

بررسی تأثیر کاهش نویز مشاهدات مغناطیس سنج، ژيروسکوپ و شتابسنج در بهبود تعیین موقعیت وسیله نقلیه با الگوریتم فیلتر کالمن

کبری بزرگ‌نیا^۱

هانی رضائیان^۲

جواد سدیدی^۳

تاریخ دریافت مقاله: ۹۹/۰۵/۰۶

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۹/۱۱/۱۸

چکیده

دقت تعیین موقعیت به کیفیت تکنولوژی مورد استفاده بستگی دارد. در حالی که استفاده از تکنولوژی‌های ارائه‌دهنده کیفیت بالای تعیین موقعیت مستلزم صرف هزینه زیاد و داشتن تخصص بالا جهت استفاده می‌باشد، عمدتاً تکنولوژی با کیفیت و قیمت پایین تعیین موقعیت ماهواره‌ای (GPS) و حسگرهای وضعیتی استفاده می‌شوند که در قالب گوشی‌های هوشمند به صورت فراگیر در دسترس می‌باشند. یکی از نکات متمایز این تکنولوژی‌های ارزان قیمت، میزان تأثیرپذیری آن‌ها از عوامل تولیدکننده نویز می‌باشد. در این مقاله تأثیر بهبود میزان نویز حاصل از حسگرهای تعیین موقعیت و وضعیت گوشی‌های همراه بر دقت تعیین موقعیت اشیاء متحرک مانند خودروها با استفاده از تکنیک محلی‌سازی^۴ و تلفیق داده‌های حاصل از حسگرهای مغناطیس سنج، ژيروسکوپ که در گوشی‌های همراه هوشمند وجود دارند بررسی شده است. از حسگرهای مزبور پارامترهای آزیموت و زاویه چرخش (رول) استخراج شده است و این پارامترها به همراه شتاب خطی و مختصات جغرافیایی حاصل از GPS برای بهبود موقعیت وسیله نقلیه در الگوریتم کالمن که یک فیلتر پایین‌گذر برای نویزهای با فرکانس پایین است، تلفیق شده‌اند. نتایج به دست آمده از اجرای روش پیشنهادی در خط ۲ بزرگراه آزادگان شرق به غرب تهران و مقایسه آن با داده‌های مرجع نشان داده است که خطای تعیین موقعیت خودرو با گیرنده GPS گوشی هوشمند از ۰/۸۲۷۴ متر به ۰/۶۷۶۸ متر بدون کاهش نویز در فیلتر کالمن توسعه یافته^۵، کاهش یافته است. با کاهش تدریجی نویز، میزان دقت نتایج حاصل از فیلتر کالمن بین مقادیر ۰/۶۷۶۳ تا ۰/۶۷۷۱ متر در نوسان بوده است که بیشترین بهبود دقت موقعیت خودرو در اثر کاهش ۲ درصدی نویز، به مقدار ۰/۶۷۶۳ متر حاصل شده است. براساس این نتایج، با وجود این که کاهش اثر نویز می‌تواند منجر به بهبود موقعیت وسیله نقلیه با استفاده از فیلتر کالمن و مشاهدات حسگرهای گوشی هوشمند شود، نامنظم بودن تغییرات دقت ناشی از کاهش نویز، لزوم یافتن درصد نویز کاهش بهینه را ایجاب می‌کند.

واژه‌های کلیدی: تعیین موقعیت خودرو، سامانه تعیین موقعیت جهانی (GPS)، مغناطیس سنج، ژيروسکوپ، تعیین موقعیت محلی، فیلتر کالمن

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران kbrabozorgniya@gmail.com

۲- استادیار گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران (نویسنده مسئول) hani.rezayan@khu.ac.ir

۳- استادیار گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران jsadidi@gmail.com

4- Dead-reckoning

5- Extended Kalman Filter

۱- مقدمه

خطاهایی هستند که مشخصاً به صورت تجمعی رفتار می‌کنند و اثرات محیطی مانند تغییر دما، شوک و ارتعاشات روی آن‌ها تأثیر می‌گذارد (Zhang et al, 2005:1498; Du et al, 2018:8). بنابراین مشاهدات هر حسگر، همراه با نویز تولیدشده در طول فرآیند اندازه‌گیری است و مقدار نویز ممکن است با توجه به عوامل مختلف از جمله: دقت هر یک از حسگرها و محیط اندازه‌گیری متفاوت باشد. در نتیجه با کاهش اثر نویز از مشاهدات حسگرها و با توجه به ارتباط و همبستگی میان برداشت این دو دسته از حسگرها و تفاوت دقت و ماهیت خطاهای آن‌ها، می‌توان از ویژگی‌های مکمل این دو حسگر جهت کاهش خطاهای یکدیگر استفاده نمود؛

(Andersson & Fjellström, 2004:2) (Grewal et al, 2013:264)

هدف این مقاله بررسی تأثیر کاهش نویز از داده‌های جمع‌آوری شده توسط حسگرهای، شتاب‌سنج، مغناطیس‌سنج، ژيروسکوپ و GPS تعبیه‌شده در گوشی‌های همراه هوشمند بر بهبود موقعیت و سیله‌نقلیه است. روش پیشنهادی مبتنی بر به‌کارگیری پارامترهای شتاب، آزیموت، طول و عرض جغرافیایی، زاویه چرخش استخراج‌شده به‌عنوان ورودی الگوریتم کالمن و بررسی تأثیر کاهش نویز پارامترهای مزبور با روش کمترین مربعات در بهبود موقعیت حاصله با الگوریتم کالمن است که در بخش دوم مقاله تشریح شده‌اند. مشخصات برداشت و نتایج حاصل از اجرای روش پیشنهادی در خط ۲ اتوبان آزادگان جنوب به شمال در بخش سوم تشریح شده است. در بخش چهارم خلاصه نتایج حاصله و پیشنهادات ارائه شده است.

در پژوهش‌های صورت‌گرفته به‌منظور بهبود تعیین موقعیت خودرو که مبتنی بر ادغام داده‌های به‌دست آمده از منابع مختلف می‌باشند، از روش‌های محاسباتی مختلفی استفاده شده است. (Magnusson & Odenma, 2012) از یک GPS با کیفیت پایین و سیستم اینرسی (INS)^۳ (این سیستم متداول‌ترین سیستم موقعیت‌یاب نسبی است و متشکل از سه ژيروسکوپ، سه شتاب‌سنج و سه مغناطیس‌سنج

تعیین موقعیت اشیای متحرک از جمله خودروها با دقت مناسب و با صرف هزینه پایین، لازمه ارائه طیف گسترده سرویس‌های مکان‌مبنایی است که روزبه‌روز در حال گسترش می‌باشند. فناوری‌ها و تکنیک‌های متفاوتی برای تعیین موقعیت وجود دارد که به دو دسته مطلق و نسبی^۱ تقسیم می‌شوند. تعیین موقعیت مطلق بر مبنای اندازه‌گیری فاصله موقعیت مورد نظر از چند موقعیت مشخص، طبیعی یا مصنوعی است (Vosoughi et al, 2017:222) و تعیین موقعیت نسبی بر اساس اندازه‌گیری تغییر وضعیت در موقعیت مورد نظر می‌باشد (Boukerche et al, 2008:2842).

رادارها، سامانه‌های اندازه‌گیری لیزری، سامانه‌های فراصوتی، سامانه تعیین موقعیت جهانی (GPS)^۲ از سیستم‌های متداول برای تعیین موقعیت مطلق هستند. حسگرهای مورد استفاده برای تعیین موقعیت نسبی اطلاعاتی از قبیل زاویه حرکت، تغییرات ثقل، میدان مغناطیسی، سرعت و روشنایی محیط را به صورت محلی و لحظه‌ای اندازه‌گیری می‌کنند (Hall, 2001; Wen et al, 2019).

گیرنده‌های GPS که به‌طور گسترده به‌عنوان یک جزء مهم در سیستم‌ها و برنامه‌های ناوبری وسایل نقلیه زمینی مورد استفاده قرار گرفته‌اند در تعیین موقعیت لحظه‌ای یک شیء متحرک با خطاهای مختلفی نیز همراه می‌باشند. از جمله عوامل ایجادکننده خطا مدت زمان کوتاه برای یافتن و استخراج مشخصات سیگنال ماهواره‌ها به تعداد کافی است. این مهم به‌همراه افزایش احتمال قرارگرفتن شیء متحرک در شرایطی که سیگنال قطع (مانند حرکت در تونل‌ها و معابر کوهستانی و یا خیابان‌های شهری)، تضعیف و یا بازتاب یابد (مانند قرارگرفتن در ترافیک)، سبب کاهش صحت و دقت مختصات حاصل از گیرنده‌های GPS می‌شود. حسگرهایی مانند ژيروسکوپ، مغناطیس‌سنج و شتاب‌سنج، که وضعیت محلی و لحظه‌ای متحرک را اندازه‌گیری می‌کنند، نیز دارای

1- Dead-Reckoning

2- Global Positioning System

3- Inertial Navigation System

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (پژوهش)

بررسی تأثیر کاهش نویز مشاهدات مغناطیس سنج، ژيروسکوپ و شتاب سنج در ... / ۳۵

اینرسی، سرعت و شتاب را محاسبه و همراه با GPS در الگوریتم فیلتر کالمن ادغام کرده‌اند. نتایج به دست آمده می‌تواند با پارامترهای بیشتر مانند آزیموت و تطبیق نقشه رضایت بخش تر باشد. در سال (۱۹۸۸) Krakiwsky و همکاران از فیلتر کالمن برای ادغام سه سیستم موقعیت یاب کیلومتر شمار، تطبیق نقشه و GPS استفاده کردند و در سیستم مکانیاب خودرو به کار گرفتند. با توجه به این موضوع که خودرو به یک شبکه جاده‌ای محدود می‌شود می‌توان یک الگوی حرکتی، برای مکانیابی خودرو تعریف کرد و این مهم ارزش فناوری‌های موقعیت یاب یکپارچه را در محیط شهری آشکارتر می‌کند. Lahrech و همکاران در سال ۲۰۰۴ برای تعیین و اصلاح موقعیت خودرو از اندازه‌گیری‌های نقشه راه، کیلومتر شمار خودرو و GPS استفاده کردند. نقشه مانند یک حسگر، همراه با داده‌های GPS و کیلومتر شمار، در الگوریتم فیلتر کالمن ادغام شد. نتایج تا حدودی رضایت بخش بوده است.

(kim(2004) و همکاران تنها با استفاده از داده‌های GPS و نقشه راه دیجیتال و ادغام آن‌ها در الگوریتم فیلتر کالمن توانستند تا حدودی موقعیت خودرو را اصلاح نمایند. Najjar & Bonnifit(2005) جهت برآورد دقیق موقعیت خودرو پارامترهای سرعت، جهت، فاصله و طول و عرض جغرافیایی را با استفاده از الگوریتم ثوری اعتقاد و فیلتر کالمن ادغام کردند. آن‌ها به این نکته اشاره کرده‌اند که با استفاده از یک نقشه راه می‌توان عملکرد این روش را افزایش داد. Toledo(2006) و همکاران برای مسئله ناوبری الگوریتم KF-IMM را به کار گرفته‌اند و از GPS، کیلومتر شمار خودرو و سنسورهای اینرسی برای تعیین موقعیت خودرو استفاده کردند و پژوهش خود را در مسیرهای مستقیم و منحنی ارزیابی کرده‌اند. نتایج به دست آمده نشان داده است که استفاده از مدل پیشنهادی بهتر از راه حل تک مدل است.

Rezaei & Sangupta(2007) سیستم GPS را با استفاده از حسگر سرعت چرخ، حسگر زاویه فرمان و یک ژيروسکوپ فیبر نوری در الگوریتم فیلتر کالمن ادغام کرده‌اند و

است) و کیلومتر شمار خودرو، پارامترهای طول و عرض جغرافیایی، آزیموت، زاویه انحراف و شتاب جهت اصلاح موقعیت مطلق خودرو را محاسبه کردند. نتایج نشان داد دقت و قابلیت اطمینان به موقعیت حاصل از GPS بالاخص در محیط‌های شهری کمتر قابل اعتماد هستند، اما خروجی فیلتر کالمن زمانی که اندازه‌گیری‌های GPS قابل اعتماد بودند دقت کمتری داشت، دلیل این نتایج مبهم می‌تواند به عدم وجود داده‌های شتاب سنج در سه بعد و ناتوانی در برخورد با خطای ناشی از نیروهای گرانش مرتبط باشد. این مسئله به ویژه هنگام رانندگی در دامنه‌ها و یا زمانی که جاده متراکم می‌شود رخ می‌دهد، اما زمانی که وسیله نقلیه در یک سطح افق قرار می‌گیرد، حداقل سهم را خواهد داشت و اثر زمان‌های اشتباه که توسط گیرنده GPS درجه پایین تهیه شده است، تأخیر بین زمان اندازه‌گیری حسگرهای خودرو و اینرسی و انتقال خروجی آن‌ها در شبکه منطقه ناظر به عنوان یک مسئله مهم در نظر گرفته شده است.

از آنجا که مدل ارائه شده یک فضای دو بعدی را تقریب می‌کند، تغییرات در ارتفاع باعث ایجاد خطاهای بایاس در خروجی فیلتر کالمن شده است، با اضافه کردن حالت ارتفاع در مدل فرآیند و ارائه اندازه‌گیری‌های وضعیت از یک گیرنده GPS، چنین خطاهایی می‌تواند کاهش یابد. Barrios(2011) Motai & در سال ۲۰۱۱ تعیین و اصلاح موقعیت خودرو را در یک مسیر منحنی بررسی کردند. آن‌ها در پژوهش خود پارامترهای سرعت ثابت، شتاب ثابت، مکان ثابت و تکان‌های ثابت و همچنین یک روش تشخیص ژئومتری تکراری براساس داده‌های GIS در سیستم KF-IMM^۱ ادغام کردند که تأثیر رضایت بخشی بر اصلاح موقعیت در مسیر منحنی داشته است (الگوریتم IMM امکان استفاده از مدل‌های بسیار پویا را در زمانی که نیاز به کاهش ملاحظات نویزهای غیر واقعی در شرایط غیرمانوری و همچنین کاهش هزینه‌های محاسباتی سیستم است، می‌دهد).

در سال ۲۰۱۶، Liu و همکاران از یک سیستم

براین اساس انتظار می‌رود بهبود عملکرد و افزایش دقت الگوریتم فیلتر کالمن در تعیین موقعیت خودرو، با کاهش نویز داده‌های حاصل از سنسورها به صورت مستقل و سیستماتیک، حاصل شود.

با کاهش نویز، تخمین واریانس نویز اندازه‌گیری هر یک از داده‌های حسگرها در قالب الگوریتم کالمن به مقدار واقعی نزدیکتر شده و در نتیجه موقعیت بهبود یافته با اجرای الگوریتم فیلتر کالمن از دقت بیشتری برخوردار خواهد بود (Park et al., 2019:2).

۲- روش پیشنهادی

در نگاره ۱ روند اجرای فیلتر کالمن توسعه یافته به منظور بهبود موقعیت وسیله نقلیه در اثر کاهش نویز از مشاهدات حسگرهای ژيروسکوپ، مغناطیس سنج و شتاب‌سنج ارائه شده است. برای این منظور از سرعت زاویه‌ای در جهت y (W_y (rad/s)) پارامتر زاویه چرخش و از میدان مغناطیسی در جهت x و y ($B_x B_y$ (μT)) پارامتر آزیموت استخراج گردیده است، پارامترهای مذکور به همراه پارامتر شتاب (a (m/s²)) در دو جهت x ، y و مختصات جغرافیایی جهت تلفیق در الگوریتم فیلتر کالمن انتخاب شده‌اند.

مقدار زاویه چرخش با استفاده از خروجی‌های ژيروسکوپ حول محوری است که در امتداد مسیر اندازه‌گیری می‌شود. خروجی داده‌های ژيروسکوپ، سرعت زاویه‌ای در سه جهت x ، y و z برحسب رادیان بر ثانیه است. برای استخراج زاویه رول از داده ژيروسکوپ از انتگرال-گیری عددی استفاده می‌شود (passaro et al, 2017:11).

به منظور اخذ و محاسبه زاویه آزیموت (هدینگ) از خروجی مغناطیس سنج استفاده می‌شود که در واحد تسلا بر ثانیه است. اگر سامانه مغناطیس سنج (TAM) در وضعیت تراز و زوایایی پیچ و رول در حد صفر باشند زاویه آزیموت از رابطه (۱) حاصل می‌شود.

پارامترهای توقف، تغییر جهت در تقاطع و پیچ‌های u شکل برای برآورد موقعیت خودرو محاسبه و در الگوریتم با یکدیگر ادغام شد. مدل پیشنهادی شده به طور مطلوب موقعیت خودرو را اصلاح کرده است. (Ghaleb, 2017) و همکاران یک موقعیت‌یاب نسبی و GPS را برای بهبود موقعیت خودرو در الگوریتم فیلتر کالمن ادغام کرده‌اند. نتایج به دست آمده از تلفیق مطلوب بوده است. (Barrios, 2006) و همکاران، پارامترهای سرعت ثابت، شتاب ثابت و متغیر را همراه با داده‌های GPS در الگوریتم‌های KF-IMM ادغام کرده‌اند و اصلاح موقعیت خودرو مطلوب بوده است. از مهم‌ترین ویژگی‌های فیلتر کالمن، بازگشتی بودن و عدم نیاز به ذخیره‌سازی مشاهدات قبلی است و همچنین به انعطاف‌پذیری در زمینه‌ی اضافه کردن چندین سنسور، بدون تغییر ساختار الگوریتم ادغام داده می‌توان اشاره کرد (Berdjag & Pomorski, 2004:3; Chui & Chen, 1999:6).

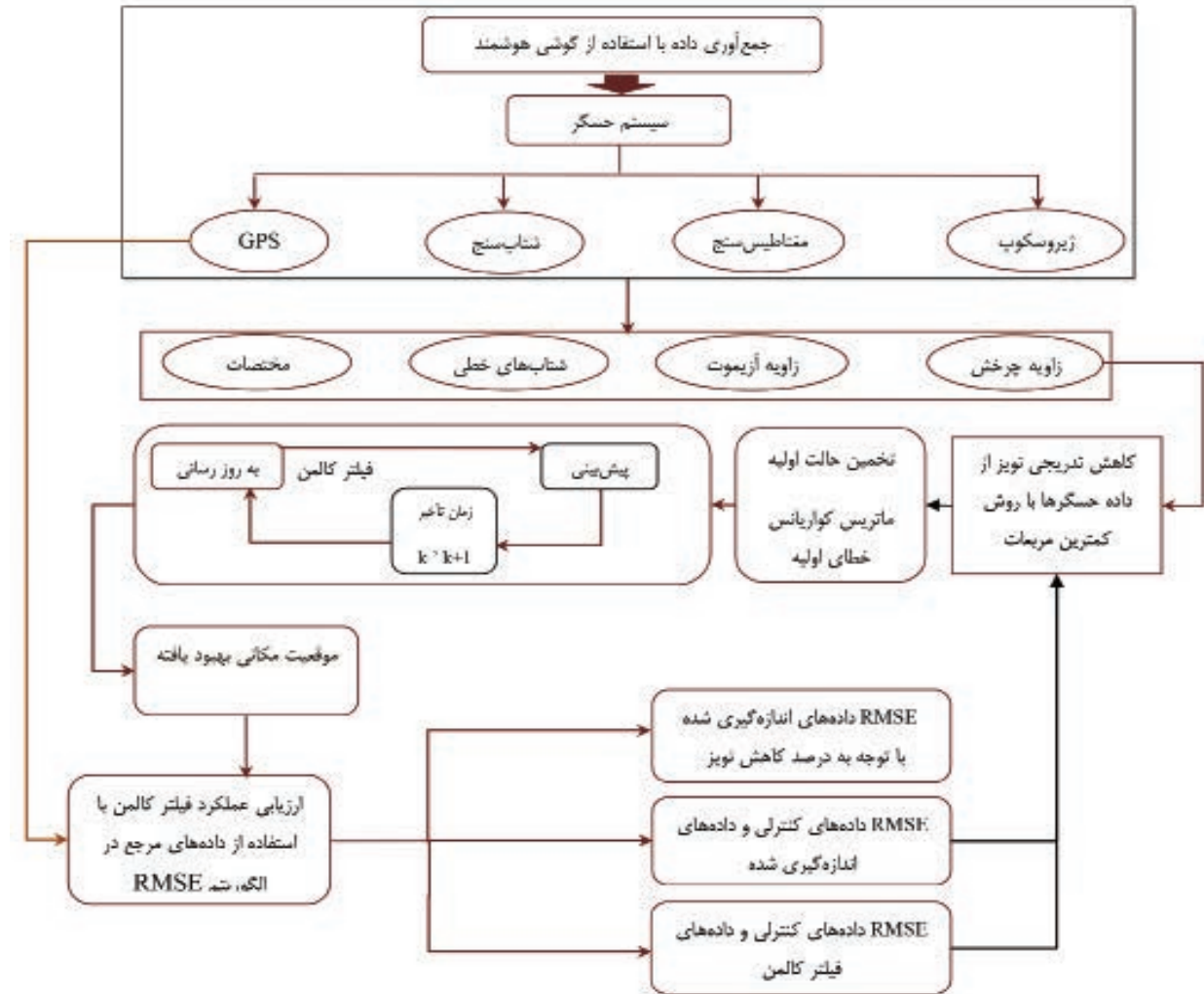
الگوریتم فیلتر کالمن منجر به کاهش خطا و نویز اندازه‌گیری‌های با تلفیق آن‌ها و جذب عدم قطعیت آن‌ها می‌شود. الگوریتم کالمن مشابه با یک فیلتر پایین گذر خطاها و نویزهای با فرکانس بالا که عموماً از نوع سفید گوسی (نرمال) هستند را بیشتر تحت تأثیر قرار می‌دهد (Rhudy et al, 2017:14).

در نتیجه سیگنال داده‌های هر حسگر فیلتر شده، به خوبی می‌تواند ویژگی دینامیک سیگنال داده هر حسگر را در شرایط پویا منعکس نماید و بر دقت اندازه‌گیری حسگرهای MEMS مؤثر باشد. یک جنبه مهم برای بهبود عملکرد حسگرهای نامبرده، استفاده از روش مدل‌سازی مستقیم برای سیگنال داده هر حسگر است.

با این روش می‌توان نویز اندازه‌گیری را کاهش داده و دقت هر حسگر را به طور واحد به میزان قابل توجهی بهبود بخشید. بزرگ‌ترین مزیت چنین رویکردی، محاسبه انحراف بایاس برای جبران خروجی حسگرها می‌باشد و میزان زوایای واقعی و شتاب خطی به طور مستقیم از فیلتر کالمن به دست می‌آید (Xue et al, 2015; Mosavi et al, 2011:248).

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سیر)

بررسی تأثیر کاهش نوبز مشاهدات مغناطیس سنج، ژيروسکوپ و شتابسنج در ... / ۳۷



نگاره ۱: نمودار روش پیشنهادی بر اساس اجرای فیلتر کالمن

رابطه ۲

$$\psi = \begin{cases} 90 & M_x^h = 0, M_y^h < 0 \\ 270 & M_x^h = 0, M_y^h > 0 \\ 180 - \tan^{-1} \left(\frac{M_y^h}{M_x^h} \right) \times \frac{180}{\pi} & M_x^h < 0 \\ -\tan^{-1} \left(\frac{M_y^h}{M_x^h} \right) \times \frac{180}{\pi} & M_x^h > 0, M_y^h < 0 \\ 360 - \tan^{-1} \left(\frac{M_y^h}{M_x^h} \right) \times \frac{180}{\pi} & M_x^h > 0, M_y^h > 0 \end{cases}$$

در این رابطه Ψ زاویه آزیموت، M_x^h و M_y^h مؤلفه‌های میدان مغناطیسی در صفحه تراز افقی هستند و نسبت به یکدیگر قائم می‌باشند.

در صورت تراز نبودن سامانه، آزیموت از رابطه (۲) حاصل می‌شود رابطه (۲) زاویه آزیموت را در بازه ۰ تا ۳۶۰ درجه محاسبه می‌کند (Li & Wang, 2013:271; Wang, 2007:37). این تحقیق با فرض تراز بودن زوایای پیچ و رول از رابطه (۱) استفاده شده است.

رابطه ۱

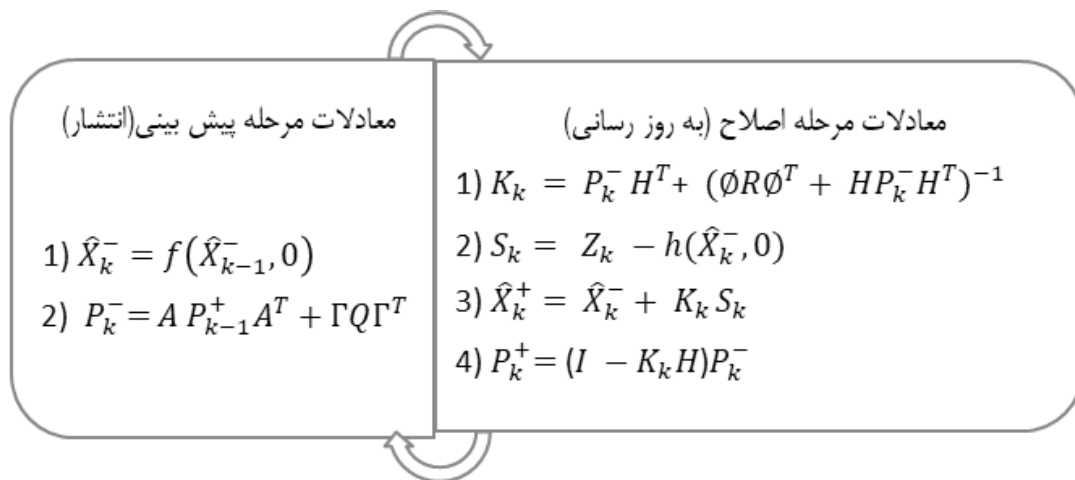
$$\psi = -\tan^{-1} \left(\frac{M_y^h}{M_x^h} \right)$$

متداولترین کاربرد شتابسنجها در تلفنهای همراه شامل تشخیص حرکات و تعیین کجی است (Moussa et.al, 2019:14). در این تحقیق از شتاب خطی در دو جهت x و y که خروجی حسگر شتابسنج خطی سه محوره می باشد، جهت بهبود موقعیت خودرو استفاده شده است. فیلتر کالمن با استفاده از محاسبات بازگشتی، تخمینی با خطای میانگین مربعات مینیمم از حالت، بردار x را به دست می آورد که با \hat{X}_k نشان داده می شود. هدف اصلی به دست آوردن تخمین دقیق \hat{X}_k برای وضعیت سیستم مشاهده شده در زمان k است. اجرای فیلتر کالمن شامل دو مرحله است (Kim & Bang, 2019:4; Nasrollahi & Ghahramani, 2010:4) ۲ معادلات آنها نشان داده شده است. در این نگاره، عملگرهای - و + به ترتیب پیش بینی پیشین و به روزرسانی پسین (استقرایی) را نشان می دهند. ارزیابی پیشین، تخمین حالت، قبل از اندازه گیری زمان kام و ارزیابی پسین، تخمین حالت، پس از اندازه گیری زمان kام است. براساس داده های ورودی در روش پیشنهادی (نگاره ۱)، بردار حالت شامل چهار پارامتر طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی، زاویه آزیموت و زاویه چرخش و شتاب در دو جهت x و y است که به ترتیب با علامت های $a_y, a_x, \varphi, \psi, N, E$ نشان داده می شوند (رابطه ۳).

(رابطه ۴) ماتریس حالت گذار A و (رابطه ۵) ماتریس نویز فرآیند Q است. ماتریس کواریانس خطای P از (رابطه ۶) حاصل می شود. این ماتریس معیاری برای ارزیابی دقت فیلتر کالمن است و برای محاسبه بهره کالمن و ماتریس کواریانس خطای استقرایی P_k^+ استفاده می شود و با به حداقل رساندن میانگین مربعات خطا، گویای عملکرد مطلوب فیلتر کالمن است. ماتریس کواریانس خطا با استفاده از میزان خطای هر یک از حسگرها و همچنین گیرنده GPS گوشی هوشمند تنظیم شده است (Bohg, 2005:18; Simon, 2006:148).

در این مقاله با استفاده از واریانس خطای P نهایی حاصل از اجرای فیلتر کالمن تستی صورت گرفت، نتیجه نهایی تغییر قابل ملاحظه ای نداشت. بنابراین ماتریس خطای P، با مجذور مقدار کواریانس خطا برای حسگرهای استفاده شده در پژوهش حاضر، تنظیم و بر روی قطر اصلی نشان داده شده اند.

ماتریس z وضعیت سیستم را نشان می دهد (رابطه ۷) و ماتریس حالت گذار H یک مدل مشاهده یا اندازه گیری است و رابطه بین حالت و مشاهدات را توصیف می کند (رابطه ۸). کواریانس نویز اندازه گیری R نیز از (رابطه ۹) حاصل می شود.



نگاره ۲: معادلات مراحل پیش بینی و اصلاح فیلتر کالمن توسعه یافته

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (۳۹)

بررسی تأثیر کاهش نویز مشاهدات مغناطیس سنج، ژيروسکوپ و شتابسنج در ... / ۳۹

به منظور ارزیابی عملکرد فیلتر کالمن در هدف بهبود تعیین دقت موقعیت خودرو برداشت‌های انجام شده و موقعیت بهبودیافته توسط فیلتر کالمن با داده‌های مرجع دقیق‌تر مقایسه می‌شوند. میزان تطابق آن‌ها با آماره RMSE^۱ محاسبه می‌شود.

داده‌های حاصل از سنسورهای مورد استفاده در روش پیشنهادی شامل شتابسنج، ژيروسکوپ و مغناطیس‌سنج‌ها دارای منابع ایجاد نویز مشترک ناشی از رانش و حرکت‌های تصادفی و خطای بایاس هستند (Wen et.al, 2019). سنسور مغناطیس‌سنج تحت تأثیر اغتشاشات نویز الکترونیکی از تجهیزات الکترونیکی یا مغناطیسی موجود در محیط نیز قرار می‌گیرد. به علاوه سنسور شتابسنج در اثر لرزش مکانیکی عناصر سنجش و سیستم اندازه‌گیری، دچار نویز با فرکانس بالا می‌شود. در عین حال با توجه به موارد ذکر شده در ارتباط با خطاهای شتابسنج، عملکرد استاتیک (اثر نیروی جاذبه) آن رضایت‌بخش است (Mohd et.al, 2001).

الگوریتم LMS^۲ به دلیل هزینه کم و سادگی در محاسبات، اثبات همگرایی در محیط ثابت، به کارگیری ضرایب مناسب برای محیط ناپایدار و پویا، همگرایی بی‌طرفانه در حد متوسط به راه‌حل وینر و رفتار پایدار هنگام پیاده‌سازی، جزء محبوب‌ترین و پرکاربرترین فیلترهای تطبیقی به حساب می‌آید. الگوریتم LMS همگرایی را برای نویز سفید در کمترین زمان ممکن و برای دیگر نویزها در زمان بیشتر موجب می‌شود و برای هر تکرار یک ثابت همگرایی متغیر را به کار می‌گیرد. الگوریتم LMS نسبت به نمونه‌های واقعی حساسیت بیشتر داشته و طبق ضرایب این الگوریتم اگر سیگنال ورودی مقادیر نسبتاً بالایی را دریافت کنند، نسبت نویز به سیگنال افزایش یافته و سبب تقویت نویز می‌شود. الگوریتم LMS از مقادیر دقیق برای ضرایب استفاده نمی‌کند، بنابراین وزن‌ها به وزن مطلوب نمی‌رسد اما میانگین همگرایی امکان‌پذیر بوده و وزن‌ها قابل قبول خواهند بود.

رابطه ۳

$$X = [E \quad N \quad \psi \quad \varphi \quad a_x \quad a_y]^T$$

رابطه ۴

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & f_1 & f_2 & f_3 & f_4 \\ 0 & 1 & f_5 & f_6 & f_7 & f_8 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

رابطه ۵

$$Q = \begin{bmatrix} 30 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 30 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 100 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 10^{-3} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 10^{-3} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 10^{-3} \end{bmatrix}$$

رابطه ۶

$$P = \begin{bmatrix} 9 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 9 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 160 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 9 \times 10^{-6} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 9 \times 10^{-6} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 9 \times 10^{-6} \end{bmatrix}$$

رابطه ۷

$$Z = [E \quad N \quad \psi \quad \varphi \quad a_x \quad a_y]^T$$

رابطه ۸

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

رابطه ۹

$$R = \delta^2 \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

1- Root Mean Square Error

2- Least Mean Square - LMS

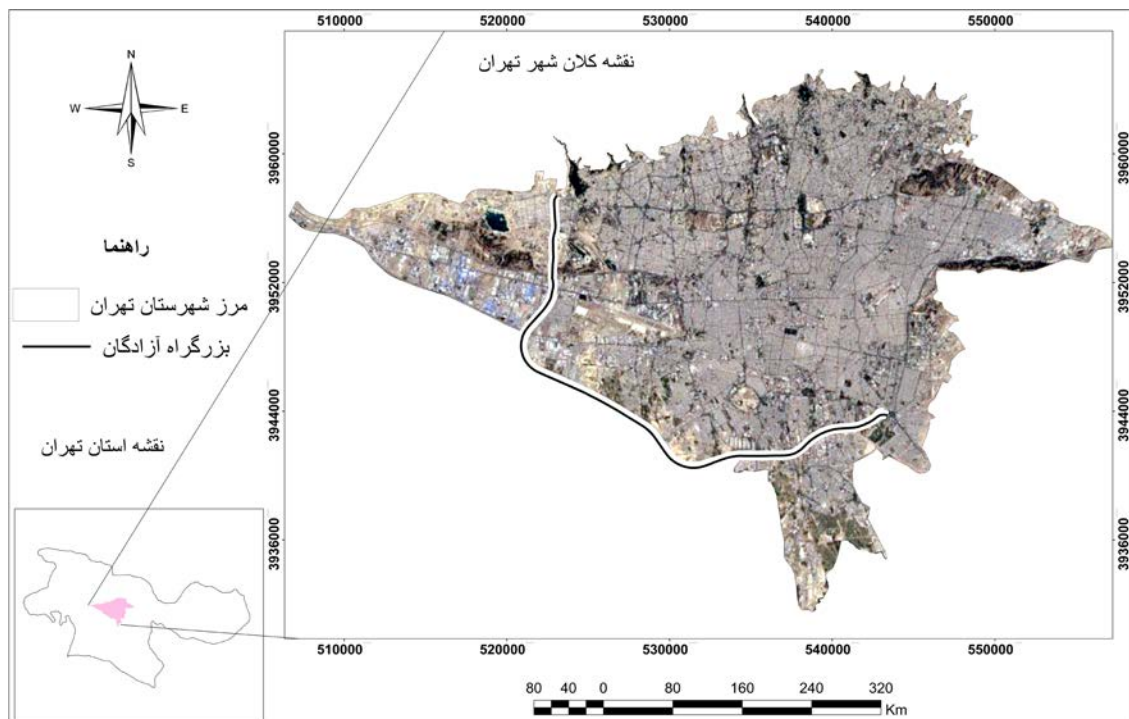
بزرگراه با چهار باند از شمال غرب به آزاد راه تهران کرج و از جنوب شرق به سهراب افسریه ختم می شود. برداشت داده ها با استفاده از یک گوشی هوشمند انجام شده است که بر این اساس داده های مورد نیاز با مشخصات زیر برداشت شده اند:

- دقت مسطحاتی برداشت موقعیت با گیرنده GPS گوشی هوشمند حدود ۵ متر با میانگین خطای حدوداً ۳٪ و نرخ برداشت ۱ هرتز محاسبه شده است (Wood & Zhang, 2018:6).
- زاویه چرخش با ژيروسکوپ گوشی و با سرعت ۱۹۷ هرتز انجام گرفته است. میزان دقت ژيروسکوپ در گوشی های هوشمند با توجه به سرعت نمونه برداری متفاوت است. میزان سرعت نمونه برداری برای این تحقیق با نرخ بالا صورت گرفته است بنابر این دقت در جهت محور xها ۰/۰۳۳ درجه، در جهت yها ۰/۰۰۳ درجه و در جهت zها ۰/۰۰۹ درجه می باشد (Ma et al, 2013:6).
- زاویه آزیموت با استفاده از مغناطیس سنج گوشی همراه

اگر واریانس با تغییر وزن ها زیاد شود همگرایی به وجود آمده می تواند گمراه کننده باشد (Harvey, 1976; Martinek, 2013; Diniz, 2019). به منظور کاهش نویز داده های حاصل از سنسورها به صورت مستقل و سیستماتیک، روش میانگین گیری با استفاده از کمترین مربعات برای داده های هر یک از سنسورها به کار گرفته شده است. در این راستا نویز موجود در داده ها به عنوان یک پارامتر اتفاقی لحاظ گردیده و کاهش نویز بر اساس درصد تغییرات داده های اصلاح شده و مشاهده شده در محدوده ۱ تا ۱۰ درصدی انجام شده است. بدین ترتیب الگوریتم کالمن برای ۱۰ سطح کاهش نویز اجرا گردیده و نتایج مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته اند.

۳- اجرا و بررسی نتایج

مسیر مورد مطالعه در این مقاله، خط ۲ بزرگراه آزادگان جنوب به شمال (شرق به غرب) کلانشهر تهران به مسافت حدود ۲۶ کیلومتر برداشت شده است (نگاره ۳). این



نگاره ۳: موقعیت جغرافیایی بزرگراه آزادگان در استان تهران

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)

بررسی تأثیر کاهش نویز مشاهدات مغناطیس سنج، ژيروسکوپ و شتاب سنج در ... / ۴۱

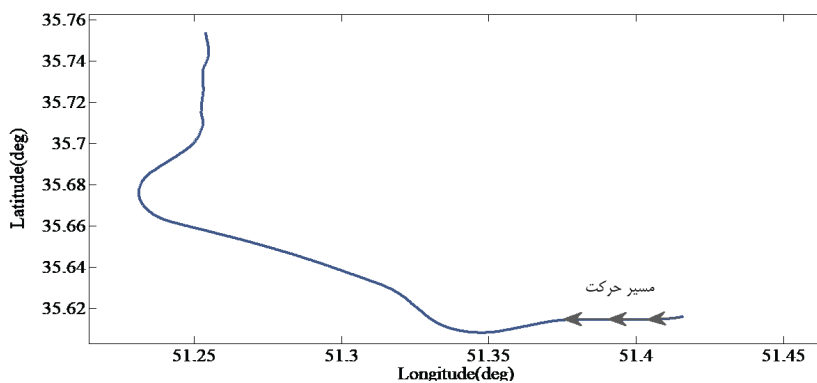
داده‌های حاصل از GPS گوش هوشمند مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند.

نگاره ۴ هندسه داده‌های جمع‌آوری شده توسط GPS گوش هوشمند، بدون اعمال فیلتر را نشان می‌دهد. نگاره‌های ۵ و ۶ نیز نتایج حاصل از اعمال فیلتر کالمن و ارزیابی نتایج آن در مقایسه با داده‌های مرجع و داده‌های حاصل از GPS گوش هوشمند را نشان می‌دهد. در این نگاره‌ها مسیر داده‌های کنترل (source) با خط ضخیم ممتد به رنگ سبز، مسیر داده‌های مشاهده شده (measured position) با خط ممتد به رنگ قرمز و مسیر داده‌های حاصل از اجرای فیلتر کالمن با کاهش نویز ۲ درصد (EKF-2%) با خطوط منقطع و نقطه به رنگ آبی و فیلتر کالمن با کاهش نویز ۱۰ درصد (EKF-10%) با خط-نقطه به رنگ بنفش نمایش داده شده‌اند.

با نرخ ۹۹ هرتز و میزان حساسیت $0.15 \mu T / LSB$ برداشت شده است. میزان دقت مغناطیس سنج برای آزیموت در گوشه‌های هوشمند تقریباً بین مقادیر ± 170 درجه است (Ma et al, 2013:6).

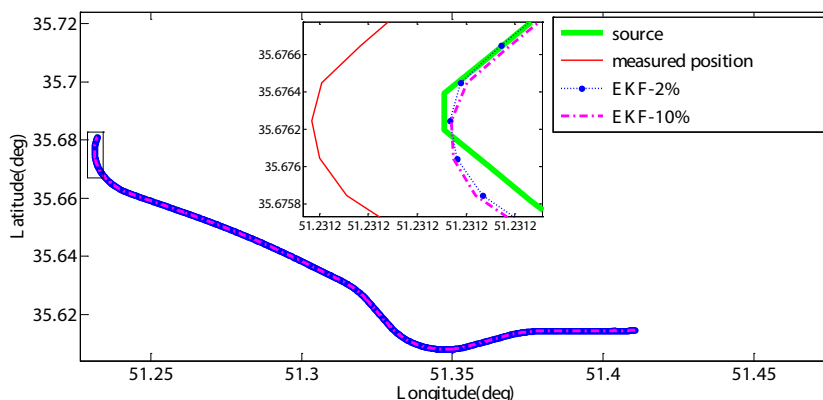
● دقت شتاب سنج با شرط قرارگیری گوشی به صورت افقی (با این شرایط میزان نیروی گرانش زمین 9.81 متر بر مجذور ثانیه در محور z و در دو محور دیگر میزان آن صفر می‌باشد) بین -0.03 تا 0.432 متر بر مجذور ثانیه است (Ma et al, 2013:6).

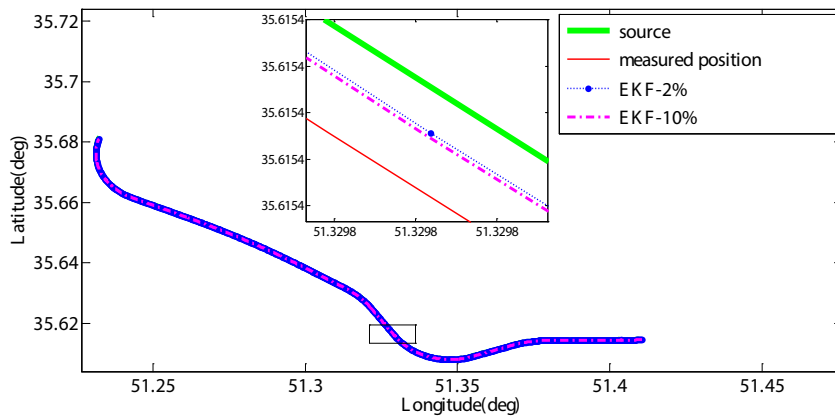
داده‌های کنترلی از پایگاه داده شرکت آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک وزارت راه و شهرسازی اخذ شده است. این داده‌ها با استفاده از گیرنده GPS نوع Trimble، با متوسط مربعات خطای معادل 50 سانتیمتر در سرعت متوسط 60 کیلومتر بر ساعت برداشت شده‌اند. داده‌های کنترلی با



نگاره ۴: موقعیت خودرو قبل از اعمال فیلتر کالمن

نگاره ۵: ارزیابی عملکرد فیلتر کالمن در اثر کاهش نویز ۲ و ۱۰ درصدی در مقایسه با داده‌های مرجع و داده‌های اندازه‌گیری شده





نگاره ۶: عملکرد فیلتر کالمن جهت بهبود موقعیت

اما بیشترین همبستگی مربوط به پارامتر میدان مغناطیسی B در جهت x و y است و همبستگی پارامتر مزبور در فرآیند کاهش نویز، از کمترین نوسان برخوردار بوده است. نگاره ۷- ب میزان همبستگی بین پارامترها را با کاهش ۲ درصدی نویز نشان می‌دهد که در آن بین پارامترهای، میدان مغناطیسی در جهت x (B_x) و شتاب در جهت y (a_y) و بین میدان مغناطیسی در جهت y (B_y) و سرعت زاویه‌ای در جهت y (w_y) بیشترین همبستگی منفی در محدوده روشن (آبی رنگ) رخ داده است. همچنین بین پارامتر میدان مغناطیسی در جهت x (B_x) و سرعت زاویه‌ای در جهت y (w_y) و بین میدان مغناطیسی در جهت y (B_y) و شتاب در جهت y (a_y) بیشترین همبستگی مثبت در محدوده تیره (قهوه‌ای رنگ) نمودار به وجود آمده است.

نکته قابل توجه، در همبستگی بین شتاب در جهت y (a_y) و سرعت زاویه‌ای در جهت y (w_y) است. در پارامترهای مزبور برخلاف دیگر پارامترها، نخست با کاهش نویز ۲ درصدی همبستگی به صورت مثبت کاهش یافته است.

مقدار RMSE داده‌های بدون اعمال فیلتر کالمن و RMSE داده‌های به دست آمده از فیلتر کالمن نسبت به داده‌های کنترلی به ترتیب ۰/۸۲۷۴ متر و ۰/۶۷۶۸ متر محاسبه شده است که نشان دهنده میزان افزایش دقت تعیین موقعیت با اعمال فیلتر کالمن بدون کاهش نویز است.

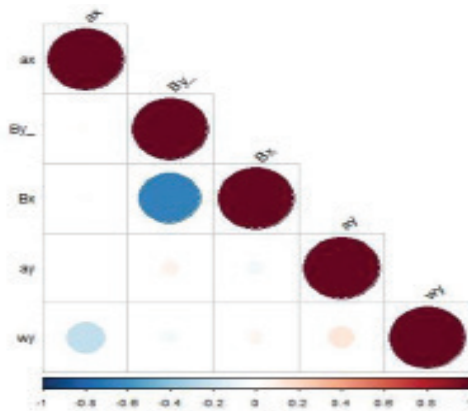
در جدول ۱ مقدار خطای مسطحاتی تعیین موقعیت حاصل از به‌کارگیری روش پیشنهادی شامل اعمال فیلتر کالمن با درصدهای کاهش نویز ۱ تا ۱۰ درصد بر روی مشاهدات حسگرها ارائه شده است که این مقدار بین مقادیر ۰/۶۷۶۳ متر تا ۰/۶۷۷۱ متر در نوسان است.

نوسان روند تغییر دقت تعیین موقعیت با کاهش نویز و مشخصاً کاهش دقت مزبور در درصدهای بالای کاهش نویز به دلیل افزایش همبستگی بین پارامترها ناشی از کاهش نویز می‌باشد. پس از کاهش ۲ درصدی نویز همبستگی بین مشاهدات حسگرها در حال افزایش است (نگاره ۷).

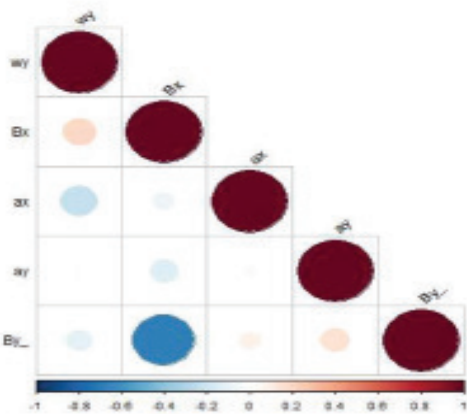
نگاره ۷- الف میزان همبستگی بین پارامترها قبل از اعمال کاهش نویز از مشاهدات هر حسگر را نمایش می‌دهد. در این نمودار حداقل همبستگی بین پارامترها قابل مشاهده است.

جدول ۱: مقادیر RMSE با توجه به درصد کاهش نویز

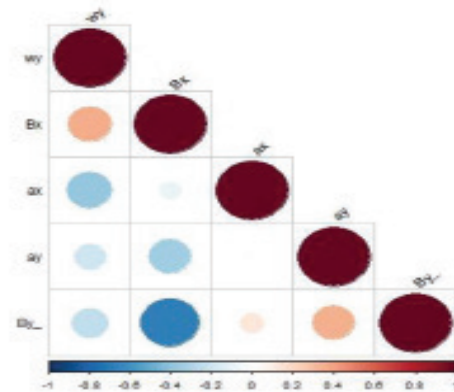
درصد کاهش نویز	۱٪	۲٪	۳٪	۴٪	۵٪	۶٪	۷٪	۸٪	۹٪	۱۰٪
RMSE(m)	۰/۶۷۶۵	۰/۶۷۶۳	۰/۶۷۶۶	۰/۶۷۶۸	۰/۶۷۶۸	۰/۶۷۶۵	۰/۶۷۶۸	۰/۶۷۶۹	۰/۶۷۶۹	۰/۶۷۷۱



(الف) - میزان همبستگی پارامترها قبل از کاهش نوبز



(ب) - میزان همبستگی پارامترها پس از کاهش ۲٪ نوبز



(ج) - میزان همبستگی پارامترها پس از کاهش ۱۰٪ نوبز

نگاره ۷: میزان همبستگی پارامترها در اثر کاهش تدریجی نوبز

میزان همبستگی منفی در پارامترهای میدان مغناطیسی در جهت x (B_x) و شتاب در جهت y (a_y) و بین میدان مغناطیسی در جهت y (B_y) و سرعت زاویه‌ای در جهت y (w_y) در محدوده روشن (آبی رنگ) پررنگ‌تر شده و افزایش یافته است. همچنین همبستگی مثبتی در بین پارامتر میدان مغناطیسی در جهت x (B_x) و سرعت زاویه‌ای در جهت y (w_y) و بین میدان مغناطیسی در جهت y (B_y) و شتاب در جهت y (a_y) در محدوده تیره (قهوه‌ای رنگ) پررنگ‌تر شده و افزایش یافته است.

مطابق نگاره ۷-الف این همبستگی در محدوده تیره‌رنگ (قهوه‌ای کم‌رنگ) قابل مشاهده است اما به دلیل کاهش نوبز ۲ درصدی، میزان همبستگی کم شده است و در نگاره ۷-ب به دلیل حداقل همبستگی محدوده تیره‌رنگ قابل مشاهده نیست. در تصویر ۷-ج، که میزان همبستگی بین پارامترهای با کاهش ۱۰ درصدی نوبز را به نمایش گذارده است، بین شتاب در جهت y (a_y) و سرعت زاویه‌ای در جهت y (w_y) همبستگی به صورت منفی در محدوده روشن (آبی رنگ) افزایش یافته است.

جدول ۲: میزان همبستگی بین مشاهدات هر حسگر

پارامترها	میزان همبستگی قبل از حذف نویز	میزان همبستگی با توجه به حذف تدریجی نویز (۱-۱۰ درصد)									
		۱٪	۲٪	۳٪	۴٪	۵٪	۶٪	۷٪	۸٪	۹٪	۱۰٪
$B_x a_x$	-۰/۰۲۶	-۰/۰۴۶	-۰/۰۸۲	-۰/۰۸۴	-۰/۰۷۶	-۰/۰۷۵	-۰/۰۹۶	-۰/۱۱	-۰/۱۲	-۰/۱۱	-۰/۰۹۶
$B_x a_y$	-۰/۰۵۴	-۰/۱۱	-۰/۱۴	-۰/۱۸	-۰/۲۲	-۰/۲۲	-۰/۲۳	-۰/۲۶	-۰/۲۹	-۰/۳۲	-۰/۳۴
$B_x w_y$	۰/۰۵۳	۰/۱۲	۰/۱۹	۰/۲۲	۰/۳۴	۰/۲۶	۰/۲۹	۰/۳۱	۰/۳۳	۰/۳۵	۰/۳۶
$B_x B_y$	-۰/۶۷	-۰/۶۷	-۰/۶۸	-۰/۶۸	-۰/۶۸	-۰/۶۸	-۰/۶۸	-۰/۶۸	-۰/۶۸	-۰/۶۸	-۰/۶۸
$B_y a_x$	۰/۰۲۷	۰/۰۴۸	۰/۰۸۱	۰/۰۸۷	۰/۰۸۸	۰/۰۹۲	۰/۱۱	۰/۱۲	۰/۱۳	۰/۱۲	۰/۱۲
$B_y a_y$	۰/۰۶	۰/۱۲	۰/۱۵	۰/۱۹	۰/۲۳	۰/۲۵	۰/۲۶	۰/۲۹	۰/۳۱	۰/۳۳	۰/۳۵
$B_y w_y$	-۰/۰۴۱	-۰/۰۷۵	-۰/۱۲	-۰/۱۴	-۰/۱۶	-۰/۱۷	-۰/۱۹	-۰/۲۱	-۰/۲۳	-۰/۲۴	-۰/۲۵
$a_x w_y$	-۰/۲۵	-۰/۲۶	-۰/۲۴	-۰/۲۳	-۰/۲۲	-۰/۲۵	-۰/۲۸	-۰/۳۱	-۰/۳۶	-۰/۳۸	-۰/۳۹
$a_y w_y$	۰/۱۳	۰/۰۵۷	۰/۰۲	۰/۰۰۲۱	۰/۰۰۶۶	-۰/۰۰۹	-۰/۰۰۴۶	-۰/۰۰۸۸	-۰/۰۱۳	-۰/۰۱۶	-۰/۰۲
$a_x a_y$	-۰/۰۰۰۳۴	-۰/۰۰۴	-۰/۰۰۳۱	۰/۰۰۳۱	-۰/۰۰۱۹	-۰/۰۰۴۲	-۰/۰۰۲۷	-۰/۰۰۲۲	۰/۰۰۷۹	-۰/۰۰۱۳	-۰/۰۰۲۶

یافته است و مقدار همبستگی شتاب در جهت y و سرعت زاویه‌ای در جهت y در اثر کاهش ۲ درصدی نویز از ۰/۱۳ به ۰/۰۲ کاهش یافته است و در اثر کاهش ۱۰ درصدی نویز به ۰/۲- افزایش یافته است. این تغییرات نشان‌دهنده روند افزایش تغییر همبستگی ناشی از کاهش نویز است.

با قرارگیری وسیله نقلیه در طول یک پیچ، گیرنده‌های GPS با عملکرد ضعیف در موقعیت‌یابی همراه خواهند شد. بنابراین در جدول ۳ عملکرد الگوریتم فیلتر کالمن توسعه‌یافته براساس مقادیر RMSE داده‌های اندازه‌گیری شده، RMSE داده‌های فیلتر کالمن با کاهش نویز ۲ درصد (EKF-2%) و RMSE داده‌های فیلتر کالمن با کاهش نویز ۱۰ درصد (EKF-10%) در مسیر مستقیم و بر روی پیچ مورد ارزیابی قرار گرفته است. با توجه به جدول ۳، خطای تعیین موقعیت وسیله نقلیه با اجرای فیلتر کالمن توسعه‌یافته

در جدول ۲ مقادیر همبستگی بین پارامترها مشاهده شده ارائه گردیده است. بر این اساس مقدار همبستگی بین پارامتر میدان مغناطیسی در جهت x و شتاب در جهت y در اثر کاهش ۲ درصدی نویز از ۰/۰۵۴- به ۰/۱۴- و در اثر کاهش ۱۰ درصدی نویز به ۰/۳۴-، مقدار همبستگی میدان مغناطیسی در جهت y و سرعت زاویه‌ای در جهت y در اثر کاهش ۲ درصدی نویز از ۰/۰۴۱- به ۰/۱۲- و در اثر کاهش ۱۰ درصدی نویز به ۰/۲۵- افزایش یافته است. همچنین مقدار همبستگی میدان مغناطیسی در جهت x و سرعت زاویه‌ای در جهت y در اثر کاهش ۲ درصدی نویز از ۰/۰۵۳ به ۰/۱۹ و در اثر کاهش ۱۰ درصدی نویز به ۰/۳۶ و مقدار همبستگی میدان مغناطیسی در جهت y و شتاب در جهت y در اثر کاهش ۲ درصدی نویز از ۰/۰۶ و در اثر کاهش ۱۰ درصدی نویز به ۰/۳۵- افزایش

نگاره ۳. ارزیابی عملکرد الگوریتم فیلتر کالمن توسعه یافته در مسیر مستقیم و بر روی پیچ

نوع داده‌ها	RMSE در اولین مسیر مستقیم	RMSE بر روی اولین پیچ	RMSE در دومین مسیر مستقیم	RMSE بر روی دومین پیچ
RMSE داده‌های اندازه‌گیری شده	۰/۶۲۵۶ متر	۰/۹۴۶۰ متر	۰/۶۹۸۷ متر	۱/۲۷۶۴ متر
RMSE داده‌های EKF-2%	۰/۶۲۳۴ متر	۰/۸۰۹۵ متر	۰/۶۴۰۲ متر	۰/۵۲۷۷ متر
RMSE داده‌های EKF-10%	۰/۶۲۲۹ متر	۰/۸۱۰۳ متر	۰/۶۴۱۱ متر	۰/۵۳۲۶ متر

بنابراین با گذشت زمان الگوریتم فیلتر کالمن باعث همگرایی داده‌های حاصل از گیرنده GPS گوشی هوشمند و داده‌های کنترل شده و موقعیت وسیله نقلیه را بر روی پیچ به‌طور مطلوب و رضایت‌بخشی بهبود بخشیده است.

۴- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

این مقاله به بررسی تأثیر کاهش نویز مشاهدات بر نتایج حاصل از اجرای فیلتر کالمن برای بهبود دقت تعیین موقعیت پرداخته است. بر این اساس تغییرات کاهش تدریجی نویز محاسبه شده‌اند. نتایج حاصله از برداشت خط ۲ بزرگراه آزادگان شرق به غرب و اعمال روش پیشنهادی نشان می‌دهد که مقدار خطای تعیین موقعیت خودرو در مقایسه با داده‌های مرجع از ۰/۸۲۷۴ متر به ۰/۶۷۶۳ متر با کاهش ۲ درصدی نویز کاهش یافته است و با کاهش ۱۰ درصدی نویز این میزان دقت به ۰/۶۷۷۱ متر افزایش می‌یابد، که در نتیجه افزایش میزان همبستگی بین پارامترها در اثر کاهش نویز است. بر این اساس حد آستانه کاهش نویز که می‌تواند منجر به بهبود تعیین موقعیت با استفاده از فیلتر کالمن شود پایین می‌باشد و با بررسی چند آستانه محدود پایین قابل شناسایی می‌باشد. در تحقیقات آتی می‌توان تأثیر نتایج به‌دست آمده از روش‌های تخمین و بهینه‌سازی نویز فرآیند، بر روی خروجی فیلتر کالمن را بررسی کرد. همچنین می‌توان امکان استفاده از سایر داده‌های محلی قابل اخذ از حسگرهای نورسنج و صوت‌سنج را با هدف تعیین موقعیت مورد ارزیابی قرار داد.

با کاهش نویز ۲ درصد و ۱۰ درصد، در هر دو مسیر مستقیم و بر روی پیچ کاهش یافته است. اما نکته حائز اهمیت، در ارزیابی میزان کاهش خطا در مسیر مستقیم و بر روی پیچ می‌باشد. این مهم با استفاده از نتایج حاصل از اختلاف RMSE داده‌های اندازه‌گیری شده و RMSE داده‌های حاصل از اجرای الگوریتم EKF-2% و RMSE الگوریتم EKF-10% قابل تشخیص و ارزیابی می‌باشد. مقدار اختلاف RMSE داده‌های اندازه‌گیری و داده‌های حاصل از اجرای الگوریتم EKF-2% و RMSE الگوریتم EKF-10% در اولین مسیر مستقیم به ترتیب ۰/۰۰۲۲ متر و ۰/۰۰۲۷ متر و مقدار اختلاف RMSE در دومین مسیر مستقیم به ترتیب ۰/۰۵۸۵ متر و ۰/۰۵۷ متر می‌باشد. براساس نتایج حاصله از اختلاف RMSE در مسیر مستقیم، گیرنده‌های GPS گوشی هوشمند از خطای نسبتاً کمتری در تعیین موقعیت برخوردار بوده‌اند و یک تطابق نسبی بین داده‌های اندازه‌گیری و داده‌های کنترل وجود داشته است. اما تعیین موقعیت توسط گیرنده‌های GPS گوشی هوشمند بر روی پیچ از خطای بیشتری برخوردار بوده و مقادیر RMSE ۰/۹۴۶۰ متر و ۱/۲۷۶۴ متر به ترتیب بر روی پیچ اول و دوم این مهم را آشکار می‌کند. اما با اجرای فیلتر کالمن خطای مذکور بر روی پیچ، به‌ویژه در پیچ دوم توسط الگوریتم فیلتر کالمن به حداقل رسیده است. بر این اساس مقدار اختلاف RMSE داده‌های اندازه‌گیری و داده‌های حاصل از اجرای الگوریتم EKF-2% و RMSE الگوریتم EKF-10% در اولین پیچ به ترتیب ۰/۱۳۶۵ متر و ۰/۱۳۵۷ متر و مقدار اختلاف RMSE در دومین پیچ به ترتیب ۰/۷۴۸۷ متر و ۰/۷۴۳۸ متر می‌باشد.

- 11- Grewal, M. S., Weill, L., & Andrews, A. P. (2013). *Global positioning systems, inertial navigation and integration*. Hoboken, NJ: Wiley.
- 12- Hall, P. (2001). *A Bayesian Approach to Map-Aided Vehicle Positioning*, Forsell, U., Nordlund, P. J., Linköping University, Department of Electrical Engineering
- 13- Harvey, W. (1976) Use of the HARVEY procedure. SUGI Proceedings.
- 14- Kim, Y., & Bang, H. (2019). *Introduction to Kalman Filter and Its Applications. Introduction and Implementations of the Kalman Filter*. doi:10.5772/intechopen.80600
- 15- Kim, W., Jee, G., & Lee, J. (2004). Efficient use of digital road map in various positioning for ITS. IEEE 2000. Position Location and Navigation Symposium (Cat. No.00CH37062). doi:10.1109/plans.2000.838299
- 16- Krakiwsky, Harris & Wong, E., C., R. (1988). A Kalman filter for integrating dead reckoning, map matching and GPS positioning. IEEE PLANS 88., Position Location and Navigation Symposium, Record. Navigation into the 21st Century. doi:10.1109/plans.1988.195464
- 17- Lahrech, A., Boucher, C., & Noyer, J. (2004). Fusion of GPS and odometer measurements for map-based vehicle navigation. 2004 IEEE International Conference on Industrial Technology, 2004. IEEE ICIT 04. doi:10.1109/icit.2004.1490202
- 18- Li, W., & Wang, J. (2013). Magnetic Sensors for Navigation Applications: An Overview. *Journal of Navigation*, 67(2), 263-275. doi:10.1017/s0373463313000544
- 19- Liu, X., Sima, J., Huang, Y., Liu, X., & Zhang, P. (2016). A Simplified Kalman Filter for Integrated Navigation System with Low-Dynamic Movement. *Mathematical Problems in Engineering*, 2016, 1-9. doi:10.1155/2016/3528146
- 20- Ma, Z., Qiao, Y., Lee, B., & Fallon, E. (2013). Experimental evaluation of mobile phone sensors. 24th IET Irish Signals and Systems Conference (ISSC 2013). doi:10.1049/ic.2013.0047
- 21- Magnusson, N., Odenman, T. (2012). Improving absolute position estimates of an automotive vehicle using GPS in sensor fusion, Chalmers University of Technology, Division
- 1- Andersson, D., Fjellstrom, J. (2004). Vehicle Positioning with Map Matching Using Integration of a Dead Reckoning System and GPS, Andersson, H., Enqvist, M., Linköping University, Department of Systems Engineering
- 2- Barrios, C., & Motai, Y. (2011). Improving Estimation of Vehicles Trajectory Using the Latest Global Positioning System With Kalman Filtering. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 60(12), 3747-3755. doi:10.1109/tim.2011.2147670
- 3- Barrios, C., Himberg, H., Motai, Y., & Sad, A. (2006). Multiple model framework of adaptive extended kalman filtering for predicting vehicle location. 2006 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference. doi:10.1109/itsc.2006.1707361
- 4- Berdjag, Pomorski, D. (2004). DGPS-INS data fusion for land navigation. The 7th IEEE International Conference on Information Fusion (FUSION'2004), Stockholm, Sweden. doi:10.1109/infus.2004.1392811
- 5- Bohg, J. (2005). Real-Time Structure from Motion Using Kalman Filtering, Pitzsch, T., Technische Universität Dresden
- 6- Boukerche, A., Oliveira, H. A., Nakamura, E. F., & Loureiro, A. A. (2008). Vehicular Ad Hoc Networks: A New Challenge for Localization-Based Systems. *Computer Communications*, 31(12), 2838-2849. doi:10.1016/j.comcom.2007.12.004
- 7- Chui, C. K., & Chen, G. (1999). *Kalman filtering: With real time applications*. Berlin: Springer.
- 8- Diniz, P. S. (2013). *Adaptive Filtering Algorithms and Practical Implementation*. Boston, MA: Springer US. doi:https://doi.org/10.1007/978-0-387-68606-6
- 9- Du, Gerdman, & Lindén, J., C., M. (2018). Signal Quality Improvement Algorithms for MEMS Gyroscope-Based Human Motion Analysis Systems: A Systematic Review. *Sensors*, 18(4), 1123. doi:10.3390/s18041123
- 10- Ghaleb, F., Zainal, A., Rassam, M., & Abraham, A. (2017). Improved vehicle positioning algorithm using enhanced innovation-based adaptive Kalman filter. *Pervasive and Mobile Computing*, 40, 139-155. doi:10.1016/j.pmcj.2017.06.008

- Based Integration of DGPS and Vehicle Sensors for Localization. *IEEE Transactions On Control Systems Technology*, 15(6), 1080-1088. doi: 10.1109/tcst.2006.886439
- 32- Rhudy, M. B., Salguero, R. A., & Holappa, K. (2017). A Kalman Filtering Tutorial for Undergraduate Students. *International Journal of Computer Science & Engineering Survey*, 08(01), 01-18. doi: 10.5121/ijcses.2017.8101
- 33- Simon, D. (2006). *Optimal state estimation: Kalman, H ∞ , and nonlinear approaches*. Hoboken, NJ: Wiley.
- 34- Toledo-Moreo, R., Zamora-Izquierdo, M., & Gomez-Skarmeta, A. (2006). IMM-EKF based Road Vehicle Navigation with Low Cost GPS/INS. 2006 IEEE International Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems. doi:10.1109/mfi.2006.265590
- 35- Vosoughi, Keighobadi, Faraji, H., J., J. (2017). Design and Implementation of AHRS by using Kautz Function and Predictive Estimator with Euler's Dynamic, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 17, No. 6, pp. 221-232, 2017 (in Persian)
- 36- Wang, J. (2007). *Intelligent MEMS INS/GPS integration for land vehicle navigation* (Unpublished master's thesis).
- 37- Wen, X., Liu, C., Huang, Z., Su, S., Guo, X., Zuo, Z., & Qu, H. (2019). A First-Order Differential Data Processing Method for Accuracy Improvement of Complementary Filtering in Micro-UAV Attitude Estimation. *Sensors*, 19(6), 1340. doi: 10.3390/s19061340
- 38- Wood, J. S., & Zhang, S. (2018). Identification and Calculation of Horizontal Curves for Low-Volume Roadways Using Smartphone Sensors. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2672(39), 1-10. doi:10.1177/0361198118759005
- 39- =Xue, L., Jiang, C., Wang, L., Liu, J., & Yuan, W. (2015). Noise Reduction of MEMS Gyroscope Based on Direct Modeling for an Angular Rate Signal. *Micromachines*, 6(2), 266-280. doi:10.3390/mi6020266
- 40- Zhang, P., Gu, J., Milios, E., & Huynh, P. (2005). Navigation with IMU/GPS/digital compass with unscented Kalman filter. *IEEE International Conference Mechatronics and Automation*, 2005. doi:10.1109/icma.2005.1626777
- of signal processing and Biomedical Engineering
- 22- Martinek, R., Rzidky, J., Jaros, R., Bilik, P., & Ladrova, M. (2019). Least Mean Squares and Recursive Least Squares Algorithms for Total Harmonic Distortion Reduction Using Shunt Active Power Filter Control. *Energies*, 12(8), 1545. doi:10.3390/en12081545
- 23- Mohd-Yasin, F., Korman, C., & Nagel, D. (2001). Measurement of noise characteristics of MEMS accelerometers. 2001 International Semiconductor Device Research Symposium. *Symposium Proceedings (Cat. No.01EX497)*. doi:10.1109/isdrs.2001.984472
- 24- Mohd-Yasin, F., Zaiyadi, N., Nagel, D., Ong, D., Korman, C., & Faidz, A. (2009). Noise and reliability measurement of a three-axis micro-accelerometer. *Microelectronic Engineering*, 86(4-6), 991-995. doi:10.1016/j.mee.2008.12.045
- 25- Mosavi, Sadeghian, & Saeidi, M.R., M., S. (2011). Increasing DGPS Navigation Accuracy using Kalman Filter Tuned by Genetic Algorithm, *IJCSI International Journal of Computer Science Issues*, 8(6), 1694-0814
- 26- Moussa, M., Moussa, A., & El-Sheimy, N. (2019). Steering Angle Assisted Vehicular Navigation Using Portable Devices in GNSS-Denied
- 27- Najjar, M. E., & Bonnifait, P. (2005). A Road-Matching Method for Precise Vehicle Localization Using Belief Theory and Kalman Filtering. *Autonomous Robots*, 19(2), 173-191. doi:10.1007/s10514-005-0609-1
- 28- Nasrollahi, S., Ghahramani, N. (2010). Fusion of GPS Positioning and Speed in Information with Inertial Navigation System Data Using Kalman Filter to Increase the Accuracy of a Bird Object, *Thirteenth Student Conference of Iranian Electrical Engineering*, Tehran, Tarbiat Modares University
- 29- Park, S., Gil, M.-S., Im, H., & Moon, Y.-S. (2019). Measurement Noise Recommendation for Efficient Kalman Filtering over a Large Amount of Sensor Data. *Sensors*, 19(5), 1168. doi: 10.3390/s19051168
- 30- Passaro, V. M., Cuccovillo, A., Vaiani, L., Carlo, M. D., & Campanella, C. E. (2017). Gyroscope Technology and Applications: A Review in the Industrial Perspective. *Sensors*, 17(10), 2284. doi:10.3390/s17102284
- 31- Rezaei, S., & Sengupta, R. (2007). Kalman Filter-

