نشریه علمی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

سال دوازدهم، شماره سوم، پاییز ۱۴۰۳

Vol.12, No.3, Autumn 2024

۶۲- ۴۵

مقاله پژوهشی

بهبود دقت تعیین موقعیت آنی گوشی‌های هوشمند در محیط شهری با استفاده از مشاهدات خام *GNSS*

امیرحسین پورمینا[۱]، محمدمهدی علیزاده الیزئی[۲*]

۱- دانشجوی دکتری ژئودزی، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۲- استادیار گروه ژئودزی، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۱۲/۰۴ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۶/۲۲

چکیده

در حال حاضر، برخی از گیرنده‌های سیستم‌های ماهواره‌ای ناوبری جهانی (*GNSS*) گوشی‌های هوشمند می‌توانند مشاهدات شبه فاصله، داپلر، فاز موج حامل و سایر داده‌های رصد ماهواره‌ای را به صورت آنی با فرکانس ۱ هرتز در اختیار قرار دهند. در همان زمان، گوشی هوشمند می‌تواند داده‌های مشاهده شده را که توسط ایستگاه مرجع پخش می‌شود، دریافت کند. در این مطالعه برای تعیین موقعیت از دو گوشی هوشمند سامسونگ مدل *Galaxy S21 Ultra* و شیائومی مدل *Mi8* استفاده شده است. از طرفی، از گیرنده *GNSS*، *U-Blox* مدل *ZED-F9P* برای مقایسه موقعیت‌های حاصل از گوشی‌های هوشمند با روش‌های پس پردازش کینماتیک (*PPK*)، تعیین موقعیت نقطه‌ای (*SPP*) و تلفیقی استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد، اثر خطای چند مسیری و نویز باعث ایجاد جهش‌های فاز متعدد در مشاهدات گوشی *Mi8* شده که باعث کاهش دقت نتایج حاصل از روش *PPK* در خیابان‌های دارای ساختمان‌های بلند نسبت به روش *SPP* شده، درحالی‌که در خیابان‌هایی که دارای ساختمان‌های بلند نیستند الگوریتم *PPK* بهتر از روش *SPP* حتی در گوشی هوشمند *Mi8* عمل می‌نماید. از طرف دیگر، در روش *SPP*،نتایج گوشی *S21 Ultra* همواره دقیق‌تر از گوشی *Mi8* بوده است که دلیل آن را می‌توان به خاطر آنتن بهتر این گوشی نسبت به گوشی *Mi8* دانست. در روش تلفیقی که از فیلتر کالمن توسعه یافته (*EKF*) و مشاهدات سیستم ناوبری اینرسی (*INS*) استفاده می‌شود مشاهدات پرت شناسایی شده و حذف می‌شوند که این امر منجر به بهبود دقت در حد ۲ الی ۴ متر نسبت به روش‌های *PPK* و *SPP* می‌شود. در نهایت، از نتایج بدست آمده مشخص شد که در خیابان‌های دارای ساختمان‌های بلند مثل خیابان‌های خیام و نادری در شهر قزوین دقت تعیین موقعیت با استفاده از گوشی‌های هوشمند در حد ۶ متر و در خیابان‌های دارای ساختمان‌هایی با ارتفاعی متوسط به دقت حدود ۲ متر با استفاده از روش تلفیقی می‌توان دست یافت.

کلیدواژه‌ها : تعیین موقعیت پس پردازش کینماتیک، گوشی هوشمند، *GNSS*، روش تلفیقی.

* نویسنده مکاتبه‌کننده: تهران، خیابان ولیعصر، تقاطع میرداماد، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.

تلفن: ۰۹۳۳۸۳۹۸۴۵۱

Email: pourmina@email.kntu.ac.ir

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-24]

[DOI: 10.61186/jgit.12.3.45]

۱- مقدمه

تعیین موقعیت آنی با استفاده از مشاهدات خام *GNSS*[1] (سیستم‌های ماهواره‌ای جهانی) گوشی‌های هوشمند یکی از موضوعات تحقیقات جدید در حوزه ناوبری و *GNSS* در ۵ سال اخیر می‌باشد *[۱]*. دقت تعیین موقعیت به کیفیت تکنولوژی مورد استفاده بستگی دارد. فناوری‌ها و تکنیک‌های متفاوتی برای تعیین موقعیت وجود دارد که به دو دسته مطلق و نسبی تقسیم می‌شود. گیرنده‌های *GNSS* که یک تعیین موقعیت مطلق محسوب می‌شوند در تعیین موقعیت لحظه‌ای یک شیء متحرک با خطاهای مختلفی همراه می‌باشند، که سبب کاهش صحت و دقت مختصات حاصل از آن‌ها می‌شود. از طرفی سنسورهای تعیین موقعیت نسبی مانند ژیروسکوپ و مغناطیس‌سنج، که وضعیت محلی و لحظه‌ای متحرک را اندازه‌گیری می‌کنند، نیز دارای خطاهایی هستند که مشخصا به صورت تجمعی است. بنابراین مشاهدات هر حسگر، همراه با نویز تولید شده 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 خطای آن‌ها، می‌توان از ویژگی‌های مکمل این دو حسگرها جهت کاهش خطاهای یکدیگر استفاده نموده، در حالی که استفاده از تکنولوژی ارائه دهنده کیفیت بالای تعیین موقعیت مستلزم صرف هزینه زیاد و داشتن تخصص بالا می‌باشد. آنچه بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد، تکنولوژی با کیفیت و قیمت پایین‌تر تعیین موقعیت ماهواره‌ای[2] است که در قالب گوشی‌های هوشمند بصورت فراگیر در دسترس است. بنابراین بهبود تعیین موقعیت با وجود عوامل خطا یکی از کارهای ضروری در سیستم‌های گوشی‌های هوشمند می‌باشد و بسیاری از کشورهای پیشرفته در صدد جایگزینی این روش با روش‌های معمول می‌باشند. درحال حاضر بیش از ۵ بیلیون دستگاه *GNSS* در سراسر دنیا وجود دارد که ۸۰ درصد از آن‌ها گوشی‌های هوشمند هستند و بیش از ۵۰ درصد از نرم‌افزارهای موجود در فروشگاه نرم افزار گوگل و اپل از اطلاعات موقعیتی کاربر استفاده می‌کنند. گوشی‌های هوشمند، با رشد بی‌سابقه‌ای برای کارهایی با دقت بالا و در زمینه‌های مختلفی از پیمایش یک بیشه تا مسیریابی با یک قایق تفریحی استفاده می‌شوند و به احتمال زیاد در کارهای بسیار دقیق‌تر در بازار تجاری آینده، از گوشی‌های هوشمند بیشتر استفاده خواهد شد *[۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷ و ۸]*.

ویژگی‌های مثبت این گیرنده‌ها اعم از قابل حمل بودن، سبک بودن و قیمت خیلی پایین‌تر نسبت به گیرنده‌های ژئودتیکی باعث شده تا از آن‌ها برای اهداف مختلفی استفاده شود که در این بین دقت تعیین موقعیت در آن‌ها یکی از مهم‌ترین پارامترهایی است که باید به آن توجه شود. عملکرد طبیعی و معمول تعیین موقعیت در گوشی‌های هوشمند درحال حاضر و در شرایط ایده‌آل از دقت چند ده متر تا چندین متر متغیر می‌باشد. با توجه به افزایش روز افزون استفاده از گیرنده‌های گوشی‌های هوشمند در علم و صنعت نیاز به بهبود الگوریتم‌ها به هدف افزایش دقت تعیین موقعیت دستگاه‌های بازار انبوه و برنامه‌ها و کاربردهای آن‌ها و همچنین کیفیت سیگنال‌های مورد استفاده حس می‌شود که این امر به افزایش بهروری از نرم‌افزارهای مکان مبنای گوشی‌های هوشمند کمک می‌کند *[۸، ۹، ۱۰، ۱۱ و ۱۲]*.

در زمینه افزایش دقت تعیین موقعیت به وسیله گوشی‌های هوشمند، تحقیقات متفاوتی انجام شده است. کراکسکی و همکاران (۱۹۹۸) در سال ۱۹۹۸ از فیلتر کالمن برای ادغام سه سیستم تعیین موقعیت کیلومترشمار، تطبیق نقشه و *GPS* استفاده کردند و در سیستم مکان‌یاب خودرو بکار گرفتند با توجه به این موضوع که خودرو به یک شبکه جاده‌ای محدود می‌شود

[1] *Global Navigation Satellite Systems*
[2] *GPS*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-24]
[DOI: 10.61186/jgit.12.3.45]

می‌توان یک الگوی حرکتی، جهت مکان‌یابی برای خودرو تعریف کرد و این مهم ارزش فناوری‌های موقعیت‌یاب یکپارچه را در محیط شهری آشکارتر می‌کند [۱۳]. باریوس و موتای (۲۰۱۱) در سال ۲۰۱۱ تعیین و اصلاح موقعیت خودرو را در یک مسیر منحنی بررسی شد [۱۱]. در این مطالعه، از پارامترهای سرعت ثابت، شتاب ثابت، مکان ثابت و تکان‌های ثابت و همچنین یک روش تشخیص ژئومتری تکراری براساس داده‌های سیستم اطلاعات مکانی[1](*GIS*) در سیستم فیلتر کالمن مدل چندگانه تعاملی[2](*IMM*) ادغام کردند که تأثیر رضایت‌بخشی بر اصلاح موقعیت در مسیر منحنی داشت. لیو و همکاران (۲۰۱۶) در سال ۲۰۱۶ از یک سیستم اینرسی، سرعت و شتاب را محاسبه و همراه با *GPS* در الگوریتم فیلتر کالمن ادغام کرده‌اند[۱۲]. لاحرچ و همکاران (۲۰۰۴) در تحقیقی دیگر، برای تعیین و اصلاح موقعیت خودرو از اندازه‌گیری‌های نقشه راه، کیلومتر شمار خودرو و *GPS* استفاده کرده‌اند، در این مطالعه، نقشه مانند یک حسگر، همراه با داده‌های *GPS* و کیلومترشماره در الگوریتم فیلتر کالمن ادغام شد نتایج تا حدودی رضایتبخش بوده است[۱۴]. کیم و همکاران (۲۰۰۰) در مطالعه‌ای دیگر، تنها با استفاده از داده‌های *GPS* و نقشه‌راه دیجیتال و ادغام آن‌ها در الگوریتم فیلتر کالمن توانستند تا حدودی موقعیت خودرو را اصلاح نمایند [۱۵]. النجار و بونفیت (۲۰۰۵) جهت برآورد دقیق موقعیت خودرو ، پارامترهای سرعت، جهت، فاصله و طول و عرض جغرافیایی را با استفاده از الگوریتم فیلتر کالمن ادغام کردند. آن‌ها به این نکته اشاره کرده‌اند که با استفاده از یک نقشه راه می‌توان عملکرد این روش را افزایش داد [۱۶]. در مطالعات پیشین بر روی مشاهدات خام گوشی‌های هوشمند در محیط‌های شهری تحقیقات اندکی صورت گرفته و با توجه به خطای بالای تعیین موقعیت با گوشی‌های هوشمند و اهمیت بالای دقت در این نواحی لذا اهداف اصلی این مطالعه :

(۱) تعیین موقعیت خودروی در حال حرکت با استفاده از گوشی‌های هوشمند اندرویدی در نواحی شهری با دقتی بهتر از روش‌های پیشین، (۲) پردازش داده‌های خام حاصل از گوشی‌های هوشمند اندرویدی با استفاده از روش‌های تعیین موقعیت *SPP*، *PPK* و تلفیق مختصات حاصل از *PPK* و سنسور *INS* گوشی هوشمند، (۳) ارزیابی نتایج حاصل از پردازش داده‌های گوشی هوشمند با گیرنده *U-Blox* مدل *ZED-F9P* است.

۲- داده‌های مورد استفاده

در این تحقیق برای تعیین موقعیت با استفاده ازگوشی هوشمند از دو گوشی سامسونگ مدل *Galaxy S21 Ultra* و شیائومی مدل *Mi8* استفاده شده است. هر دو مدل قادر به برداشت مشاهدات شبه فاصله کد و فاز موج حامل را در دو فرکانس (*L1/E1* و *L5/E5*) و منظومه‌های *GPS*، گلوناس، گالیله، بیدو[3]و *QZSS* می‌باشند. آنتن‌های گیرنده‌های ژئودتیک تجاری از نوع *RHCP* هستند، در صورتی که گوشی‌های هوشمند از گیرنده‌های کم کیفیت دارای قطبش خطی یا *LP* می‌باشند که به همین دلیل گوشی‌های هوشمند در مقابل خطای چند مسیری[4] آسیب‌پذیر هستند [۳۲]. همچنین، نویز گوشی‌های هوشمند به دلیل قدرت سیگنال کم (یا نسبت *SNR* پایین) نسبت به گیرنده‌های تجاری بسیار بیشتر است. نویز مشاهده شبه فاصله *L1* تا ۱۰ متر در فضای باز و تا ۲۰ متر در نواحی شهری می‌رسد که این امر تعیین موقعیت با استفاده از گوشی‌های هوشمند در محیط‌های شهری را چالش برانگیز می‌کند. همچنین، از گیرندهٔ ژئودتیک استونکس مدل *S3II SE* در شعاع دو کیلومتری مسیر حرکت خودرو به عنوان نقطه مرجع برای انجام روش پس پردازش کینماتیک[5](*PPK*) با استفاده از مشاهدات

[1] *Geospatial Information System*
[2] *Interacting Multiple Model (IMM) Kalman filter*
[3] *BeiDou*
[4] *Multipath*
[5] *Post-Processing Kinematic*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-24]
[DOI: 10.61186/jgit.12.3.45]

گوشی‌های هوشمند استفاده شد. از طرفی، از گیرنده *U-Blox* مدل *ZED-F9P* که به وسیله یک آنتن بر روی سقف خودرو قرار گرفته و در بستر اینترنت به شبکه شمیم وصل شده بود برای مقایسه موقعیت‌های حاصل شده از گوشی‌های هوشمند با روش‌های مورد نظر استفاده شد. عملیات فوق در شهر قزوین صورت گرفته و کل مسیر برداشت شده در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل ۱: مسیر حرکت خودرو در حین برداشت مشاهدات با استفاده از گوشی‌های هوشمند و گیرنده *U-Blox*.

۳- روش تحقیق

در این بخش، روش‌های مورد استفاده برای تعیین موقعیت به همراه روابط آن‌ها شرح داده می‌شود. ابتدا روش پس‌پردازش کینماتیک، سپس، الگوریتم روش کینماتیک و در نهایت روش تلفیقی به همراه روابط مربوطه شرح داده می‌شوند.

۳-۱- الگوریتم پس‌پردازش کینماتیک

پس‌پردازش کینماتیک یا *PPK*، یک روش مورد استفاده محبوب برای تعیین موقعیت است، زیرا امکان تعیین‌موقعیت با دقت بالا را برای داده‌های کینماتیکی برداشت شده فراهم می‌کند. روش *PPK* می‌تواند با استفاده از گیرنده متحرک[1] و فایل مشاهده‌ای ایستگاه مبنا[2] و فایل های افمریز چند سامانه‌ای[3] برای انجام تعیین موقعیت دقیق در هر اپک استفاده کند. و علاوه بر استفاده از اندازه‌گیری‌های شبه فاصله، *PPK* از فاز موج حامل موجود در اندازه‌گیری‌های *GPS* نیز استفاده می‌کند. *PPK* همچنین به کاربر این امکان را می‌دهد که محاسبات *EKF* را پیاده‌سازی کند، که در

[1] *Rover*
[2] *Base Station*
[3] *Multi Constellation*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-24]
[DOI: 10.61186/jgit.12.3.45]

زمان به جلو[1] و عقب[2] عمل می‌کند. با انجام این کار، آناملی‌های جهتی[3] مانند جهش فاز تشخیص داده شده و هر دو نتیجه برای تولید نتایج با دقت و یکپارچگی بهتر ترکیب می‌شود.

۳-۲- الگوریتم روش کینماتیک

روش کینماتیک پسا پردازش یا *PPK* بر اساس فیلتر کالمن توسعه یافته[4] و تفاضلی دوگانه[5] با توجه به ایستگاه بیس کار می‌کند. *EKF* برای محاسبه بردار وضعیت برآورد شده x_k، و ماتریس کوواریانس آن P_k، برای اپک t_k، با استفاده از بردار مشاهدات y_k استفاده می‌شود (روابط(۱) تا (۷)).

$$H_k = \frac{\partial h}{\partial x}\Big|_{x_{k|k-1}} \qquad \text{رابطه(۱)}$$

$$K_k = P_{k|k-1}H_k^T\left(H_k P_{k|k-1}H_k^T + R_k\right)^{-1} \qquad \text{رابطه(۲)}$$

$$x_k^+ = x_k^- + K_k\left(y_k - h\left(x_k^-\right)\right) \qquad \text{رابطه(۳)}$$

$$P_k^+ = \left(I - K_k H\left(x_k^-\right)\right)P_k^- \qquad \text{رابطه(۴)}$$

$$P_k^+ = \left(I - K_k H\left(x_k^-\right)\right)P_k^- \qquad \text{رابطه(۵)}$$

$$x_{k+1}^- = F_k^{k+1}x_k^+ \qquad \text{رابطه(۶)}$$

$$P_{k+1}^- = F_k^{k+1}P_k^+F_k^{k+1} + Q_k^{k+1} \qquad \text{رابطه(۷)}$$

در روابط (۱) تا (۷)، علائم +/- نشان می‌دهد که اندازه‌گیری قبل یا بعد از به‌روزرسانی است. H_k دینامیک اندازه‌گیری خطی شده است که در فاز به‌روزرسانی استفاده می‌شود، K_k بهره کالمن، F و Q به ترتیب ماتریس انتقال وضعیت و ماتریس کوواریانس نویز سیستم هستند و I نیز ماتریس همانی است. برای یک گیرنده مفروض r، ایستگاه مبدا b، و ماهواره‌های j و k، می‌توانیم تفاضل دو برابر شبه فاصله P و اندازه‌گیری فاز حامل F را بگیریم که در روابط (۸) و (۹) اشاره شده است.

$$P_{rb,i}^{jk} = \rho_{rb}^{jk} + \varepsilon_p \qquad \text{رابطه(۸)}$$

$$\Phi_{rb,i}^{jk} = \rho_{rb}^{jk} + \lambda\left(B_{rb,i}^{j} - B_{rb,i}^{k}\right) + \varepsilon_\Phi \qquad \text{رابطه(۹)}$$

در روابط (۸) و (۹)، r فاصله هندسی، ε نویز، λ و i طول موج و شاخص متناظر سیگنال *GNSS* هستند که در این مطالعه *L1* و *L5* بوده و B ابهام فاز عدد صحیح تک تفاضلی است. تفاضلی دوگانه به طور موثر اثرات خطای اتمسفری را از مشاهدات حذف می‌کند. بردار وضعیت x که ما آن را برآورد می‌کنیم شامل موقعیت r_r، سرعت v_r و شتاب a_r گیرنده می‌شود (رابطه(۱۰)).

$$x = \begin{bmatrix} r_r \\ v_r \\ a_r \\ B_1 \\ B_5 \end{bmatrix} B_i = \begin{bmatrix} B_{rb,i}^1 \\ B_{rb,i}^2 \\ \cdots \\ B_{rb,i}^m \end{bmatrix} \qquad \text{رابطه(۱۰)}$$

در رابطه (۱۰)، بردارهای B_1 و B_5 شامل ابهام فازهای تفاضلی یگانه می‌باشند و m تعداد ماهواره‌های مشاهده شده و استفاده شده در محاسبات بوده که به همراه سایر پارامترها با استفاده از *EKF* برآورد می‌شوند. به منظور تشکیل معادلات تفاضلی یگانه ماهواره با بالاترین زاویه ارتفاعی به دلیل کمترین نویز و اثر چند مسیری کم به عنوان ماهواره مرجع انتخاب می‌شود. اگرچه این شرایط برای یک ماهواره با ارتفاع بالا در شرایط آسمان باز خوب است، اما توجه به این نکته مهم است که اگر این ماهواره دارای آناملی باشد، این می‌تواند بر کیفیت خروجی نهایی تأثیر منفی بگذارد (رابطه(۱۱)). در رابطه (۱۱)، بردارهای Φ و P به ترتیب مشاهدات فاز و کد تفاضلی دوگانه هستند. برای

[1] *Forward*
[2] *Backward*
[3] *Directional Anomalies*
[4] *Extended Kalman Filter: EKF*
[5] *Double Difference*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-24]
[DOI: 10.61186/jgit.12.3.45]

به‌روزرسانی مشاهدات، بردار مدل اندازه‌گیری $h(x)$، ماتریس مشتقات جزئی $H(x)$، و ماتریس کوواریانس خطاهای اندازه‌گیری R را به صورت روابط(۱۲) تا (۱۶) می‌نویسیم.

رابطه(۱۱)
$$y=\begin{bmatrix}\Phi_1\\ \Phi_5\\ P_1\\ P_5\\ B_5\end{bmatrix}\Phi_i=\begin{bmatrix}\Phi_{rb,i}^{12}\\ \Phi_{rb,i}^{13}\\ \cdots\\ \Phi_{rb,i}^{1m}\end{bmatrix}P_i=\begin{bmatrix}P_{rb,i}^{12}\\ P_{rb,i}^{13}\\ \cdots\\ P_{rb,i}^{1m}\end{bmatrix}$$

رابطه(۱۲)
$$h(x)=\begin{bmatrix}h_{\Phi,1}\\ h_{\Phi,5}\\ h_{P,1}\\ h_{P,5}\end{bmatrix}H(x)=\begin{bmatrix}\text{-DE} & 0 & \lambda 1\text{D} & 0\\ \text{-DE} & 0 & 0 & \lambda_5 D\\ \text{-DE} & 0 & 0 & 0\\ \text{-DE} & 0 & 0 & 0\end{bmatrix}$$

رابطه(۱۳)
$$R=diag\left(DR_{\Phi,1}D^T, DR_{\Phi,5}D^T, DR_{P,1}D^T, DR_{P,5}D^T\right)$$

رابطه(۱۴)
$$h_{\Phi,i}=\begin{bmatrix}\rho_{rb}^{12}+\lambda_i\left(B_{rb}^1-B_{rb}^2\right)\\ \rho_{rb}^{13}+\lambda_i\left(B_{rb}^1-B_{rb}^3\right)\\ \cdots\\ \rho_{rb}^{1m}+\lambda_i\left(B_{rb}^1-B_{rb}^m\right)\end{bmatrix}h_{P,i}=\begin{bmatrix}\rho_{rb}^{12}\\ \rho_{rb}^{13}\\ \cdots\\ \rho_{rb}^{1m}\end{bmatrix}$$

رابطه(۱۵)
$$D=\begin{bmatrix}1 & -1 & 0 & \cdots & 0\\ 1 & 0 & -1 & & 0\\ & & \cdots & & \\ 1 & 0 & 0 & \cdots & -1\end{bmatrix}E=\left[e_r^1, e_r^2, \ldots, e_r^m\right]$$

رابطه(۱۶)
$$R_{\Phi,i}=diag\left(2\sigma_{\Phi,i^2}^1, 2\sigma_{\Phi,i^2}^2, \ldots, 2\sigma_{\Phi,i^2}^m\right)R_{P,i}=diag\left(2\sigma_{P,i^2}^1, 2\sigma_{P,i^2}^2, \ldots, 2\sigma_{P,i^2}^m\right)$$

در روابط (۱۲) تا (۱۶)، e بردار خط دید (LOS) بین ماهواره و گیرنده و D ماتریس تفاضلی یگانه است و σ انحراف معیار خطای اندازه‌گیری شبه فاصله و فاز موج حامل برای هر ماهواره است. برای بروزرسانی زمانی EKF، حالت تعیین موقعیت کینماتیک و دینامیک گیرنده فعال است. بنابراین، ماتریس انتقال وضعیت و ماتریس کوواریانس نویز سیستم به صورت روابط(۱۷) تا (۲۰) تعریف شده می‌شود.

رابطه(۱۷)
$$F_k^{k+1}=\begin{bmatrix}I_{3\times3} & I_{3\times3}\tau_r & I_{3\times3}\dfrac{\tau_r^2}{2} & & \\ 0 & I_{3\times3} & I_{3\times3}\tau_r & & \\ 0 & & I_{3\times3} & & \\ & & & \mathrm{I}_{(2m-2)\times(2m-2)} & \end{bmatrix}$$

رابطه(۱۸)
$$Q_k^{k+1}=diag\left(0_{3\times3}, 0_{3\times3}, Q_a, 0_{(2m-2)\times(2m-2)}\right)$$

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-24]
[DOI: 10.61186/jgit.12.3.45]

رابطه(۱۹)

$$Q_a = E_r^T diag\left(\sigma_{ae}^2\tau_r, \sigma_{an}^2\tau_r, \sigma_{au}^2\tau_r\right)E_r$$

رابطه(۲۰)

$$\tau_r = t_{k+1} - t_k$$

در روابط (۱۷) تا (۲۰) ، τ_r فاصله نمونه‌گیری گیرنده در ثانیه بین اپک‌های k و $1 + k$ بوده و $\left(\sigma_{ae}, \sigma_{an}, \sigma_{au}\right)$ اجزای شرق، شمال و بالای نویز فرآیند سیستم شتاب گیرنده هستند. در اینجا، به منظور حل ابهام فاز تفاضلی دوگانه بایستی از ساختارهای فوق استفاده شود.

۳-۳- تلفیق مختصات حاصل از *PPK* و سنسور *INS* گوشی هوشمند

برای اخذ و محاسبه زاویه آزیموت از خروجی مغناطیس‌سنج استفاده شده است که در واحد تسلا بر ثانیه است. اگر سامانه مغناطیس‌سنج در وضعیت تراز و زوایای پیچ و رول در حد صفر باشند زاویه آزیموت از رابطه (۲۱) حاصل می‌شود. در این رابطه ψ زاویه آزیموت، M_x^h و M_y^h مؤلفه‌های میدان مغناطیسی در صفحه تراز افقی هستند که از سنسور مغناطیس‌سنج گوشی استخراج می‌شوند و نسبت به یکدیگر قائم می‌باشند. در صورت تراز نبودن سامانه، آزیموت از رابطه (۲۲) حاصل می‌شود. رابطه (۲۰) زاویه آزیموت را در بازه ۰ تا ۳۶۰ درجه محاسبه می‌کند *[۲۶]*.

رابطه(۲۱)

$$\psi = -\tan^{-1}\left(\frac{\mathrm{M}_y^h}{\mathrm{M}_x^h}\right)$$

رابطه(۲۲)

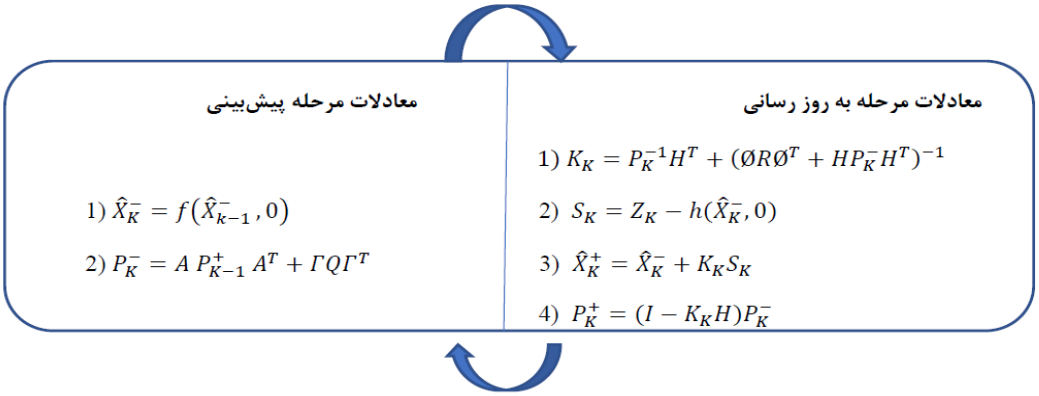
$$\psi = \begin{cases} 90 & \mathrm{M}_x^h = 0, \mathrm{M}_y^h < 0 \\ 270 & \mathrm{M}_x^h = 0, \mathrm{M}_y^h > 0 \\ 180\text{-}\tan^{-1}\left(\frac{\mathrm{M}_y^h}{\mathrm{M}_x^h}\right)\times\frac{180}{\pi} & \mathrm{M}_x^h < 0 \\ -\tan^{-1}\left(\frac{\mathrm{M}_y^h}{\mathrm{M}_x^h}\right)\times\frac{180}{\pi}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

متداول‌ترین کاربرد شتاب‌سنج‌ها در تلفن‌های همراه شامل تشخیص حرکات و تعیین زاویه انحراف از تراز است *[۲۷]*. از شتاب‌خطی در دو جهت x و y که خروجی حسگر شتاب‌سنج خطی سه محوره می‌باشد، جهت بهبود موقعیت خودرو استفاده شده است.

فیلتر کالمن با استفاده از محاسبات بازگشتی، برآوردی با خطای میانگین کمترین مربعات از وضعیت، بردار x را بدست می‌آورد که با $\hat{x}$ نشان داده می‌شود. هدف اصلی بدست آوردن تخمین دقیق $\hat{x}_k$ برای وضعیت سیستم مشاهده شده در زمان k است. اجرای فیلتر کالمن شامل دو مرحله است *[۲۸]* که در شکل (۲) معادلات آن‌ها نشان داده شده است.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-24]

[DOI: 10.61186/jgit.12.3.45]

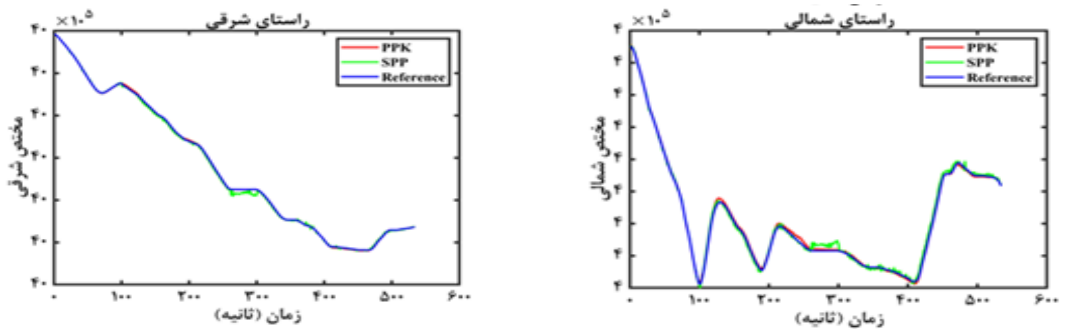


شکل ۲: معادلات مراحل پیش‌بینی و اصلاح فیلتر کالمن توسعه‌یافته *[۲۸]*.

در شکل(۲)، عملگرهای - و + به ترتیب پیش‌بینی پیشین و بروز رسانی پسین را نشان می‌دهند. ارزیابی پیشین، تخمین حالت، قبل از اندازه‌گیری زمان k ام و ارزیابی پسین، تخمین حالت، پس از اندازه‌گیری زمان k ام است. داده‌های حاصل از سنسورها شامل شتاب‌سنج، ژیروسکوپ و مغناطیس‌سنج‌ها دارای منابع ایجاد نویز مشترک ناشی از رانش و حرکت‌های تصادفی و خطای بایاس هستند *[۲۹]*. سنسور مغناطیس‌سنج تحت تأثیر اغتشاشات نویز الکترونیک از تجهیزات الکترونیکی یا مغناطیسی موجود در محیط نیز قرار می‌گیرد. بعلاوه سنسور شتاب‌سنج در اثر لرزش مکانیکی عناصر سنجش و سیستم اندازه‌گیری، دچار نویز با فرکانس بالا می‌شود *[۳۰]*. در عین حال با توجه به موارد ذکر شده در ارتباط با خطاهای شتاب‌سنج، عملکرد استاتیک (اثر نیروی جاذبه) آن رضایت‌بخش است *[۳۱]*.

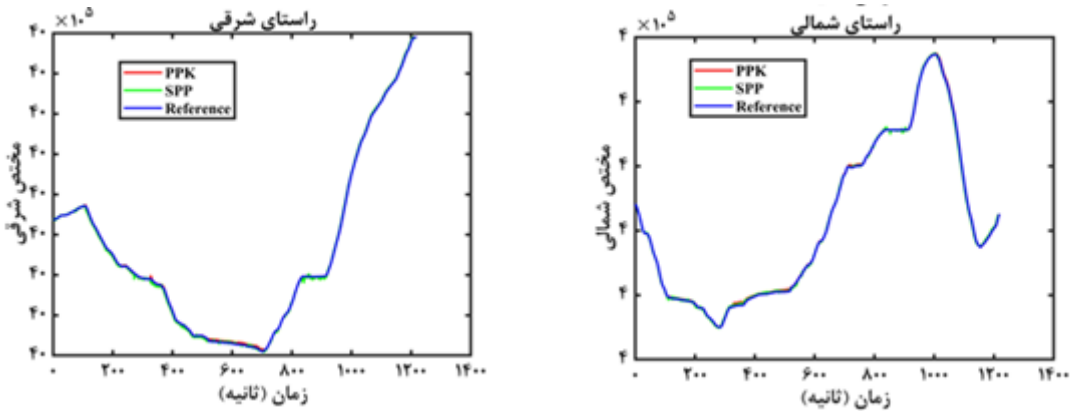
۴- نتایج و بحث

پس از برداشت مشاهدات خام با استفاده از گوشی‌های هوشمند با استفاده از نرم افزار *GNSS Logger* ، مشاهدات حاصله به فرمت راینکس تبدیل شده و سپس الگوریتم‌های ذکر شده در بخش (۳) روی مشاهدات اعمال شده و موقعیت خودرو با استفاده از روش‌های فوق برآورد شده است. ازاین‌رو، در شکل-های(۳) تا (۶) نتایج تعیین موقعیت خودرو بین دو روش *SPP* و *PPK* با مختصات مرجع *U-Blox* در دو راستای شرقی و شمالی نشان داده شده است. همچنین، لازم به ذکر است که به دلیل طولانی بودن، مسیر حرکت را به دو بخش تقسیم کرده و شکل هر بخش به صورت جداگانه قرار داده شده است.

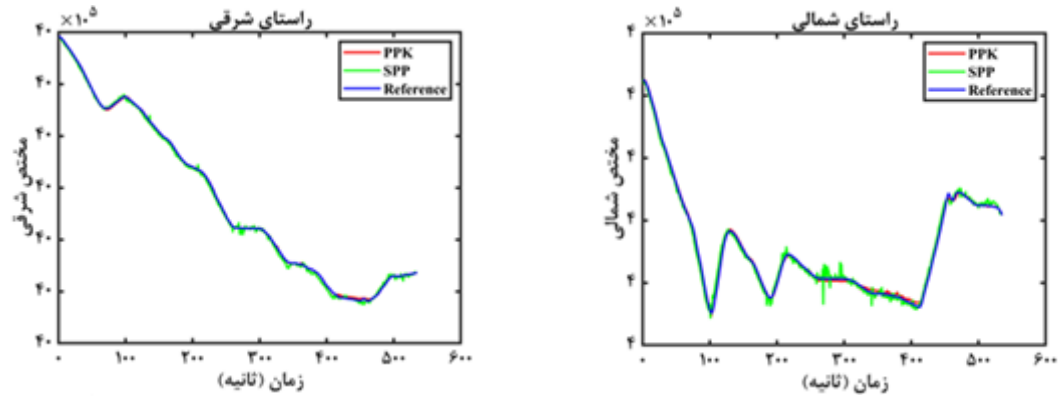


شکل ۳: بخش اول تعیین موقعیت برآورد شده خودرو حاصل از روش‌های *SPP* و *PPK* با مختصات مرجع *U-Blox* در دو راستای شرقی و شمالی با استفاده از گوشی *Mi 8*

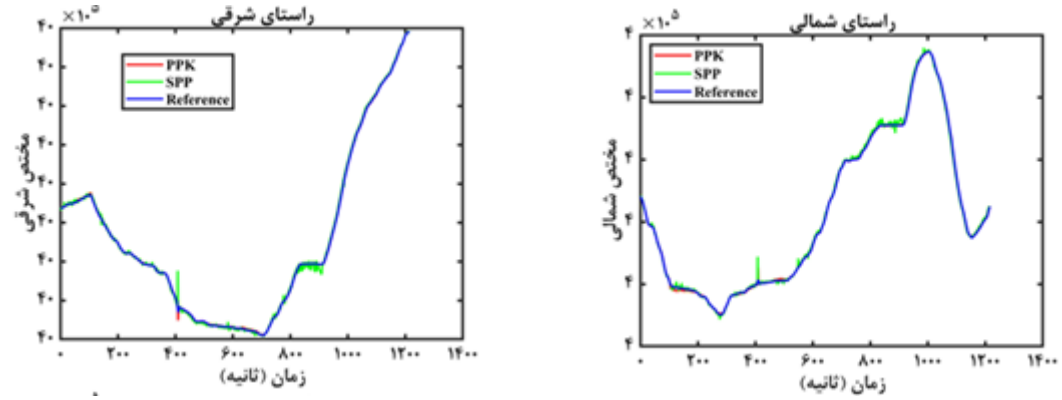
[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-24]
[DOI: 10.61186/jgit.12.3.45]



شکل ۴: بخش دوم تعیین موقعیت برآورد شده خودرو حاصل از روش‌های *SPP* و *PPK* با مختصات مرجع *U-Blox* در دو راستای شرقی و شمالی با استفاده از گوشی *Mi 8*

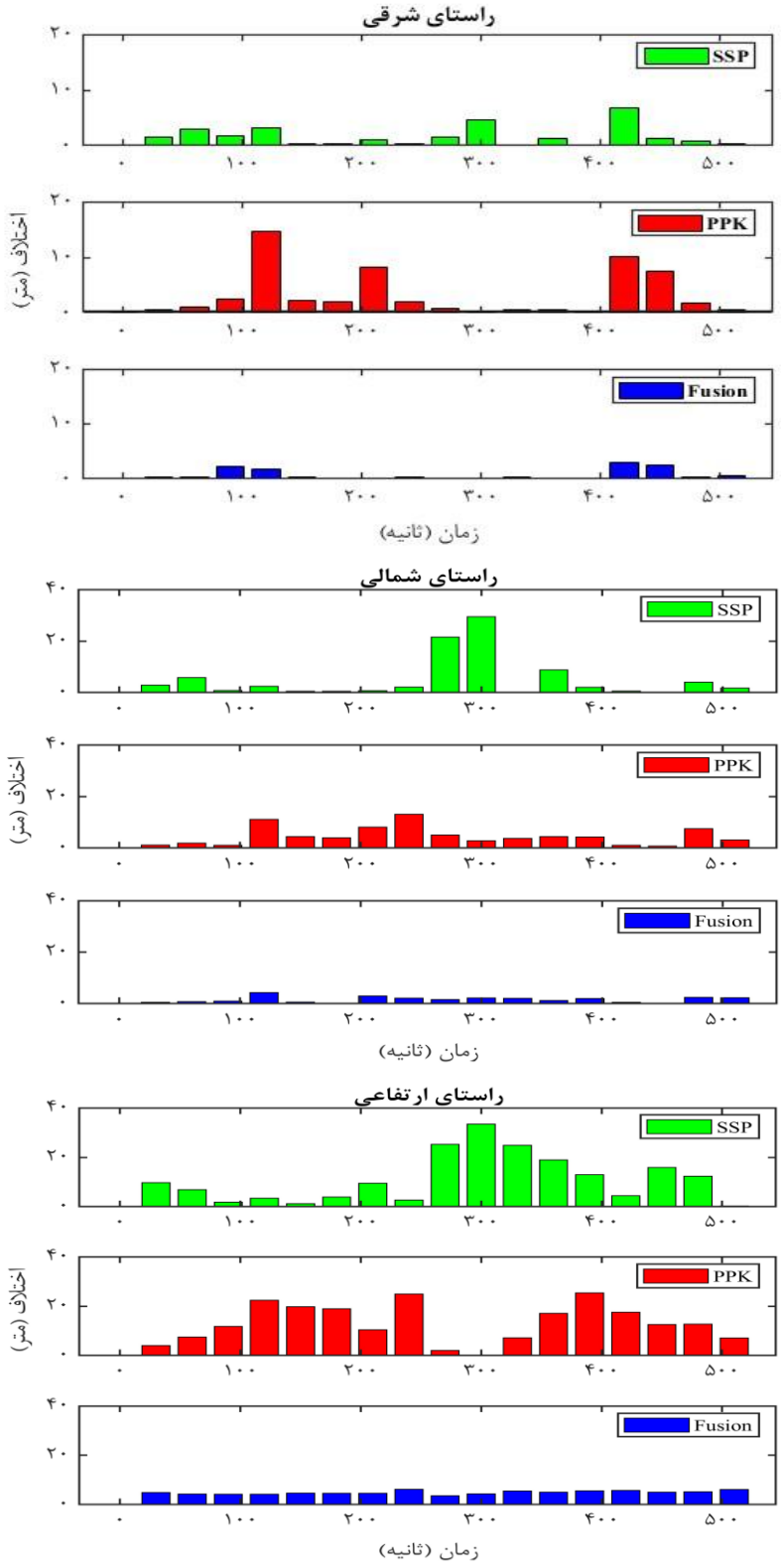


شکل ۵: بخش اول تعیین موقعیت برآورد شده خودرو حاصل از روش‌های *SPP* و *PPK* با مختصات مرجع *U-Blox* در دو راستای شرقی و شمالی با استفاده از گوشی *S21 Ultra*



شکل ۶: بخش دوم تعیین موقعیت برآورد شده خودرو حاصل از روش‌های *SPP* و *PPK* با مختصات مرجع *U-Blox* در دو راستای شرقی و شمالی با استفاده از گوشی *S21 Ultra*

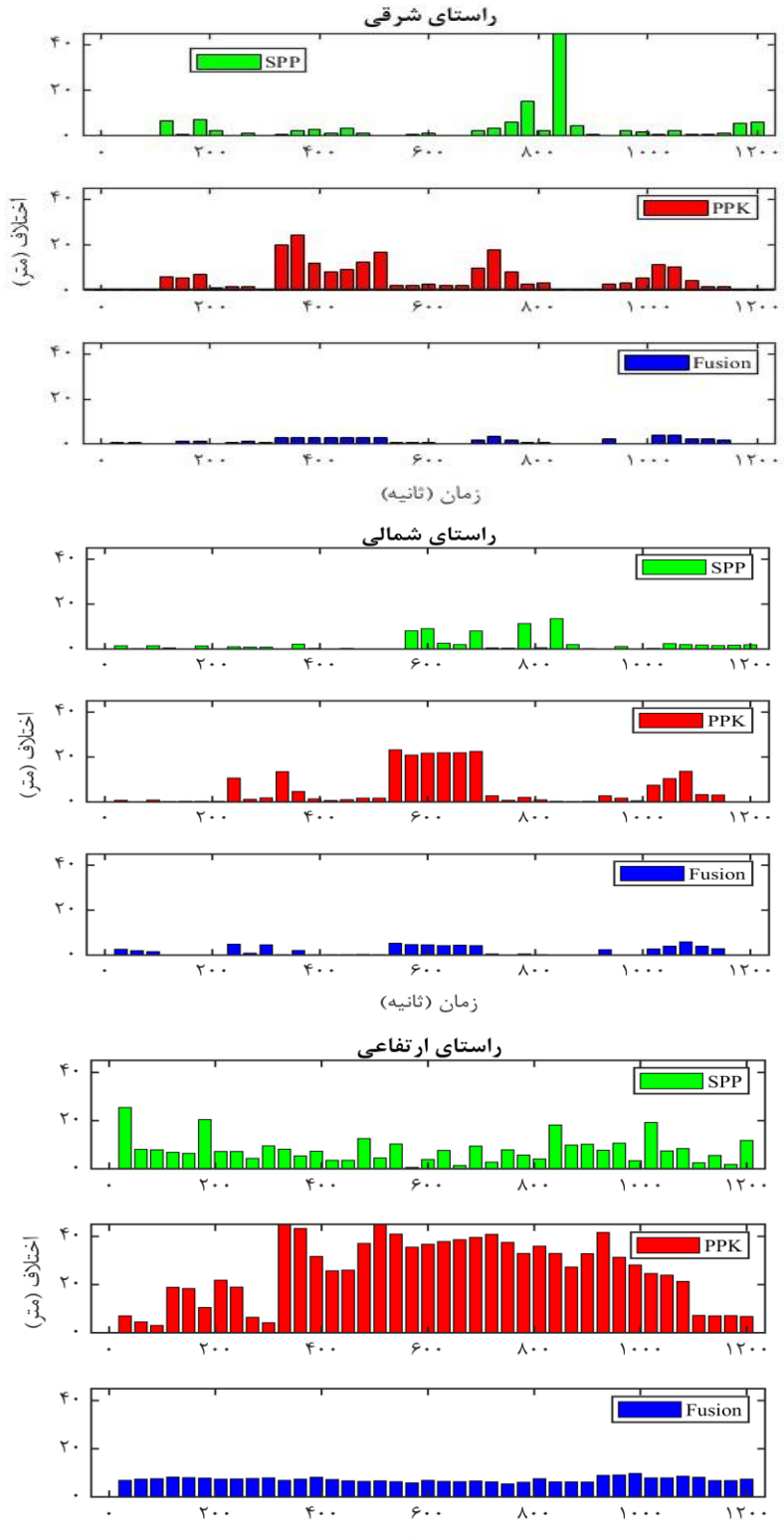
[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-24]
[DOI: 10.61186/jgit.12.3.45]



شکل ۷: اختلاف‌های بخش اول برآورد شده روش‌های تعیین موقعیت به ترتیب در راستای شرق، شمال و ارتفاعی با داده‌های مرجع با گوشی *Mi 8*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-24]

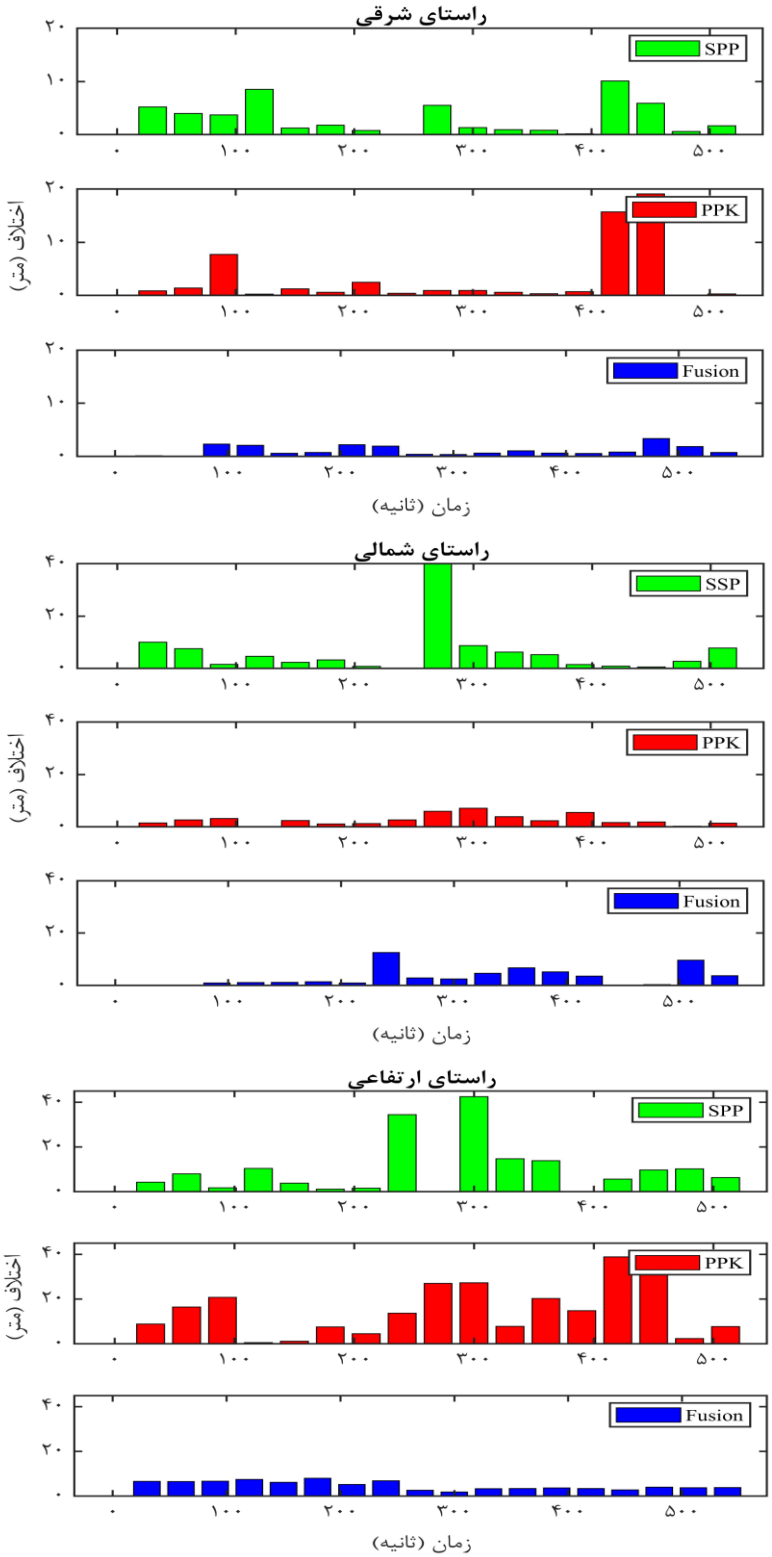
[DOI: 10.61186/jgit.12.3.45]



شکل ۸: اختلاف‌های بخش دوم برآورد شده روش‌های تعیین موقعیت به ترتیب در راستای شرق، شمال و ارتفاعی با داده‌های مرجع با گوشی *Mi 8*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-24]

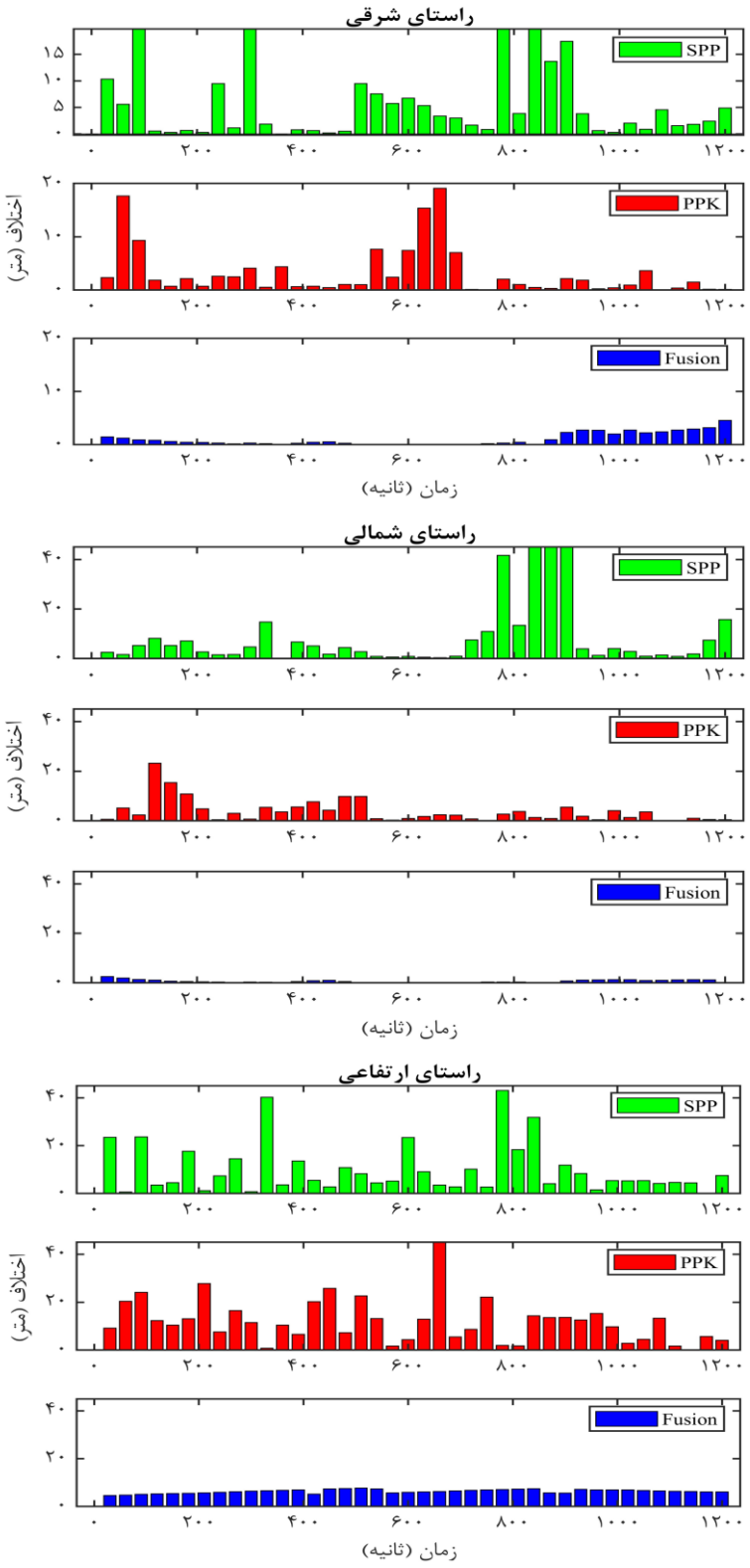
[DOI: 10.61186/jgit.12.3.45]



شکل ۹: اختلاف‌های بخش اول برآورد شده روش‌های تعیین موقعیت به ترتیب در راستای شرق، شمال و ارتفاعی با داده‌های مرجع با گوشی *S21*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-24]

[DOI: 10.61186/jgit.12.3.45]



شکل ۱۰: اختلاف‌های بخش دوم برآورد شده روش‌های تعیین موقعیت به ترتیب در راستای شرق، شمال و ارتفاعی با داده‌های مرجع با گوشی *S21*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-24]

[DOI: 10.61186/jgit.12.3.45]

با توجه به شکل‌های (۷) تا (۱۰) می‌توان به این نتیجه رسید که روش تلفیقی به دلیل تلفیق داده‌های سنسور *INS* با تکنیک *RTK* توانایی تعیین موقعیت در محیط‌های شهری را بهبود زیادی از خود نشان می‌دهد. به خصوص در بخش‌هایی که به دلیل خطای چند مسیری زیاد یا عبور از زیر پل یا زیرگذرهای شهری سیگنال قطع می‌شود و خطا به شدت زیاد می‌شود، در این حالت استفاده از *INS* کمک زیادی به ما خواهد کرد.

در جدول‌های (۱) و (۲) مقایسه تعیین موقعیت‌های برآورد شده با گوشی‌های هوشمند با روش‌های شرح داده شده با گیرنده *U-Blox* با استفاده از پارامتر آماری *RMSE* نشان داده شده است.

جدول ۱: مقایسه دقت نتایج حاصل از تعیین موقعیت با گوشی هوشمند *Mi 8* از سه روش *SPP*، *PPK* و تلفیقی با گیرنده *U-Blox* بر اساس متر.

خیابان	*PPK*	*SPP*	روش تلفیقی
دانشگاه	۱٫۹۷۶۹	۳٫۸۴۲	۱٫۷۴۵۱
یخچال	۱۱٫۱۰۰۹	۴٫۸۶۱۴	۱٫۸۴۱۷
خیام	۶٫۰۱۲۳	۱۲٫۲۸۰۱	۱٫۹۱۶۵
نادری	۵٫۰۰۶۴	۴٫۷۷۴۸	۲٫۲۴۵۷
پیغمبریه	۱۲٫۸۸۷۲	۵٫۶۹۵۷	۳٫۲۰۷۴
سپاه	۱۸٫۴۸۳۱	۵٫۶۵۸۷	۴٫۰۱۲۶
هشت بهشت	۷٫۰۰۰۸	۶٫۷۲۸۴	۲٫۹۲۴۲

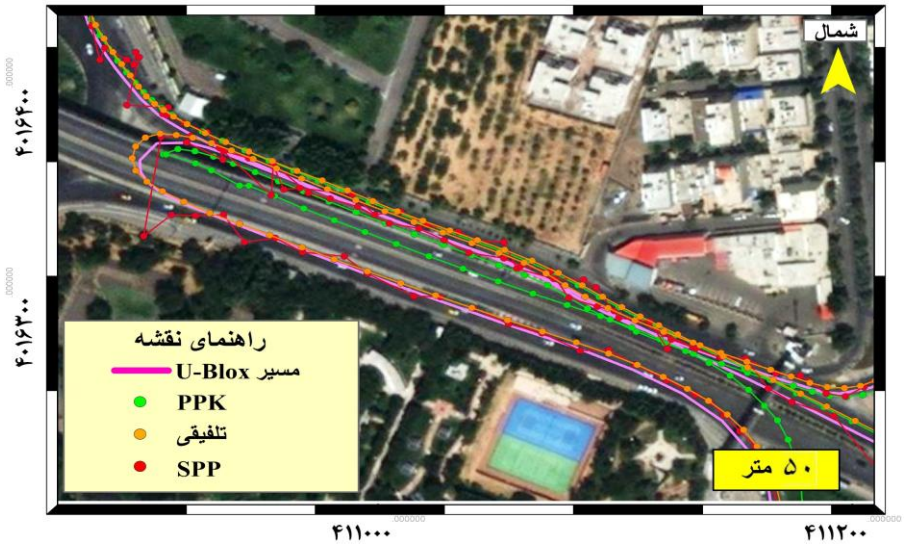
جدول۲: مقایسه دقت نتایج حاصل از تعیین موقعیت با گوشی هوشمند *S21 Ultra* از سه روش *SPP*، *PPK* و تلفیقی با گیرنده *U-Blox*.

خیابان	*PPK*	*SPP*	روش تلفیقی
دانشگاه	۵٫۳۳۳	۶٫۰۴۷۹	۱٫۸۸۵۱
یخچال	۲٫۷۵۲۸	۸٫۸۶۱۳	۱٫۹۸۶۷
خیام	۷٫۲۰۰۲	۱۳٫۲۹۸۹	۶٫۰۵۵۹
نادری	۱۳٫۳	۱۰٫۹۶۱۴	۶٫۰۲۵۸
پیغمبریه	۵٫۸۴۵۸	۸٫۱۲۷۴	۲٫۳۴۸۶
سپاه	۱۰٫۳۴۹۲	۱۶٫۴۲۰۱	۱٫۹۳۹۶
هشت بهشت	۳٫۳۷۶۲	۲۰٫۱۱۶۵	۲٫۹۱۹۸

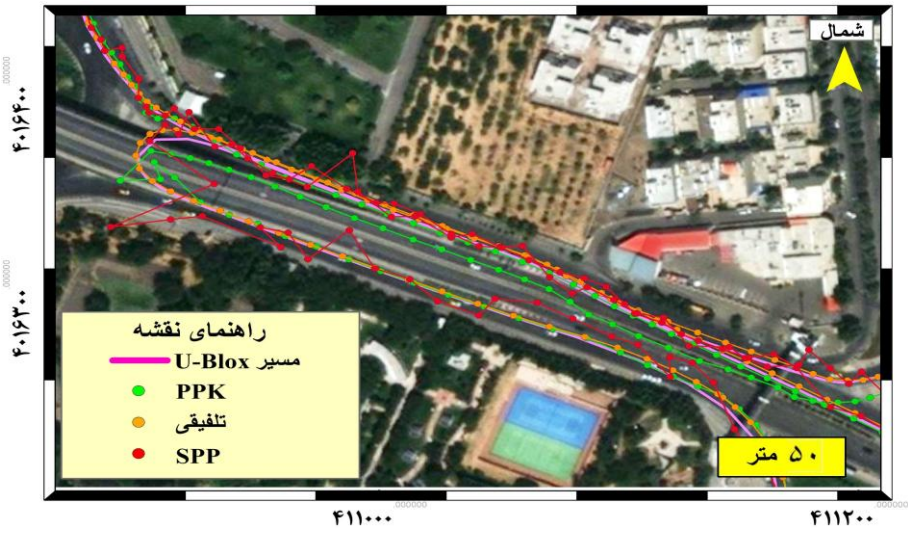
همانطور که از نتایج مشخص است، اثر خطای چند مسیری و نویز باعث ایجاد جهش‌های فاز متعدد در مشاهدات گوشی *Mi 8* شده که سبب شده است دقت نتایج حاصل از روش *PPK* در خیابان‌های دارای ساختمان های بلند از روش *SPP* که تنها از مشاهدات شبه فاصله کد در آن استفاده می‌شود کمتر باشد درحالی‌که در خیابان‌هایی که دارای ساختمان های بلند نیستند الگوریتم *PPK* بهتر از روش *SPP* حتی در گوشی هوشمند *Mi 8* ظاهر شده است. از طرف دیگر، در گوشی *S21 Ultra* نتایج همواره دقیق‌تر از روش *SPP* بوده است که دلیل آن به خاطر آنتن بهتر گوشی هوشمند *S21 Ultra* نسبت به گوشی *Mi 8* دانست. در

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-24]
[DOI: 10.61186/jgit.12.3.45]

روش تلفیقی، مشاهدات پرت شناسایی شده و حذف می‌شوند. در اینجا، برای شناسایی مشاهدات پرت، سرعت و شتاب حرکت خودرو بر اساس مشاهدات سنسور *INS* محاسبه و با تعیین یک حدآستانه مشاهدات پرت *GNSS* که سرعت و شتابی فراتر از بازه معقول حرکت خودرو دارند، شناسایی و حذف شدند. از طرفی، با استفاده از *EKF* و استفاده از مشاهدات *INS* نسبت به روش‌های *PPK* و *SPP* نتایج بهتری حاصل شده است. نمونه‌هایی از موقعیت‌های پردازش شده توسط روش‌های شرح داده شده برای گوشی‌های هوشمند و گیرنده *U-Blox* در شکل‌های (۱۱) و (۱۲) نشان داده شده است. به منظور پردازش مشاهدات گوشی به صورت نزدیک به آنی، مشاهدات خام به سرور پردازشی ارسال و تعیین موقعیت بر روی سرور انجام شد.



شکل ۱۱: موقعیت‌های حاصل از گوشی هوشمند *Mi 8* و گیرنده *U-Blox* در خیابان دانشگاه شهر قزوین.



شکل ۱۲: موقعیت‌های حاصل از گوشی هوشمند *S21 Ultra* و گیرنده *U-Blox* در خیابان دانشگاه شهر قزوین.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-24]

[DOI: 10.61186/jgit.12.3.45]

۵- نتیجه‌گیری

تعیین موقعیت آنی با استفاده از مشاهدات خام *GNSS* گوشی‌های هوشمند یکی از موضوعات تحقیقات جدید در حوزه ناوبری و *GNSS* در سال‌های اخیر می‌باشد. تحقیقات گذشته نشان می‌دهند دقت تعیین موقعیت گوشی‌های هوشمند با استفاده از تراشه‌های دو فرکانسه تحت شرایط محیطی مطلوب از ۸ تا ۱۰ متر به ۱ تا ۲ متر بهبود یافته است. در این مطالعه برای تعیین موقعیت با استفاده ازگوشی هوشمند از دو گوشی سامسونگ مدل *Galaxy S21 Ultra* و شیائومی مدل *Mi8* استفاده شده است. هر دو مدل قادر به برداشت مشاهدات شبه فاصله کد و فاز موج حامل را در دو فرکانس (*L1/E1* و *L5/E5*) و منظومه‌های *GPS*، گلوناس، گالیله، *BeiDou* و *QZSS* می‌باشند. از طرفی، از گیرنده *U-Blox* مدل *ZED-F9P* که به وسیله یک آنتن بر روی سقف خودرو قرار گرفته و در بستر اینترنت به شبکه شمیم وصل شده بود برای مقایسه موقعیت‌های حاصل شده از گوشی‌های هوشمند با روش‌های مورد نظر استفاده شد. نتایج نشان داد، اثر خطای چند مسیری و نویز باعث ایجاد جهش‌های فاز متعدد در مشاهدات گوشی *Mi 8* شده که سبب شده است دقت نتایج حاصل از روش *PPK* در خیابان‌های دارای ساختمان های بلند از روش *SPP* که تنها از مشاهدات شبه فاصله کد در آن استفاده می‌شود کمتر باشد درحالی‌که در خیابان‌هایی که دارای ساختمان های بلند نیستند ، الگوریتم *PPK* بهتر از روش *SPP* حتی در گوشی هوشمند *Mi 8* ظاهر شده است. از طرف دیگر، در روش *SPP* , نتایج گوشی هوشمند *S21 Ultra* همواره دقیق‌تر از گوشی *Mi 8* بوده است که دلیل آن به خاطر آنتن بهتر گوشی هوشمند *S21 Ultra* نسبت به گوشی *Mi 8* دانست. . در روش تلفیقی که از فیلتر کالمن توسعه یافته و مشاهدات *INS* استفاده می‌شود مشاهدات پرت شناسایی شده و حذف می‌شوند که این امر منجر به بهبود دقت در حد ۲ الی ۴ متر نسبت به روش‌های *PPK* و *SPP* می‌شود. در نهایت، از نتایج بدست آمده مشخص شد که در خیابان-های دارای ساختمان‌های بلند مثل خیابان‌های خیام و نادری در شهر قزوین دقت تعیین موقعیت با استفاده از گوشی‌های هوشمند در حد ۶ متر و در خیابان‌های دارای ساختمان هایی با ارتفاعی متوسط به دقت حدود ۲ متر با استفاده از روش تلفیقی می‌توان دست یافت. در ادامه پیشنهاد می‌شود که تحقیقاتی در ارتباط با کالیبراسیون آنتن‌های گوشی‌های هوشمند انجام شده و مرکز فاز آنتن با دقت مناسب تعیین شود. همچنین، بر روش استفاده از تکنیک‌های یادگیری ژرف و بهینه-سازی مشاهدات خام گوشی‌های هوشمند تمرکز شود.

مراجع

[1] *H. Sharma, A. Schütz, and T. Pany, "Qualitative analysis of smartphone GNSS raw measurements and effect of duty cycling on the RTK positioning," in NAVITEC, 2018.*

[2] *G. Force, "Using GNSS raw measurements on android devices," Eur. GNSS Agency (GSA), Tech. Rep, 2018.*

[3] *M. Sunkevic, "Using GNSS Raw Measurements on Android Devices-Tutorial part I," [European GNSS Agency], 2017.*

[4] *P. Dabove and V. Di Pietra, "Towards high accuracy GNSS real-time positioning with smartphones," Adv. Sp. Res., vol. 63, no. 1, pp. 94–102, 2019.*

[5] *D. Yoon, C. Kee, J. Seo, and B. Park, "Position accuracy improvement by implementing the DGNSS-CP algorithm in smartphones," Sensors, vol. 16, no. 6, p. 910, 2016.*

[6] *E. Realini, S. Caldera, L. Pertusini, and D. Sampietro, "Precise GNSS positioning using smart devices," Sensors, vol. 17, no. 10, p. 2434, 2017.*

[7] *X. Zhang, X. Tao, F. Zhu, X. Shi, and F. Wang, "Quality assessment of GNSS observations from an Android N smartphone and positioning performance*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-24]

[DOI: 10.61186/jgit.12.3.45]

analysis using time-differenced filtering approach," Gps Solut., vol. 22, no. 3, p. 70, 2018.

[8] Q. Wu, M. Sun, C. Zhou, and P. Zhang, "Precise point positioning using dual-frequency GNSS observations on smartphone," Sensors, vol. 19, no. 9, p. 2189, 2019.

[9] C. Jeffrey, An introduction to GNSS: GPS, GLONASS, Galileo and other global navigation satellite systems. NovAtel, 2010.

[10] J. Aggrey, S. Bisnath, N. Naciri, G. Shinghal, and S. Yang, "Multi-GNSS precise point positioning with next-generation smartphone measurements," J. Spat. Sci., vol. 65, no. 1, pp. 79–98, 2020.

[11] C. Barrios and Y. Motai, "Improving estimation of vehicle's trajectory using the latest global positioning system with Kalman filtering," IEEE Trans. Instrum. Meas., vol. 60, no. 12, pp. 3747–3755, Dec. 2011, doi: 10.1109/TIM.2011.2147670.

[12] X. Liu, J. Sima, Y. Huang, X. Liu, and P. Zhang, "A Simplified Kalman Filter for Integrated Navigation System with Low-Dynamic Movement," Math. Probl. Eng., vol. 2016, 2016.

[13] E. J. Krakiwsky, C. B. Harris, and R. V. C. Wong, "A Kalman filter for integrating dead reckoning, map matching and GPS positioning," in IEEE PLANS'88., Position Location and Navigation Symposium, Record.'Navigation into the 21st Century'., 1988, pp. 39–46.

[14] A. Lahrech, C. Boucher, and J.-C. Noyer, "Fusion of GPS and odometer measurements for map-based vehicle navigation," in 2004 IEEE International Conference on Industrial Technology, 2004. IEEE ICIT'04., 2004, vol. 2, pp. 944–948.

[15] W. Kim, G.-I. Jee, and J. Lee, "Efficient use of digital road map in various positioning for ITS," in IEEE 2000. Position Location and Navigation Symposium (Cat. No. 00CH37062), 2000, pp. 170–176.

[16] M. E. El Najjar and P. Bonnifait, "A road-matching method for precise vehicle localization using belief theory and kalman filtering," Auton. Robots, vol. 19, no. 2, pp. 173–191, 2005.

[17] R. Toledo-Moreo, M. A. Zamora-Izquierdo, and A. F. Gómez-Skarmeta, "IMM-EKF based road vehicle navigation with low cost GPS/INS," in 2006 IEEE International Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems, 2006, pp. 433–438.

[18] S. Rezaei and R. Sengupta, "Kalman filter-based integration of DGPS and vehicle sensors for localization," IEEE Trans. Control Syst. Technol., vol. 15, no. 6, pp. 1080–1088, 2007.

[19] F. A. Ghaleb, A. Zainal, M. A. Rassam, and A. Abraham, "Improved vehicle positioning algorithm using enhanced innovation-based adaptive Kalman filter," Pervasive Mob. Comput., vol. 40, pp. 139–155, 2017.

[20] D. Berdjag and D. Pomorski, "DGPS/INS data fusion for land navigation," in Proc. Fusion, 2004, pp. 881–887.

[21] C. K. Chui, G. Chen, and others, Kalman filtering. Springer, 2017.

[22] M. B. Rhudy, R. A. Salguero, and K. Holappa, "A kalman filtering tutorial for undergraduate students," Int. J. Comput. Sci. Eng. Surv., vol. 8, no. 1, pp. 1–9, 2017.

[23] L. Xue, C. Jiang, L. Wang, J. Liu, and W. Yuan, "Noise reduction of MEMS gyroscope based on direct modeling for an angular rate signal," Micromachines, vol. 6, no. 2, pp. 266–280, 2015.

[24] M. R. Mosavi, M. Sadeghian, and S. Saeidi, "Increasing DGPS navigation accuracy using Kalman filter tuned by genetic algorithm," Int. J. Comput. Sci. Issues, vol. 8, no. 6, p. 246, 2011.

[25] S. Park, M.-S. Gil, H. Im, and Y.-S. Moon, "Measurement noise recommendation for

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-24]

[DOI: 10.61186/jgit.12.3.45]

efficient Kalman filtering over a large amount of sensor data," Sensors, vol. 19, no. 5, p. 1168, 2019.

[26] W. Li and J. Wang, "Magnetic sensors for navigation applications: an overview," J. Navig., vol. 67, no. 2, p. 263, 2014.

[27] M. Moussa, A. Moussa, and N. El-Sheimy, "Multiple ultrasonic aiding system for car navigation in GNSS denied environment," in 2018 IEEE/ION Position, Location and Navigation Symposium (PLANS), 2018, pp. 133–140.

[28] Y. Kim and H. Bang, "Introduction to Kalman filter and its applications," in Introduction and Implementations of the Kalman Filter, IntechOpen, 2018.

[29] X. Wen et al., "A First-Order Differential Data Processing Method for Accuracy Improvement of Complementary Filtering in Micro-UAV Attitude Estimation," Sensors, vol. 19, no. 6, p. 1340, 2019.

[30] F. Mohd-Yasin, N. Zaiyadi, D. J. Nagel, D. S. Ong, C. E. Korman, and A. R. Faidz, "Noise and reliability measurement of a three-axis micro-accelerometer," Microelectron. Eng., vol. 86, no. 4–6, pp. 991–995, 2009.

[31] F. Mohd-Yasin, C. E. Korman, and D. J. Nagel, "Measurement of noise characteristics of MEMS accelerometers," Solid. State. Electron., vol. 47, no. 2, pp. 357–360, 2003.

[32] Yun, J.; Lim, C.; Park, B. Inherent Limitations of Smartphone GNSS Positioning and Effective Methods to Increase the Accuracy Utilizing Dual-Frequency Measurements. Sensors 2022, 22, 9879. https://doi.org/10.3390/s22249879

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-24]

[DOI: 10.61186/jgit.12.3.45]

K. N. TOOSI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
FACULTY OF GEODESY AND GEOMATICS ENGINEERING

Journal of Geospatial Information Technology
Vol.12, No.3, Autumn 2024

Research Paper

Improving the accuracy of real-time smartphone positioning in urban environments using raw GNSS observations

Amir Hossein Pourmina [1]*, Mohammad Mahdi Alizadeh Elizeie [2]

1- PhD Student, Faculty of Geodesy and Geomatics Engineering, K. N. Toosi University of Technology
2- Assistant Professor, Faculty of Geodesy and Geomatics Engineering, K. N. Toosi University of Technology

Abstract

The GNSS sensors of some smartphones can provide pseudorange, Doppler, carrier phase, and the other satellite observation data in real-time at 1 Hz. Additionally, smartphones can receive the broadcast data from the network through the reference station. This study used Samsung Galaxy S21 Ultra and Xiaomi Mi8 smartphones in static and kinematic conditions mounted on an appropriate stand inside a car. GNSS U-Blox receiver model ZED-F9P was used to compare the smartphone positioning with PPK, SPP, and Fusion methods. The results showed that the multipath error and noise caused multiple phase jumps in the observations of the Mi8 smartphone, reducing the accuracy of the results obtained from the PPK method on streets with high buildings compared to the SPP method.

Nevertheless, the PPK algorithm was superior to the SPP algorithm on streets without high-rise buildings, even when using the Mi8 smartphone. Conversely, in the SPP method, the results of S21 Ultra were consistently more accurate than the Mi8the, which can be attributed to its superior antenna compared to the Mi8. As a result of integrating the extended Kalman filter (EKF) and INS observations, the outlier observations are identified and removed, that leads into higher accuracy (2 to 4 meters)compared to the PPK and SPP methods. Using smartphones to determine the position in streets with high-rise buildings, such as Khayam and Naderi streets in Qazvin city, the accuracy of determining the position reached 6 meters. With the Fusion method, an accuracy of about 2 meters can be achieved on streets with mid-rise buildings.

Key words: *Post-Processing Kinematic, smartphone, GNSS, Fusion method.*

Correspondence Address: *No. 1346, ValiAsr Street, Mirdamad cross, Geomatics Engineering Faculty, K.N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran.*
Tel : *+98 21 8877071.*
Email*: pourmina@emai.kntu.ac.ir*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-24]

[DOI: 10.61186/jgit.12.3.45]