مناسب‌ترین تکنولوژی تعیین موقعیت جهت سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند در ایران و طراحی یک GIS مکانمند- زمانمند براساس آن

علی‌رضا وفایی‌نژاد[1*]، علی‌اصغر آل‌شیخ[2]، حسین هلالی[3]، مجید همراه[4]

۱- استادیار GIS، واحد علوم تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
۲- دانشیار GIS، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران
۳- استادیار GIS، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
۴- استادیار GIS، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

دریافت: ۸۷/۱۱/۱۶ پذیرش: ۸۸/۶/۳۱

چکیده

حرکت به سمت سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی مکانمند- زمانمند از برجسته‌ترین پژوهش‌ها در زمینهٔ سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی است. در این سیستم‌ها تغییرات مکانی و زمانی بر روی داده‌ها، هم‌زمان با وقوع، باید به‌نحوی در سیستم منعکس و بر روی مدل‌های مربوط اعمال شود. یکی از راه‌های به‌دست آوردن تغییرات، استفاده از روش‌های تعیین موقعیت متحرک است. اما انتخاب روش تعیین موقعیت مناسب، تابع عوامل مؤثرِ بی‌شماری است که در نظر نگرفتن هرکدام از آن‌ها موجب محدود شدن استفاده از سیستم و در نهایت ضعف اجرایی آن خواهد شد. در این تحقیق روش‌های تعیین موقعیت متحرک ارزیابی شده است و از این میان، تعدادی که قابلیت اجرایی در کشور داشته و متداول‌اند، جهت انتخاب دقیق‌تر مورد بحث قرار گرفته‌اند. پس از آن مناسب‌ترین روش تعیین موقعیت در ایران معرّفی شده و براساس آن، یک سیستم اطلاعات جغرافیایی مکانمند- زمانمند نمونه طراحی و اجرا شده است. این سیستم به‌طور کامل از سوی مؤلفان طراحی و اجرا شده و دارای قابلیت‌های ویرایشی، تناظریابی نقشه‌ای و تجزیه و تحلیل مسیریابی مکانمند- زمانمند براساس کمترین فاصله و زمان دسترسی ممکن بین دو نقطه است.

واژه‌های کلیدی: سیستم اطلاعات جغرافیایی مکانمند- زمانمند، تعیین موقعیت، حمل‌ونقل هوشمند، ایران.

---

* نویسندهٔ مسئول مقاله: E-mail: a_vafaei@srbiau.ac.ir

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-25]

۱- مقدمه

امروزه، سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی مقبولیّت زیادی دارنـد و از جهـات مختلـف در حـال پیشرفت و تکامل‌اند (Vafaeinezhad, 2010: 2). یکی از این پیشرفت‌ها، اضافه کردن تغییـرات مکانی صورت‌گرفته با گذشت زمان بر روی داده‌ها و ورود این‌گونه داده‌های متغیر بـه سیـستم اطلاعات جغرافیایی است؛ به‌طوری‌که بتوان سیستم اطلاعـات جغرافیـایی مکانمنـد- زمانمنـد ایجاد کـرد (Roshannejad, 1996: 8). روش‌هـای گونـاگونی بـرای ایجـاد سیـستم اطلاعـات جغرافیایی مکانمند- زمانمند وجود دارد (Nadi, 2003: 1). یکی از آن‌ها ترکیب تکنولوژی‌های تعیین موقعیت با سیستم اطلاعات جغرافیایی است که بیشترین مورد استفادهٔ آن در سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند است (Ibid, 2).

تاکنون محققان زیـادی در ایـن زمینـه فعالیـت کـرده‌انـد و تـلاش آن‌هـا بـه بهبـود سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند موجود و یا پیشنهاد سیستم‌های جدید منجر شـده اسـت (Alder, 2005: 21; Aved, 2006: 2; Byon, 2006: 2; Daganzo, 2002: 3; Fu, 2001: 15; Qiang, 2006: 2; Wahle, 2001: 6). اما اغلب این پژوهش‌ها به انتخاب مناسب‌ترین سیـستم تعیـین موقعیـت توجه نکرده و این مهم را ازپیش‌دانسته در نظر گرفته‌اند؛ درحـالی‌کـه عوامـل تأثیرگـذار متفاوت و تکنولوژی‌های مختلفی برای تعیین موقعیـت متحـرک وجـود دارد و انتخـاب روش تعیین موقعیت بهینه با تغییر در نـوع کـاربرد، معمـاری، دقـت و اهـداف سیـستم حمل‌ونقل هوشمند متفاوت خواهد بود.

بسیاری از سیستم‌های تجاری موجود در زمینهٔ سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند، که در داخل و خارج کشور فراگیر شده‌اند، تک‌منظوره‌انـد و فقـط بـه نمـایش موقعیـت متحـرک بـر روی نقشه‌ای رقومی و بازیابی اطلاعات آن‌ها می‌پردازند. اما با طراحی و اجـرای سیـستم اطلاعـات جغرافیایی مکانمند- زمانمند علاوه بر نمایش موقعیت وسیلهٔ متحرک بر روی نقشه و بازیـابی اطلاعات آن‌ها، امکان انجام تحلیل‌های بسیار متنوعی(تحلیل‌های مکانی، تحلیل های توصـیفی و تحلیل‌های هم‌زمانِ مکانی و توصیفی) که سیستم اطلاعات جغرافیایی در اختیار قرار می‌دهد نیز وجود خواهد داشت که تاکنون به این مهـم چنـدان توجـه نـشده اسـت. در بـین مختـصر سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی مکانمند- زمانمند طراحی‌شده با اهداف حمل‌ونقـل هوشـمند

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-25]

نیز مشاهده می‌شود که اغلب آن‌ها از ابزارهای جانبی زیادی (به‌ویژه برای افزایش دقت تعیین موقعیت متحرک) استفاده کرده‌اند؛ این موضوع علاوه بر افزایش هزینه، باعث وابستگی سیستم به ابزارهای مختلف و گاهی غیرمتجانس می‌شود(Alder, 2005: 7; Aved, 2006: 3; Byon, 2006:3; Daganzo, 2002:2; Fu, 2001:9; Qiang, 2006: 3; Wahle, 2001: 3; Claramunt, 1999: 2).

با توجه به آنچه گفته شد و نیز برای برطرف کردن مشکلات یادشده، نخست روش‌های تعیین موقعیت متحرک و عواملی را که در انتخاب روش بهینه اثرگذارند بررسی کرده‌ایم، سپس برای کاربردی‌تر شدن تحقیق و استفاده از آن در ایران، با توجه به پارامترهای یادشده، مناسب‌ترین روش تعیین موقعیت در ایران را مشخص کرده و براساس آن سیستم اطلاعات جغرافیایی مکانمند- زمانمندی برای دست‌یابی به اهداف حمل‌ونقل هوشمند طراحی کرده‌ایم؛ سیستمی که دارای قابلیت‌های ویرایشی، کارتوگرافی، تناظریابی نقشه‌ای و آنالیز مسیریابی مکانمند- زمانمند بوده و به ابزارهای جانبی کمترین نیاز را داشته باشد.

۲- روش‌های تعیین موقعیت

به‌طورکلی روش‌های تعیین موقعیت متحرک در چهار گروه اصلی طبقه‌بندی می‌شوند که عبارت‌انداز:

۱. تعیین موقعیت ماهواره‌ای شامل سیستم تعیین موقعیت جهانی[1] (Chiang, 2008: 2; Landry, 2005: 3)، سیستم ناوبری ماهواره‌ای جهانی[2] (Sand, 2007: 2; Lee, 2008: 3) و تعیین موقعیت ماهواره‌ای با سیستم گالیله[3] (Landry, 2005: 4).

۲. سیستم ناوبری ماندی (اینرشیال[4]) (Chiang, 2008: 3).

۳. تعیین موقعیت درون خودرو شامل سیستم دی- ار[5] (Haibo, 2008: 2).

1. Global Positioning System: GPS
2. Global Navigation Satellite System: GNSS
3. Galileo
4. Inertial Navigation System: INS
5. Dead Reckoning: DR

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-25]

٤. تعیین موقعیت با شبکه‌های سیّار مخابراتی شامل تعیین موقعیت با شبکه‌های موبایل[1] (Sayed, 2005: 4)، قدرت و شدت سیگنال دریافت‌شده[2] (Ahmad, 2008: 3)، وابستگی پایگاه داده[3] (Sayed, 2005: 3)، اختلاف زمانی مشاهده‌شده[4] (Zhan, 1996: 4)، زمان ورود[5] (Mrabti, 2004: 5)، اختلاف زمان ورود[6] (Bishop, 2008: 2)، زاویهٔ ورود[7] (Bishop, 2008: 3)، زمان‌سنجی پیشرفته[8] (Sayed, 2005: 5) و مثلث‌بندی به‌هم‌پیوستهٔ رو به جلو[9] (Sayed, 2005: 6). جدول شماره یک این روش‌ها را به اختصار معرّفی می کند. در این جدول «بی تی اس[10]» معرّف یک ایستگاه مبنای بی‌سیم و «ام اس[11]» معرّف دستگاه موبایل است.

جدول۱ تکنولوژی‌های تعیین موقعیت

تعیین. موقعیت ماهواره‌مبنا	GPS	سیستم تعیین موقعیت جهانی ماهواره‌ای است که از سوی وزارت دفاع آمریکا اجرا شده و دارای قابلیت تعیین موقعیت لحظه‌ای در روی زمین یا بالای آن است.
	A-GPS	با استفاده از یک سرور کمکی (مانند شبکه سلولی مخابرات) به عملکرد جی‌پی‌اس در تعیین موقعیت نقاط کمک می‌کند.
	GNSS	سیستم تعیین موقعیت جهانی ماهواره‌ای است که روسیه آن را اجرا کرده است. این سیستم به دلیل پرهرینه بودن گیرنده و نبود تجربهٔ کافی نسبت به جی‌پی‌اس اهمیت کمتری دارد.
	Galileo	سیستم تعیین موقعیت جهانی ماهواره‌ای است که اتحادیه اروپا آن را طراحی کرده ولی هنوز به بهره‌برداری تجاری نرسیده است.
سیستم ناوبری ماندی	INS	به طور مستقل موقعیت، سرعت و زمان حرکت یک متحرک را فراهم می‌کند و از سه ژیروسکوپ (جهت توجیه محورهای مختصات) و سه شتاب‌سنج (جهت اندازه‌گیری شتاب) تشکیل شده است.

1. Cellular Location: CL
2. Received Signal Strength: RSS
3. Database Correlation: DC
4. Observed Time Difference: OTD
5. Time of Arrival: TOA
6. Time Difference of Arrival: TDOA
7. Angle of Arrival: AOA
8. Timing Advance: TA
9. Enhanced Forward Link Triangulation: E-FLT
10. Base Transmission Station: BTS
11. Mobile Service: MS

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-25]

ادامهٔ جدول ۱

تعیین موقعیت درون خودرو	DR	سیستمی که از یک مسافت‌یاب دیفرانسیلی تشکیل شده است و معمولاً در وسایط نقلیهٔ زمینی از آن استفاده شده و بر اساس فاصله ثبت می‌شود و مدل‌های ریاضی، موقعیت متحرک را در هر لحظه به طور نسبی تعیین می‌کند.
تعیین موقعیت با شبکه‌های مخابراتی	OTD	در این روش، سیگنال‌ها دست‌کم از سه بی‌تی‌اس مشاهده می‌شوند که مکان آن‌ها ثابت است و موقعیتشان با مثلث‌بندی محاسبه می‌شود. در این روش تلفن‌های همراه به ارتقای سخت‌افزاری نیاز دارند.
	TOA	سیگنال اماس دست‌کم با سه بی‌تی‌اس دریافت می‌شود که به‌صورت مستقل زمان ورود را اندازه‌گیری می‌کند و اطلاعات را به محل محاسبات می‌فرستد. شبکه باید ارتقا و سیگنال‌ها افزایش پیدا کنند.
	TDOA	دست‌کم سه بی‌تی‌اس سیگنال‌های متحرک را مشاهده می‌کنند. تخمین موقعیت بر اساس اختلاف زمانی‌ای است که بین جفت‌های مکانی می‌رسد. هم‌زمانی دقیق بین تمام بی‌تی‌اس ها نیز لازم است.
	AOA	آرایه های هندسی مخصوص آنتن و گیرنده‌های موقعیت در بی‌تی‌اس، زاویهٔ ورود سیگنال متحرک را تعیین می‌کنند و به دست‌کم ۲ بی‌تی‌اس نیاز است. به هیچ تغییری نیز در دستگاه موبایل نیاز نیست.
	DC	موقعیت متحرک با تطابق سیگنال‌هایی که به‌وسیلهٔ یک یا چند بی‌تی‌اس دریافت شده است، از طریق پایگاه داده‌ها مشخص می‌شود.
	TA	طی برقرار کردن ارتباط، متحرک زمان‌های مشخص را با بی‌تی‌اس‌های ارائه‌دهنده یکی می‌کند و آن را به‌عنوان اندازه‌گیری فاصله‌اش نسبت به بی‌تی‌اس در نظر می‌گیرد. با این شبکه حداقل سه اندازه‌گیری با بی‌تی‌اس‌های مختلف ساخته شده است و موقعیت از طریق مثلث‌بندی حل می‌شود.
	E-FLT	در ابتدا بر روی اختلاف زمان ورود پایه‌گذاری شد و از سیگنال‌های روبه‌جلو، که متحرک دریافت می‌کند، استفاده می‌کرد. در ادامه به وسیله روش‌های مکمل ارتقای داده شده و اکنون از تطابق مشخصات فرکانس‌های رادیویی با مدل‌های آماری و اندازه‌گیری‌های تأخیر دوره زاویهٔ ورود استفاده می‌کند.
روش‌های ترکیبی	TDOA:RSS	در اینجا از ورودی‌های راه‌های چندگانه برای بهبود قوت و پوشش استفاده می‌شود. به‌علاوه با استفاده از روش‌های ترکیب‌یاد شده می‌توان دقت تعیین موقعیت را افزایش داد.
	TDOA:AOA	
	OTD:A-GPS	
	MM:GPS	

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-25]

همان گونه که ذکر شد، انتخاب روش تعیین موقعیت مناسب در بین این روش‌ها، تابع پارامترهای متعددی است که در نظر نگرفتن هر یک از آن‌ها موجب محدود شدن استفاده از سیستم و در نهایت ضعف اجرایی آن خواهد شد (Zhao, 1997: 32). در عین حال بهینه کردن تمام پارامترها برای تمام کاربردهای سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند، با توجه به تکنولوژی‌های موجود، عملاً امکان‌پذیر نیست. بنابراین باید تا حدّ امکان از در نظر گرفتن پارامترهای کم‌اهمیت پرهیز کرد و مهم‌ترین و تأثیرگذارترین آن‌ها را مورد بررسی قرار داد و سرانجام معماری و انتخاب سیستم را در راستای تأمین آن‌ها انجام داد.

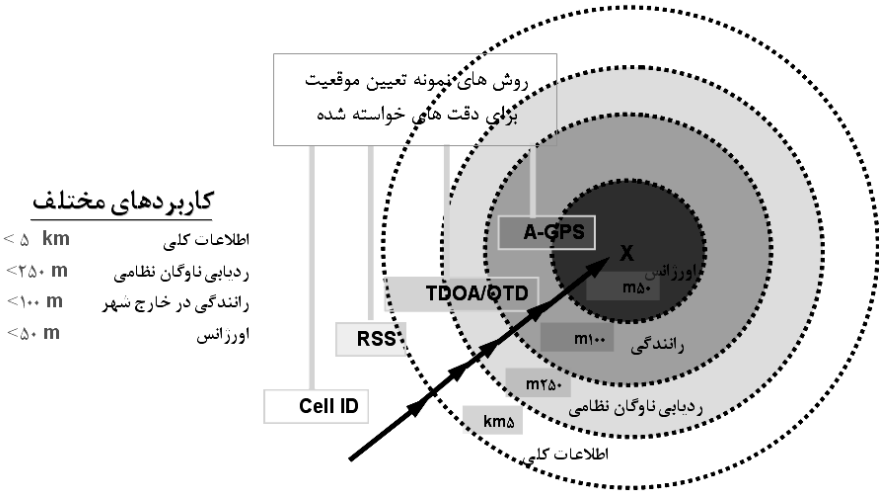
۱-۲- پارامترهای انتخاب روش تعیین موقعیت

روش تعیین موقعیت بهینه با توجه به نوع کاربرد، معماری و اهداف سیستم متفاوت است. از آنجا که هدف این مقاله، طراحی و اجرای یک سیستم اطلاعات جغرافیایی مکانمند- زمانمند با تأکید بر سیستم حمل‌ونقل هوشمند است؛ بنابراین در انتخاب روش تعیین موقعیت بهینه، پارامترهایی در نظر گرفته شده است که تقریباً در تمام کاربردهای مدیریت حمل‌ونقل و ترافیک اهمیت بالای اجرایی دارند. دقت و صحت، میزان پوشش و هزینه، پارامترهای مورد نظر هستند که اهمیت ویژه‌ای در حمل‌ونقل دارند و در این مقاله بررسی می‌شوند.

۱-۱-۲- دقت و صحّت تعیین موقعیت

دقت، میزان دقیق بودن اندازه‌گیری و صحت، میزان صحیح بودن دقت در تمام وضعیت‌ها را بیان می‌کند. دقت و صحت اولین و مهم‌ترین بحث تمام روش‌های تعیین موقعیت است. شکل شماره یک به صورت شماتیک و تقریبی، کمترین میزان دقت مورد نیاز کاربردهای مختلف را با صحت ۹۵ درصد نمایش می‌دهد. برای مثال، در این شکل دقت مورد نیاز برای مدیریت حمل‌ونقل در شرایط خارج از شهر زیر ۱۰۰ متر در ۹۵ درصد زمان و مکان برآورد شده است.

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-25]



شکل۱ تعیین موقعیت متناسب برای کاربردهای مختلف

اعداد این شکل از گزارش‌های کمیتهٔ ارتباطات دولت فدرال[1] استخراج شده و بیان‌کنندهٔ کمترین دقت مورد نیاز است. مسلّم است که در برخی شرایط و با توجه به توابع کاربردی که در اهداف سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند مدّ نظر قرار می‌گیرد، این اعداد قابل تغییر خواهد بود. در بررسی دقت و صحت موارد زیر قابل توجه است:

الف) بیشتر روش‌های تعیین موقعیت در زمین‌های صاف و محیط‌های برون‌شهری بهتر عمل می‌کند. اما راه‌حل‌هایی نیز برای بهبود دقت آن‌ها در محیط‌های شهری وجود دارد. برای مثال، ای‌جی‌پی‌اس به دلیل اینکه از شبکهٔ بی‌سیم برای فراهم کردن اطلاعات کمکی به گیرنده‌های جی‌پی‌اس در دستگاه‌ها استفاده می‌کند، راه مناسبی برای افزایش دقت جی‌پی‌اس در محیط‌های شهری است. ترکیب روش جی‌پی‌اس و سیستم تناظریابی نقشه‌ای نیز می‌تواند دقت تعیین موقعیت در مناطق شهری را به نحو مطلوبی افزایش دهد.

ب) در تعیین موقعیت با استفاده از شبکه‌های مخابراتی اساساً به دلیل نوع روش‌های تعیین موقعیت‌کننده بعد ارتفاعی مطرح نیست و به‌طور کلی دقت تابع فاصلهٔ بین بی‌تی‌اس‌هاست؛ در

1. Federal Communications Commisions: FCC

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-25]

مناطق خارج شهر با توجه به فاصلهٔ زیاد بی‌تی‌اس‌ها دقت تعیین موقعیت کم است و به بیش از صد متر می‌رسد.

ج) در روش‌های درون خودرو، دقت تعیین موقعیت به حساسیت و دقت سنسورهای به‌کاررفته در خودرو وابستگی زیادی دارد. این روش در شرایطی خاص و با استفاده از سنسورهای دقیق می‌تواند دقت‌های مطلوبی ارائه کند؛ ولی به‌طور کلی روش دقیقی نیست.

د) سیستم ناوبری ماندی (اینرشیال) از سه ژیروسکوپ و سه شتاب‌سنج در راستای سه محور عمود برهم تشکیل می‌شود. این سیستم خودکار و مستقل از منابع خارجی (مثلاً ماهواره) است. سیستم نام‌برده هنگامی‌که در فواصل زمانی کوتاه با حجم اطلاعاتی ٦٤ هرتز استفاده می‌شود، دقتی مشابه جی‌پی‌اس فراهم می‌کند. بنابراین از این سیستم فقط در شرایطی خاص می‌توان انتظار دقت بالا داشت و به‌طور کلی روش دقیقی برای تعیین موقعیت نیست.

ه) روش‌های ماهواره‌ای در خارج شهر دارای دقت بسیار مطلوبی هستند. همچنین با توجه به اینکه این روش‌ها مختص تعیین موقعیت طراحی شده‌اند، داخل شهر نیز می‌توان از آن‌ها انتظار دقت بالا داشت (به‌ویژه درحالی‌که به‌صورت ترکیبی استفاده می‌شوند). بنابراین از نظر دقت، روش‌های ماهواره‌ای مناسب‌تر از روش‌های دیگر هستند.

۲-۱-۲- میزان پوشش

انتخاب پوشش روش‌های تعیین موقعیت برای مکان‌ها و زمان‌های مختلف اهمیت دارد؛ اما نحوهٔ پوشش هرکدام از روش‌ها متفاوت است. در این‌باره، می‌توان به این موارد اشاره کرد:

الف) روش‌های درون خودرو و ناوبری ماندی (اینرشیال) به صورت مستقل عمل می‌کند و در تمام مکان‌ها می‌تواند استفاده شود.

ب) با دقت در میزان پوشش شبکه‌های داخلی مخابرات (اعم از همراه اول و ایرانسل) مشخص می‌شود که در حال حاضر، این شبکه‌ها در خیابان‌های مناطق داخل شهری دارای پوشش نسبتاً خوبی است؛ اما در برخی نقاط خارج شهری و راه‌های غیراصلی دارای نقاط کور است. بنابراین، در برآورد پارامتر میزان پوشش روش‌های مطلوبی نیستند.

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-25]

ج) روش‌های ماهواره‌ای در مناطق بیرون از شهر عملکرد کاملاً بهتری دارد، ضمن اینکه دارای پوشش جهانی است؛ بنابراین از لحاظ برآورد پارامتر میزان پوشش مطلوب به‌نظر می‌رسد. به این ترتیب از نظر میزان پوشش، روش‌های ماهواره‌ای، درون خودرو و ناوبری ماندی روش‌های مناسبی به‌شمار می‌آیند.

۲-۱-۳- هزینه

هزینهٔ سیستم‌های تعیین موقعیت از دو دیدگاه هزینهٔ مجری سیستم و هزینهٔ کاربر بحث و ارزیابی می‌شود.

۱-۳-۱-۲- هزینهٔ مجری سیستم

الف) در تعیین موقعیت با استفاده از شبکه‌های مخابراتی، هزینهٔ مجری بسیار بالا، و شامل هزینه‌های طراحی، تهیه، نصب، نگهداری و توسعه است. در شبکه‌های مخابراتی هدف اصلی، ارتباطات است و تعیین موقعیت با استفاده از آن‌ها، تقریباً یک کاربرد جانبی به‌شمار می‌آید. جهت اضافه کردن امکان تعیین موقعیت به این شبکه‌ها، سخت‌افزارهای جداگانه‌ای باید به سیستم‌های مخابراتی اضافه شود. هزینهٔ این قسمت غیر از روش قدرت و شدت سیگنال، بالاست و با توجه به نوع شبکهٔ مخابراتی سیار متفاوت است.

ب) سیستم‌های درون خودرو و ناوبری ماندی (اینرشیال) به‌صورت مستقل عمل می‌کند و استفاده از آن‌ها هزینهٔ مجری را دربرندارد.

ج) سیگنال‌های سیستم تعیین موقعیت جهانی، سیستم ناوبری ماهواره‌ای جهانی و در آینده تعیین موقعیت ماهواره‌ای با سیستم گالیله رایگان است و استفاده از آن‌ها هزینه‌ای ندارد. بنابراین استفاده از روش‌های تعیین موقعیت ماهواره‌ای، درون خودرو و ناوبری ماندی (اینرشیال) از نظر هزینهٔ مجری سیستم، مقرون به صرفه خواهد بود.

۲-۳-۱-۲- هزینهٔ کاربر

هزینهٔ کاربر شامل هزینهٔ سخت‌افزار و هزینهٔ اشتراک (در بعضی موارد) است. هزینهٔ سخت‌افزار در تمام روش‌های تعیین موقعیت وجود دارد و باید نسبت به دقتی که هر روش

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-25]

دارد، سنجیده شود. هزینهٔ سخت‌افزاری سیستم‌های ناوبری ماندی (اینرشیال) و سیستم‌های درون خودروی با دقت بالا در مقایسه با روش‌های دیگری که دقتی معادل آن‌ها دارند، به‌طور چشمگیری بیشتر است. از سوی دیگر هزینهٔ سخت‌افزاری روش‌های تعیین موقعیت ماهواره‌ای در مقایسه با شبکه‌های مخابراتی که دقتی معادل آن‌ها دارند، تقریباً (با اندکی تفاوت) به یک اندازه است؛ اما استفاده‌کنندگان از روش شبکهٔ مخابراتی موظف‌اند هزینهٔ اشتراک را نیز بپردازند که این امر در روش‌های ماهواره‌ای رایگان است. درمجموع هزینهٔ روش‌های تعیین موقعیت ماهواره‌ای از سایر روش‌ها کمتر، و از نظر اقتصادی توجیه‌پذیرتر است.

به‌طور کلی با دقت در این پارامترها مشخص می‌شود که روش‌های ماهواره‌ای به دلیل دقت زیاد، پوشش جهانی و قابلیت جواب‌گویی به کاربران نامحدود، از ارزش‌های بالاتری برخوردار است. از این میان، سیستم‌های گالیله به دلیل اینکه در حال حاضر وجود ندارد و سیستم ناوبری ماهواره‌ای جهانی به دلیل پرهزینه بودن گیرنده و نبود تجربهٔ کافی، اهمیت کمتری دارد. به این ترتیب، جی‌پی‌اس مناسب‌ترین روش تعیین موقعیت در سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند در ایران است. البته سابقهٔ استفاده از جی‌پی‌اس در سیستم‌های حمل‌ونقل خارج کشور نیز تأیید می‌کند که جی‌پی‌اس روش قابل‌قبولی برای تعیین موقعیت سیستم حمل‌ونقل هوشمند است.

۳- اجرای سیستم اطلاعات جغرافیایی مکانمند- زمانمند با استفاده از تکنولوژی جی‌پی‌اس

در این بخش مراحل اجرای سیستم اطلاعات جغرافیایی مکانمند- زمانمند نمونه ارائه شده است. این سیستم نمونه از تکنولوژی جی‌پی‌اس استفاده کرده و برای بالا بردن دقت تعیین موقعیت خود از روش تناظریابی نقشه‌ای بهره برده است. تمام طراحی‌ها و برنامه‌نویسی‌های این سیستم نمونه را محققان مقاله انجام داده و آن را «ای‌اس‌تی‌جی‌آی‌اس[1]» نام‌گذاری کرده‌اند. این سیستم توانایی پایش بلادرنگ اجسام متحرک، قابلیت‌های کارتوگرافی و ویرایشی و انجام آنالیز مسیریابی مکانمند- زمانمند را با استفاده از الگوریتم دایجسترا دارد. جسم متحرک

1. Example of Spatio-Temporal Geographical Information System: ESTGIS

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-25]

می‌تواند هر نوع وسیلهٔ نقلیه موتوری اعم از کامیون، اتوبوس، اتومبیل و... باشد و اطلاعات مکانی (طول و عرض جغرافیایی) و زمانی این اجسام متحرک از جی‌پی‌اس دریافت می‌شود.

۱-۳- تهیهٔ اطلاعات مکانی و توصیفی

نقشه‌های رقومی ۱:۲۰۰۰ شهری مرکز اطلاعات جغرافیایی شهر تهران در محدودهٔ میدان ونک به‌عنوان اطلاعات مکانی پایه، و زمان عبور، زمان تأخیر، طول خیابان، کد خیابان و نام خیابان به‌عنوان اطلاعات توصیفی پایه در نظر گرفته شده‌اند. این اطلاعات پس از مرحلهٔ آماده‌سازی، به همدیگر منتسب می‌شوند و پایگاه اطلاعات مکانی را تشکیل می‌دهند.

۲-۳- تلفیق سیستم تعیین موقعیت و سیستم اطلاعات جغرافیایی

در این مرحله، ابتدا وسیلهٔ نقلیهٔ در حال حرکت از طریق گیرندهٔ جی‌پی‌اس تعیین موقعیت می‌شود، سپس اطلاعات موقعیتی به‌دست‌آمده در پایگاه داده اکسس (به‌دلیل سادگی و کارایی بالا) ذخیره می‌شود. در این حالت نرم‌افزار «ای‌اس‌تی‌جی‌آی‌اس» به پایگاه داده اکسس متصل می‌شود. زمان‌سنج برنامه با فاصلهٔ زمانی دو ثانیه (برابر با زمان به‌هنگام شدن داده‌های جی‌پی‌اس مورد استفاده در تحقیق) شروع به عمل می‌کند. در این حالت اولین رکورد اطلاعاتی پایگاه داده پردازش می‌شود و فیلدهای اطلاعاتی Y و X وسیلهٔ نقلیه (در مختصات یوتی‌ام) استخراج، و به‌عنوان یک شیء گرافیکی در محیط «ای‌اس‌تی‌جی‌آی‌اس» نمایش داده می‌شود. در این حالت اولین مرحلهٔ ایجاد سیستم اطلاعات جغرافیایی مکانمند- زمانمند نمونه، که برقراری ارتباط بین نرم‌افزار و سیستم تعیین موقعیت جی‌پی‌اس است، به‌پایان می‌رسد.

در مرحلهٔ بعد با توجه به اهمیت آنالیز مسیریابی در سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند سعی شد تا مدل مسیریابی مکانمند- زمانمند اجرا شود. اما برای انجام دادن این آنالیز، موقعیت وسیلهٔ نقلیه در هر لحظه باید در خیابان‌ها به‌طور دقیق نشان داده شود. از طرفی دقت تعیین موقعیت وسیلهٔ نقلیه با جی‌پی‌اس در این تحقیق حدود پنج متر بوده است. این موضوع سبب می‌شد سیستم به جای نمایش حرکت وسیلهٔ نقلیه روی خیابان، در برخی موارد آن را روی

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-25]

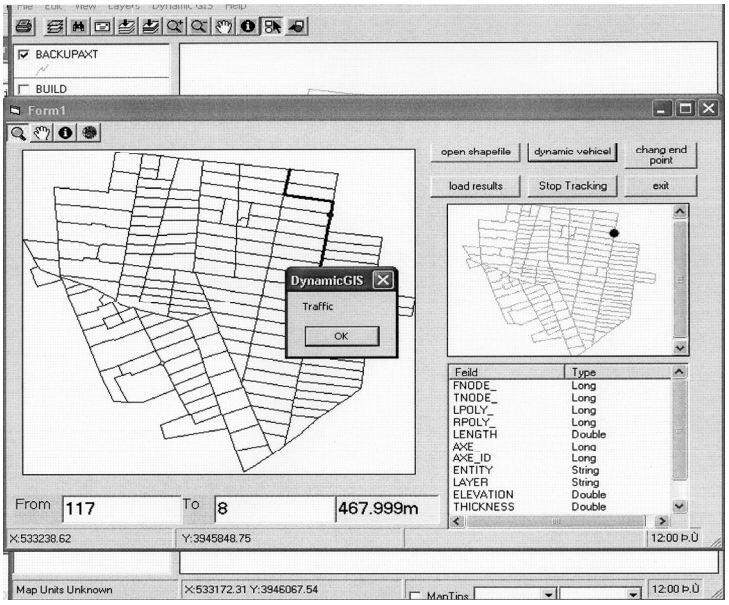
ساختمان‌های اطراف نشان دهد؛ اما از روی ساختمان که عارضه‌ای سطحی است، نمی‌توان آنالیز مسیریابی را که بر روی عوارض خطی انجام می‌شود اجرا کرد.

برای برطرف کردن این مشکل، از روش تناظریابی نقشه‌ای در کنار جی‌پی‌اس استفاده شد. ایدهٔ اصلی تناظریابی نقشه‌ای، مقایسهٔ مسیر حرکت متحرک در برابر خیابان‌های نزدیک به محل حرکت وسیلهٔ نقلیه است. برای مثال، وسیله‌ای که در حال حرکت در خیابان الف است، ناگهان به علت خطاهای موجود در جی‌پی‌اس روی ساختمان‌های اطراف یا خیابانی دیگر که نزدیک خیابان الف است نشان داده می‌شود. در این حالت با مقایسهٔ مسیر قبلی حرکت با موقعیت فعلی وسیلهٔ نقلیه، موقعیت متحرک از روی ساختمان مورد نظر حرکت داده، و در جای درست خود نمایانده می‌شود (Zhao, 1997: 21).

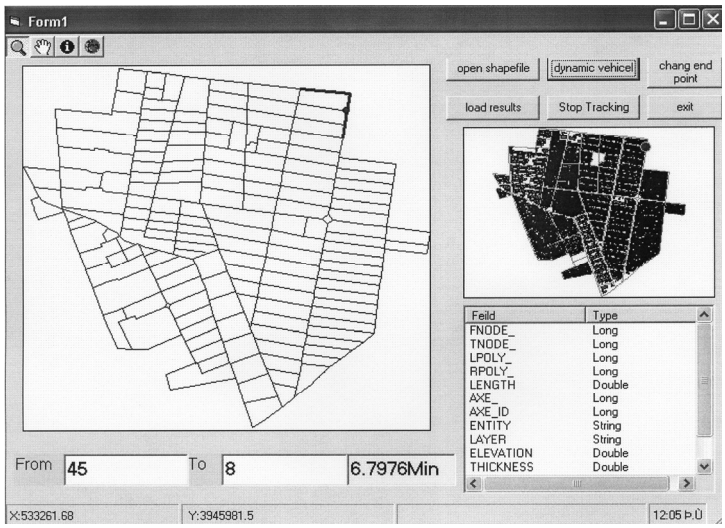
با اجرای این روش مشخص شد که در محل تقاطع خیابان‌ها، سیستم در برخی مواقع همچنان در تشخیص محل صحیح خودرو دچار مشکل می‌شود و نمی‌تواند مسیر درست را تشخیص دهد. برای حلّ این مشکل، قانونی در سیستم گنجانده شد؛ به این صورت که در محل‌های تقاطع، تا سه رکورد متوالی موقعیت وسیلهٔ نقلیه نمایش داده نشود و پس از آن (براساس سه رکورد یادشده) خیابانی که محل حرکت صحیح وسیلهٔ نقلیه است مشخص، و موقعیت وسیلهٔ نقلیه روی آن نشان داده شود.

پس از نمایش دقیق حرکت وسیلهٔ نقلیه بر روی نقشهٔ رقومی موجود در ماشین، سیستم در ابتدا مسیریابی اولیه‌ای را براساس کمترین فاصلهٔ دسترسی بین مبدأ و مقصد انجام می‌دهد. با توجه به اینکه این مسیریابی از نوع یک‌به‌یک است (یک مبدأ، یک مقصد) و الگوریتم مسیریابی دایجسترا در این مواقع با داشتن پیچیدگی زمانی کمتری نسبت به سایر الگوریتم‌های مسیریابی جواب سریع‌تری ارائه می‌دهد (Zhan, 1996: 6)، مسیریابی‌ها در سیستم براساس این الگوریتم مدل‌سازی و انجام می‌شود. زمانی‌که وسیلهٔ نقلیه در ترافیک قرار می‌گیرد، راننده گزینهٔ ترافیک را روی سیستم انتخاب می‌کند. در این حالت سیستم «ای‌اس‌تی‌جی‌آی اس» متوجه وقوع ترافیک می‌شود و از محل فعلی وسیلهٔ نقلیه، مسیریابی جدیدی را از اولین تقاطع موجود در روی نقشه براساس کمترین زمان دست‌یابی به مقصد انجام می‌دهد. در این حالت کوتاه‌ترین مسیر بر روی شبکهٔ راه‌های موجود به‌صورت گرافیکی نمایان می‌شود (شکل‌های ۲ و ۳). در اینجا جهت یافتن کوتاه‌ترین مسیر براساس کمترین زمان، از زمان تأخیر و عبوری هر مسیر استفاده شده است.

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-25]

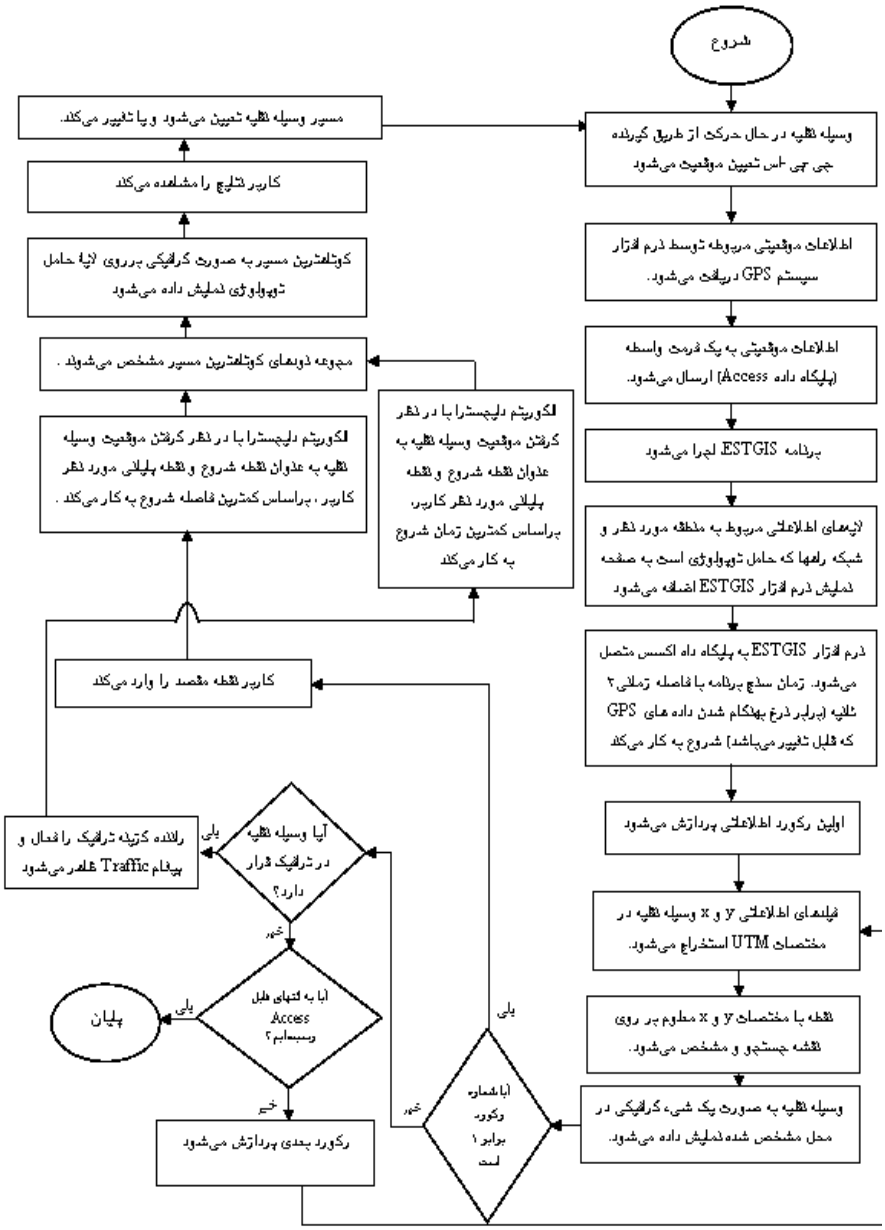


شکل ۲ نمایی از مسیریابی براساس کمترین فاصله و قرارگیری در ترافیک



شکل۳ نمایی از مسیریابی براساس کمترین زمان

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-25]



شکل ۴ فلوچارت طراحی نرم‌افزار ای‌اس‌تی‌جی‌آی‌اس

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-25]

۳-۳. تجزیه و تحلیل سیستم طراحی‌شده

با اینکه این تحقیق به دستاوردهای محکم و قابل‌توجهی دست یافته است، مسائل و مشکلاتی نیز در طراحی سیستم یادشده مشاهده می‌شود که جزء ضعف‌های سیستم است. تلاش برای کاهش این ضعف‌ها، درهای جدیدی را برای تحقیق بیشتر در این زمینه می‌گشاید. یکی از مهم‌ترین مشکلات سیستم، زمان انجام عملیات مسیریابی در حالتی است که محدودهٔ شهرها و به‌تبع آن تعداد تقاطع خیابان‌ها افزایش می‌یابد. بدیهی است که در این حالت زمان پردازش بالا می‌رود و از کارایی سیستم طراحی‌شده کاسته می‌شود. مشکل دیگر، ناکارایی الگوریتم تناظریابی نقشه‌ای استفاده‌شده در متن مقاله در برخی شرایط خاص است. استفاده از الگوریتم تناظریابی نقشه‌ای به‌کارگرفته‌شده در مقاله، سیستم طراحی‌شده را از لحاظ اقتصادی کاملاً مقرون‌به‌صرفه می‌کند و در بسیاری از حالت‌ها دقت موردنیاز سیستم را نیز تأمین می‌کند؛ ولی ممکن است در برخی حالت‌های خاص این الگوریتم دقت مورد نیاز را فراهم نکند و باعث ناکارایی مناسب سیستم نهایی شود (در مواقعی که به دلایلی دقت تعیین موقعیت با جی‌پی‌اس بیش از حد پایین آید). از این مشکل با توجه به صرفه‌جویی اقتصادی‌ای که استفاده از این الگوریتم به دنبال خواهد داشت، می‌توان صرف‌نظر کرد؛ اما اگر بتوان کارایی الگوریتم تناظریابی نقشه‌ای را با روش‌های دیگری مانند استفاده از منطق فازی بالا برد، می‌توان تا حدود زیادی بر مشکل مطرح‌شده غلبه کرد.

۴- نتیجه‌گیری

یکی از روش‌های دست‌یابی به سیستم اطلاعات جغرافیایی مکانمند- زمانمند، ترکیب تکنولوژی‌های تعیین موقعیت با سیستم اطلاعات جغرافیایی است. بیشترین مورد استفاده از آن در سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند و کنترل ترافیک است. روش‌های مختلفی برای تعیین موقعیت هر متحرک وجود دارد که عبارت‌انداز: تعیین موقعیت ماهواره‌ای، سیستم ناوبری ماندی (اینرشیال)، سیستم دی- آر و تعیین موقعیت با شبکه‌های سیار مخابراتی.

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-25]

انتخاب روش تعیین موقعیت بهینه، با تغییر در نوع کاربرد، معماری، دقت و اهداف سیستم متفاوت خواهد بود. در این مقاله پارامترهای دقت، صحت، میزان پوشش و هزینه که در تمام اهداف سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند مشترک‌اند و اهمیت ویژه‌ای دارند، برای انتخاب بهترین روش تعیین موقعیت در ایران بررسی شده‌اند. در بین این روش‌ها، تعیین موقعیت ماهواره‌ای جی‌پی‌اس مناسب‌تر از سایر روش‌ها شناخته شد. پس از مشخص شدن بهترین تکنولوژی تعیین موقعیت برای اهداف حمل‌ونقل هوشمند در ایران، یک سیستم اطلاعات جغرافیایی مکانمند- زمانمند با استفاده از تکنولوژی معرّفی‌شده (جی‌پی‌اس) طراحی و اجرا شد. این سیستم را به‌طور کامل نویسندگان مقاله طراحی کرده‌اند و دارای قابلیت‌های ویرایشی، کارتوگرافی، تناظریابی نقشه‌ای و آنالیز مسیریابی مکانمند- زمانمند است.

در اینجا به پژوهشگران علاقه‌مند به فعالیت در این حوزه پیشنهادهایی ارائه می‌شود؛ ازجمله توسعهٔ تناظریابی نقشه‌ای مطرح‌شده در تحقیق با استفاده از منطق فازی، بهینه‌سازی الگوریتم مسیریابی برای کاهش زمان مسیریابی در زمانی‌که تعداد تقاطع‌های خیابان‌ها افزایش می‌یابد، اجرای الگوریتم مسیریابی تحقیق برای اتومبیل‌های خودکار و بدون سرنشین، توسعهٔ سایر آنالیزهای سیستم اطلاعات جغرافیایی مانند یافتن نزدیک‌ترین ایستگاه خدمات (برای نمونه پمپ بنزین) به وسیلهٔ نقلیه در هر لحظه با توجه به تغییر موقعیت خودرو.

۵- منابع

- Ahmad, U., A. Gavrilov, S. Lee and Y. Lee. (2008). "A Modular Classification Model for Received Signal Strength Based Location Systems". *Neurocomputing*. 71 (13-15), PP. 2657-2669. DOI: 10.1016/j.neucom.2007.11.045.

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-25]

- Alder, J., G. Satapathy, V. Manikonda, B. Bowles and V. Blue. (2005). "A Multi-agent Approach to Cooperative Traffic Management and Route Guidance". *Transportation Research Part B: Methodological*. 39 (4), PP. 297–318. DOI: 10.1016/j.trb.2004.03.005.
- Aved, A., A. Ho, K. Hua, L. Hoang and G. Hamza-Lup. (2006). "A Mobile Computing Approach to Automatic Traffic Evacuation Management". *The 9th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems*. Toronto, Canada.
- Bishop, A., B. Fidan, K. Dogancay, B. Anderson and P. Pathirana. (2008). "Exploiting Geometry for Improved Hybrid AOA/TDOA Based Localization". *Signal Processing*. 88 (7), PP. 1775-1791. DOI: 10.1016/j.sigpro.2008.01.015.
- Byon, Y., A. Shalaby, B. and B. Abdulhai. (2006). "Travel Time Collection and Traffic Monitoring Via GPS Technologies". *The 9th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems*. Toronto, Canada.
- Chiang, K. and Y. Huang. (2008). "An Intelligent Navigator for Seamless INS/GPS Integrated land Vehicle Navigation Applications". *Applied Soft Computing*. 8 (1), PP. 722-733. DOI: 10.1016/j.asoc.2007.05.010.
- Claramunt, C., E. Peytchev and A. Bargiela. (1999)."A Real-Time GIS for the Analysis of a Traffic System". *Africon IEEE*. 1 (1), PP. 15-20, DOI: 10.1109/AFRCON.1999.820669.

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-25]

- Daganzo, C. (2002)."Reversibility of the Time-Dependent Shortest Path Problem". *Transportation Research Part B: Methodological*. 36 (7), PP .665–668. DOI: 10.1016/S0191-2615 (01) 00012-1.
- Fu, L. (2001). "An adaptive routing algorithm for in-vehicle route guidance systems with real-time information". *Transportation Research Part B: Methodological*. 35 (8), PP. 749–765. DOI: 10.1016/S0191-2615.(00)00019-9.
- Haibo, M., Z. Liguo and C. Yangzhou. (2008). "Recurrent Neural Network for Vehicle Dead-reckoning". *Journal of Systems Engineering and Electronics*.19 (2), PP. 351-355. DOI: 10.1016/S1004-4132(08)60091-2.
- Landry, R., P. Boutin and A. Constantinescu. (2005). "New anti-jamming technique for GPS and GALILEO receivers using adaptive FADP filter". *Digital Signal Processing*. 16 (3), PP. 255-274. DOI: 10.1016/j.dsp.2005.04.015.
- Lee, Y., Y. Suh and R. Shibasaki. (2008). "A Simulation System for GNSS Multipath Mitigation Using Spatial Statistical Methods" *Computers & Geosciences* 34 (11), PP. 1597-1609. DOI: 10.1016/j.cageo.2008.01.004.
- Mrabti, F., M. Elhajjami and M. Zouak. (2004). "Performance Analysis of Joint DOA/TOA Estimator". *Signal Processing*. 84 (8), PP. 1359-1365, DOI: 10.1016/j.sigpro.2004.05.010.
- Nadi, S. and M. Delavar. (2003)."Spatio-Temporal Modeling of Dynamic Phenomena in GIS". *Proceedings title: ScanGIS*. The 9th

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-25]

Scandinavian Research Conference on Geographical Information Science, Espoo, Finland, PP. 215-225.

- Qiang, L., X. Yang and H. Wei. (2006). "Integrating Traffic Simulation Models with Evacuation Planning System in a GIS Environment". *The 9th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems*. Toronto, Canada.
- Roshannejad, A. (1996). "The Management of Spatio-Temporal Data in a National Geographic Information System". *Ph.D. Thesis*. University of Twente, PP. 35-50.
- Sand, S., C.Mensing, S. Ancha and G. Bell. (2007)."Communications and GNSS Based Navigation: A Comparison of Current and Future Trends". *Mobile and Wireless Communications Summit*. PP. 16 (1-5), 1-5, DOI: 10.1109/ISTMWC.2007.4299058.
- Sayed, A., A. Tarighat and N. Khajehnouri. (2005). "Network-Based Wireless Location: Challenges Faced in Developing Techniques for Accurate Wireless Location Information". *IEEE Signal Processing Magazine*. 22 (4), PP. 24-40, DOI: 10.1109/MSP.2005.1458275.
- Vafaeinezhad, A.R., A. A. Alesheikh and J. Nouri. (2010)."Developing a Spatio-Temporal Model of Risk Management for Earthquake Life Detection Rescue Team". *International Journal of Environmental Science and Technology*. 7 (2), PP. 243-250.
- Wahle, J., O. Annen, C. Schuster, L. Neubert and M. Schreckenberg. (2001)."A dynamic route guidance system based on real traffic data". *European Journal of Operational Research*. 131. (2), PP. 302-308. DOI: 10.1016/S0377-2217(00)00130-2.

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-25]

- Zhan, F. (1996). "Three Fastest Shortest Path Algorithms on Real Road Networks: Data Structures and Procedures. *Journal of Geographic Information and Decision Analysis*. 1 (1), PP. 69-82.
- Zhao, Y. (1997). "Vehicle Location and Navigation System". *Artech House*. Inc., PP. 183-202.

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-25]