Movement-assisted - sensor - deployment, IEEE, Transaction on Mobile computing", Vol, 5, No.6, PP.640-652, Italy.

Ubiquitous and Future Networks (ICUFN)", IEE, South Korea, PP:92-97.

- Mohammadi, E., Hunter, A. (2012), "Multi-Criteria path finding", ISPRS Congress. Melbourne, Australia.

- Moreira, M.P., Dupont, C.J.and Vellasco, M.M.B.R (2008), "PROMETHEE and Fuzzy PROMETHEE multi-criteria methods for ranking equipment failure modes", Electrical Engineering Department, Pontifical Catholic university of Rio de Janeiro.

- San, J.R. (2011), "Multi-criteria decision-making in the selection of a renewable energy project in

GIS Based Site Selection of Traffic Sensor Based on MCDM Methods (TOPSIS, PROMETHEE and VIKOR)

S. Rokhsari-Talemi, M.Sc. Grad., Department of Surveying Engineering, Faculty of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.
M. R. Delavar, Associate professor, Center of Excellence in Geomatic Eng. in Disaster Management, Dept. Of Surveying and Geomatic Eng., College of Eng., University of Tehran, Tehran, Iran.
A.Gh. Sadeghi-Niaraki, Assistant professor, Department of Geodesy and Geomatics Engineering K.N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran.
B. Moshiri, Professor, Center of Excellence in Control & Intelligent Processing, School of Electrical and Computer Eng., College of Eng., University of Tehran, Tehran, Iran.

E-mail: mdelavar@ut.ac.ir

Received: June 2016-Accepted: Sep. 2016

ABSTRACT
Smart traffic monitoring is a new method of traffic data acquisition. Traffic sensors are the core of such system in consequence optimum allocation of them increases efficiency of monitoring and decrease cost of installation. Although multi criteria decision making (MDCM) idea is a common method for this purpose, the big challenges is selection of the best MCDM method. Thus this paper tries to discuss advantages and disadvantages of different MCDM methods to determine proper mythology for optimum allocation of traffic sensors. To do the analysis a pilot junction in north of Washington was selected. In next step multi criteria decision making concepts were studied to compare urban links rank a long selected junction, respecting final calculated weight based on AHP method .To do this step some multi criteria decision making method such as PROMETHEE and TOPSIS and VIKOR were compared for determination of optimum link for traffic sensor site selection.

Keywords: Optimum Site Selection, Traffic Sensor, PROMETHEE, TOPSIS, VIKOR

[1]Feed forward
[2] Sink node
[3]Topsis
[4]Vikor
[5]Promethee