

برآورد سرعت وسایل نقلیه متحرک در مسیرهای دایروی با استفاده از دو

حسگر بردار صوتی

امیرحسین عرب	عباس رهی*	مرتضی شهری	ابوالفضل حسنی بافرانی
دانشجوی کارشناسی ارشد	استادیار	دانشیار	استادیار
دانشکده مهندسی مکانیک و انرژی	دانشکده مهندسی مکانیک و انرژی	دانشکده مهندسی مکانیک و انرژی	دانشکده مهندسی مکانیک
دانشگاه شهید بهشتی	دانشگاه شهید بهشتی	دانشگاه شهید بهشتی	دانشگاه تفرش
am.arab@mail.sbu.ac.ir	a_rahi@sbu.ac.ir	m_shahravi@sbu.ac.ir	baferani@tafreshu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۱۶

چکیده

امروزه روش‌ها و تجهیزات متعددی برای برآورد و یا تخمین سرعت وسیله نقلیه متحرک وجود دارد که بسیاری از آنها به دلیل شرایط نصب و ملزومات مورد نیاز گران قیمت هستند. یکی از این روش‌ها استفاده از کمیت شدت صوتی است. حسگرهای بردار صوتی که جزء حسگرهای غیرفعال هستند، می‌توانند مقادیر شدت صوتی را از محیط به دست آورند. در این مقاله با استفاده از دو حسگر بردار صوتی، میانگین سرعت وسایل نقلیه متحرک در مسیرهای دایروی شکل به دست می‌آید. در این روش برای به دست آوردن سرعت ابتدا لازم است مکان منبع تخمین زده شود. یک حسگر بردار صوتی به تنهایی قادر نیست مکان منبع صوت را تعیین کند و تنها می‌تواند برآورد جهت رسیدن (DoA) را انجام دهد. با استفاده از دو حسگر و تعیین محل تقاطع پرتوهای هر حسگر می‌توان محل منبع صوت را تشخیص داد. روش‌ها و معادلات حاکم بر این روش در این مقاله ارائه می‌شود. در انتها نیز به بررسی نتایج عددی پرداخته می‌شود. در این مقاله مسیرهای دایروی مختلفی مورد تحلیل قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد روش پیشنهادی به خوبی به تخمین مکان و سرعت وسیله نقلیه متحرک در زمان‌های مختلف می‌پردازد.

واژگان کلیدی: برآورد میانگین سرعت، حسگر بردار صوتی، مکان‌یابی، تخمین موقعیت منبع صوتی.

۱. مقدمه

در حال حاضر، حسگرهای پیشرفته تخمین سرعت که در نظارت بر ترافیک کاربرد دارد شامل رادارها، لیدارها، حلقه‌های القایی^[۱-۳] و دوربین‌ها [۴، ۵] هستند. دوربین‌ها که با استفاده از تجزیه و تحلیل ویدئویی به تخمین سرعت می‌پردازند جزء جدیدترین حسگرها هستند. روش دیگری که

در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است شبکه‌های بین خودرویی^۴ (VANET) است [۶] که با استفاده از وسایل نقلیه به جمع‌آوری داده‌ها به خصوص سرعت وسیله نقلیه پرداخته می‌شود. در زمان‌هایی که ایمنی رانندگان و یا عابران پیاده مطرح باشد نیاز به اندازه‌گیری دقیق سرعت وسایل نقلیه است که رادارها و لیدارها این خواسته را محقق می‌کنند

[۷]. چنین دستگاه‌های اندازه‌گیری با توجه به عملکرد و دقت، گران‌قیمت هستند. حسگرهای رادار جزء دستگاه‌های فعالی هستند که امواج الکترومغناطیسی ساطع می‌کنند. تعداد زیاد حسگر رادار نصب شده در یک منطقه آلودگی محیطی را با امواج الکترومغناطیسی افزایش می‌دهد که با شبکه‌های سلولی (شبکه‌های موبایل)، دستگاه‌های Wi-Fi و غیره تداخل ایجاد می‌کند. همچنین شرایط نامساعد جوی مانند بارندگی‌های شدید مانع از عملکرد صحیح حسگرهای رادار می‌شود. سیستم‌هایی که براساس حلقه‌های القایی کار می‌کنند درحالی‌که بسیار مؤثر هستند ولی باید در سطح جاده نصب شوند که ممکن است در برخی موارد مشکل‌ساز باشد. با توجه به موارد فوق ترجیح بر این است که از حسگرهای غیرفعال استفاده شود زیرا در برابر تداخل محیطی مقاوم بوده و امکان نصب حسگرها با کمترین تداخل با زیرساخت‌ها وجود دارد. درنهایت موضوع حائز اهمیت هزینه حسگر (هم خود دستگاه و هم مصرف برق آن) است که باید کم باشد. یک حسگر صوتی که جزء حسگرهای غیرفعال محسوب می‌شود نه تنها باید بتواند صدا را تشخیص دهد، بلکه باید جهت صدا را نیز تعیین کند. اکثر تجهیزهایی که تشخیص جهت صدای ورودی را انجام می‌دهند، آرایه بزرگی از میکروفون‌ها هستند. هدف این پژوهش استفاده از حداقل تعداد حسگر است. از این رو الگوریتم استفاده شده براساس تجزیه و تحلیل شدت صدا اندازه‌گیری شده توسط دو حسگر صوتی است. این الگوریتم برای ارائه سرعت متوسط وسایل نقلیه متحرک اندازه‌گیری شده در پنجره‌های زمانی مشخص در نظر گرفته شده است. حسگرهای صوتی مزایایی نسبت به حسگرهای استاندارد دارند که می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

- ۱- این حسگرها غیرفعال هستند،
- ۲- دارای تداخل الکترومغناطیسی نیستند،
- ۳- امکان نصب راحتی دارند و هزینه ساخت و استفاده پایینی دارد،

با توجه به مزایای این دست حسگرهای صوتی، استفاده از آنها در یک سیستم شهر هوشمند بزرگ بسیار مؤثر است [۸]. یک حسگر بردار صوتی^۵ (AVS) تجهیزاتی است که قادر است هم شدت و هم جهت امواج صوتی^۶ (DoA) را تجزیه و تحلیل کند [۹، ۱۰]. حسگر بردار صوتی شامل مجموعه‌ای از حسگرهای دیگر همچون میکروفون‌ها و غیره است که به شکل‌های مختلف در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند. ابعاد یک حسگر بردار صوتی به‌صورتی است که در یک محفظه کوچک می‌تواند قرار گیرد. اگر قرار باشد مقدار شدت اندازه‌گیری شده معنای فیزیکی داشته باشد، حسگر حتماً باید کالیبره شود [۱۱].

کوتوس و همکاران [۱۲]، از یک AVS برای تشخیص رویدادهای صوتی و تعیین جهت صداهای ورودی استفاده کردند. آنها با موفقیت از یک AVS برای تعیین میزان ترافیک استفاده کردند، به‌عنوان مثال داده‌های قابل اعتمادی را در مورد تعداد وسایل نقلیه در دوره مشاهده ارائه کردند [۱۳، ۱۴]. آنها در پژوهش‌های دیگر به تخمین سرعت و بررسی تعداد وسایلهای نقلیه با استفاده از یک حسگر بردار صوتی پرداختند [۱۵، ۱۶]. مزیت AVS در مقایسه با یک میکروفون تکی، توانایی تعیین جهت صدای ورودی است که امکان تعیین جهت حرکت وسایله نقلیه و فیلتر کردن اصوات غیرمرتبط با وسایل نقلیه را فراهم می‌کند. تجزیه و تحلیل سیگنال‌های صوتی و به‌طور خاص سیگنال‌های شدت صدا، به‌ندرت برای نظارت بر ترافیک استفاده می‌شود. بیشتر مقاله‌های منتشر شده در مورد تجزیه و تحلیل صداهای تولید شده توسط وسایل نقلیه مربوط به اندازه‌گیری و پیش‌بینی صدای ترافیک است، به‌عنوان مثال می‌توان به پروژه هارمونویز^۷ [۱۷] اشاره کرد. مقاله‌های منتشر شده در زمینه نظارت بر ترافیک صوتی معمولاً از آرایه‌های میکروفون بزرگ استفاده می‌کنند. به‌عنوان مثال نا و همکاران [۱۸] از آرایه‌ای متشکل از ۳۷ میکروفون برای تشخیص موقعیت وسیله نقلیه در مسیرهای متعدد استفاده کردند. بارباگلی و

همکاران [۱۹] از یک شبکه حسگر بی‌سیم^۸ (WSNs) برای تخمین شدت ترافیک استفاده کردند. چن و همکاران [۲۰] نداشت میدان صوتی مبتنی بر همبستگی را برای سیگنال‌های آرایه میکروفون اعمال کردند. یک روش جایگزین و کم هزینه‌تر استفاده از دو میکروفون است. دافنر و همکاران [۲۱] از یک ستاپ که شامل دو میکروفون است و از الگوریتم طیف توان متقابل^۹ برای تشخیص وسایل نقلیه جاده‌ای استفاده کردند. اگرچه آنها تخمین سرعت را ذکر می‌کنند اما هیچ داده تجربی ارائه نکردند. لوپز-والکارس و همکاران [۲۲] از یک ستاپ مشابه و یک الگوریتم حداکثر احتمال^{۱۰} برای تخمین سرعت وسیله استفاده کردند. سوهر و همکاران [۲۳] از الگوهای موج صوتی به‌دست آمده با یک میکروفون برای تخمین سرعت خودرو براساس بردارهای مشخصات خودرو استفاده کردند. ایشیدا و همکاران [۲۴] از یک روش نداشت صدای تفاضل زمانی مبتنی بر تاب‌خوردگی زمانی پویا^{۱۱} (DTW) برای شمارش وسایل نقلیه استفاده کردند. سایر مقاله‌های منتشر شده بر تخمین شدت ترافیک براساس تجزیه و تحلیل صوتی تمرکز دارند. ورگاد و دشیپنده [۲۵] از یک میکروفون تک جهتی برای ارزیابی شدت ترافیک استفاده کردند. آنها با استفاده از سیگنال‌های صوتی ویژگی‌های ضرایب کپسترا ل فرکانسی مل^{۱۲} (MFCC) را استخراج و از سه طبقه‌بندی‌کننده مختلف برای طبقه‌بندی تراکم ترافیک استفاده کردند. گاتو و فورستر [۲۶] از یادگیری ماشینی برای تشخیص تراکم ترافیک با استفاده از یک میکروفون استفاده کردند. یک رویکرد جالب که توسط ویج و آگاروال [۲۷] پیشنهاد شده است استفاده از گوشی‌های هوشمند به منظور دریافت صدا برای تشخیص وضعیت ترافیک است. عرب و همکاران [۲۸] خطای تخمین موقعیت جسم با استفاده از دو حسگر بردار صوتی را بررسی کردند. در مقاله حاضر، در ابتدا به بررسی روش‌ها و استخراج معادلات حاکم پرداخته می‌شود. سپس تخمین موقعیت منبع با استفاده از دو حسگر برداری صوتی بررسی می‌شود. در

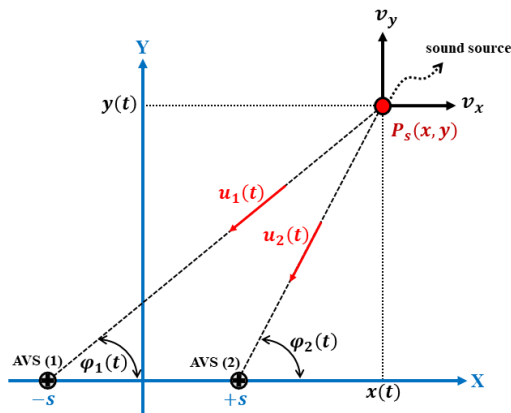
ادامه به ارائه و بررسی نتایج عددی پرداخته می‌شود و تأثیر مسیرهای دایروی بر روی تخمین سرعت بررسی می‌شود.

۲. معادلات حاکم

یک حسگر بردار صوتی (AVS) که کاوشگر شدت صدای^{۱۳} نیز نامیده می‌شود، شدت صدا را اندازه‌گیری می‌کند. یک AVS تک بعدی (متشکل از یک کاوشگر شدت صدا) ممکن است از یک حسگر فشار و یک حسگر سرعت (کاوشگر p-u) یا از دو حسگر فشار بافاصله نزدیک (کاوشگر p-p) ساخته شود. حسگر بردار صوتی مورد بررسی در این مقاله شامل دو کاوشگر شدت صدا است که روی محورهای متعام سیستم مختصات قرار گرفته‌اند. هر کاوشگر شدت یک سیستم p-p از دو حسگر فشار (میکروفون) است که روی محور در فاصله مساوی از مبدأ سیستم قرار گرفته‌اند. شدت صوت معیاری است که جریان انرژی را در امواج صوتی توصیف می‌کند. به بیان دیگر شدت صوت بیانگر توان امواج صوتی در واحد سطح در جهت عمود بر ناحیه حمل‌کننده است. شدت صوت لحظه‌ای به صورت حاصل ضرب فشار صوت $\hat{p}(t)$ و سرعت ذرات $u_r(t)$ محاسبه می‌شود. سرعت $u_r(t)$ برداری است که جهت آن با جهت موج صوتی مطابقت دارد. بنابراین شدت صوت نیز بردار است. فشار $\hat{p}(t)$ در نقطه میانی بین حسگرها به‌عنوان میانگین مقادیر فشار هر دو حسگر فشار $(p_1(t), p_2(t))$ که در جهت r هستند، محاسبه می‌شود و بزرگی بردار سرعت $u_r(t)$ به‌عنوان انتگرال گرادیان فشار محاسبه می‌شود. شدت صدا $I_r(t)$ در پنجره‌های زمانی T به‌صورت رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$I_r(t) = \frac{1}{2\rho dT} \int_0^T [(p_1(t) + p_2(t))(p_1(t) - p_2(t))] dt \quad (۱)$$

که در آن ρ و d به ترتیب بیانگر چگالی هوا و فاصله بین دو حسگر فشار است. با قرار دادن دو حسگر شدت یک بعدی



شکل ۱. مشخصات سینماتیکی منبع صوت به همراه نحوه قرارگیری AVS ها.

با توجه به اینکه شدت با مجذور فاصله از منبع نسبت معکوس دارد لذا شدت‌ها به صورت روابط ۵ و ۶ به دست می‌آید.

$$\begin{cases} \overline{I_{x1}}(t) \sim \hat{p}_1(t) \frac{x(t) + s}{((x(t) + s)^2 + y(t)^2)^{3/2}} \\ \overline{I_{y1}}(t) \sim \hat{p}_1(t) \frac{y(t)}{((x(t) + s)^2 + y(t)^2)^{3/2}} \end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{cases} \overline{I_{x2}}(t) \sim \hat{p}_2(t) \frac{x(t) - s}{((x(t) - s)^2 + y(t)^2)^{3/2}} \\ \overline{I_{y2}}(t) \sim \hat{p}_2(t) \frac{y}{((x(t) - s)^2 + y(t)^2)^{3/2}} \end{cases} \quad (6)$$

که در آن \hat{p}_1 و \hat{p}_2 فشارهای متوسط به دست آمده از دو حسگر بردار صوتی و $\overline{I_{x1}}$ ، $\overline{I_{y1}}$ ، $\overline{I_{x2}}$ و $\overline{I_{y2}}$ به ترتیب شدت‌های به دست آمده از حسگر شماره ۱ و ۲ است. با جای‌گذاری روابط و ساده‌سازی، موقعیت منبع صوت را می‌توان از شدت‌های اندازه‌گیری شده محاسبه کرد.

$$\bar{x}(t) = s \frac{\overline{I_{y2}}(t)\overline{I_{x1}}(t) + \overline{I_{y1}}(t)\overline{I_{x2}}(t)}{\overline{I_{y2}}(t)\overline{I_{x1}}(t) - \overline{I_{y1}}(t)\overline{I_{x2}}(t)} \quad (7)$$

$$\bar{y}(t) = 2s \frac{\overline{I_{y2}}(t)\overline{I_{y1}}(t)}{\overline{I_{y2}}(t)\overline{I_{x1}}(t) - \overline{I_{y1}}(t)\overline{I_{x2}}(t)} \quad (8)$$

بر روی محورهای متعامد به طوری که نقاط میانی هر دو حسگر در یک موقعیت قرار گیرند، یک AVS دو بعدی ایجاد می‌کند. محورهای یک AVS دو بعدی یک صفحه XY را تشکیل می‌دهند و زاویه آزیموت φ صدای ورودی را می‌توان به صورت زیر محاسبه کرد.

$$\varphi = \tan^{-1} \left(\frac{I_Y(t)}{I_X(t)} \right) \quad (2)$$

که در آن $I_X(t)$ ، $I_Y(t)$ مقادیر شدت (بزرگی بردارهای شدت) هستند که به ترتیب در محورهای X و Y اندازه‌گیری می‌شوند.

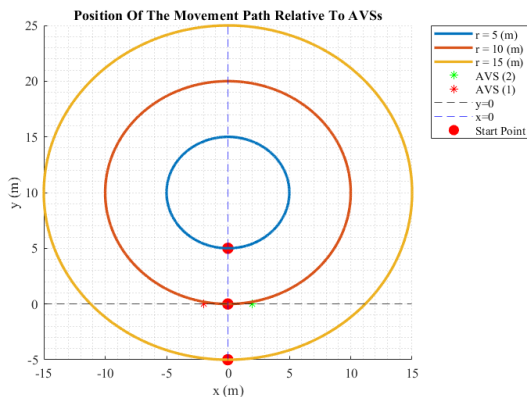
یک حسگر بردار صوتی به تنهایی با پرتویی که AVS را به منبع متصل می‌کند، قادر به تعیین زاویه آزیموت یک منبع صوتی است. با دو حسگر بردار صوتی با فاصله مشخص از هم امکان تعیین موقعیت منبع با یافتن محل تقاطع پرتوهای هر AVS فراهم می‌شود. موقعیت منبع صوت با استفاده از زاویه آزیموت هر AVS به صورت زیر به دست می‌آید [۲۸].

$$x = s \frac{\tan \varphi_2 + \tan \varphi_1}{\tan \varphi_2 - \tan \varphi_1} \quad (3)$$

$$y = 2s \frac{\tan \varphi_1 \tan \varphi_2}{\tan \varphi_2 - \tan \varphi_1} \quad (4)$$

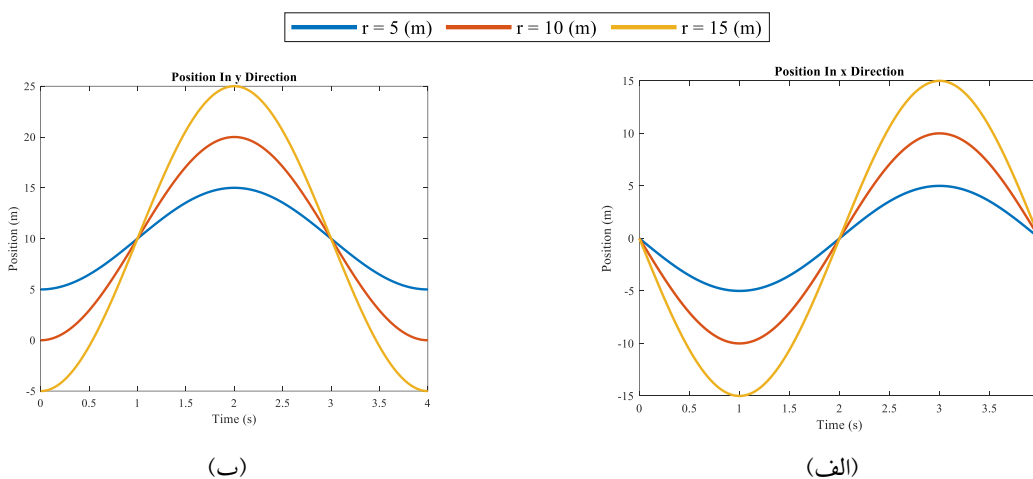
شدت‌ها و زوایای محاسبه شده می‌تواند برای ردیابی یک منبع نقطه‌ای ایده آل و همه جهتی استفاده می‌شود که انرژی صوتی را با توان ثابت ساطع می‌کند و در امتداد یک مسیر خطی با سرعت ثابت $\vec{v} = v_x \hat{i} + v_y \hat{j}$ حرکت می‌کند. جزئیات بیشتر در شکل ۱ قابل مشاهده است.

مدلسازی‌ها در بازه زمانی ۴ ثانیه و با گام زمانی ۰/۰۰۱ ثانیه انجام شده است. مسیرهای دایروی شکل در نظر گرفته شده هم‌مرکز بوده و $x_c = 0$ و $y_c = 10$ متر است. مسیرهای حرکت با شعاع‌های مختلف نسبت به AVS‌ها در شکل ۲ نمایش داده شده است. مسیرها به‌گونه‌ای انتخاب شده است که بیشترین تنوع را در نتایج به‌وجود آورد تا حالت‌های مختلف به‌خوبی مورد بررسی قرار گیرد.



شکل ۲. مسیرهای مختلف حرکت نسبت به AVS‌ها.

در شکل ۳ موقعیت حرکت وسیله متحرک در زمان‌های مختلف در دو راستای x و y به‌صورت مجزا نشان داده شده است.



شکل ۳. موقعیت حرکت وسیله متحرک در زمان‌های مختلف (الف) موقعیت در راستای x (ب) موقعیت در راستای y .

پس می‌توان سرعت منبع صوت به‌صورت زیر محاسبه کرد.

$$\vec{v}(t) = \frac{dx(t)}{dt} \hat{i} + \frac{dy(t)}{dt} \hat{j} \quad (9)$$

در نهایت با جای‌گذاری روابط ۷ و ۸ در معادله ۹، سرعت منبع صوت به‌دست می‌آید.

$$\begin{aligned} \vec{v} &= \frac{d}{dt} \left(s \frac{I_{y2}(t)I_{x1}(t) + I_{y1}(t)I_{x2}(t)}{I_{y2}(t)I_{x1}(t) - I_{y1}(t)I_{x2}(t)} \right) \hat{i} \\ &+ \frac{d}{dt} \left(2s \frac{I_{y2}(t)I_{y1}(t)}{I_{y2}(t)I_{x1}(t) - I_{y1}(t)I_{x2}(t)} \right) \hat{j} \end{aligned} \quad (10)$$

۳. نتایج عددی

در استخراج معادلات و مدلسازی عددی سرعت وسیله متحرک و انرژی صوتی ساطع شده از آن ثابت در نظر گرفته می‌شود. با توجه به روابط به‌دست آمده در بخش قبل مشخص است که مقادیر فشار $\hat{p}_1(t)$ و $\hat{p}_2(t)$ در تخمین سرعت و زاویه آزیموت تأثیری ندارد زیرا از صورت و منحنی روابط ساده می‌شوند و تنها در مقادیر شدت‌ها تأثیرگذار است، از این رو از مقادیر فشار $\hat{p}_1(t) = 10$ و $\hat{p}_2(t) = 25$ پاسکال برای مدلسازی عددی استفاده می‌شود. در ادامه به بررسی تخمین سرعت حرکت وسیله متحرک بر روی مسیرهای دایروی با شعاع‌های مختلف پرداخته می‌شود. AVS‌ها در فاصله ۲ متری از مبدا مختصات قرار گرفته‌اند.

شدت‌های محاسبه شده برای هر دو AVS در راستاهای x و y در شکل ۴ نمایش داده شده است. برای بررسی بهتر، بزرگ‌نمایی شده شکل ۴ در شکل ۵ قابل مشاهده است. نکات زیر را می‌توان از نمودار شدت‌های صوتی به‌دست آورد.

- مقدار شدت‌های صوتی با موقعیت منبع صوت در محور مختصات رابطه مستقیم دارد، به‌عنوان مثال اگر منبع صوت در قسمت مثبت محور y باشد مقدار شدت صوت I_y نیز مثبت خواهد شد.
- زمانی که منبع صوتی در راستاهای مختلف (x و یا y) از روبه‌روی هر یک از حسگر بردار صوتی عبور کند، مقدار شدت‌های متناظر با هر حسگر در راستای یکسان برابر صفر می‌شود. به‌عنوان مثال برای مسیر آبی رنگ، منبع صوت در راستای x دو بار از روبه‌روی هر AVS عبور می‌کند و این امر باعث می‌شود مقدار I_x در هر دو حسگر برابر صفر شود که این نکته در شکل ۵-الف و شکل ۵-ج به‌خوبی نشان داده شده است. از آنجایی که این مسیر در هیچ لحظه‌ای در راستای y از روبه‌روی حسگرها عبور نمی‌کند پس در نمودار I_y این موضوع دیده نمی‌شود (شکل ۵-ب و شکل ۵-د).
- زمانی که منبع صوتی از نزدیکی یک AVS عبور کند مقدار شدت‌ها بسیار بزرگ می‌شود، به‌عنوان مثال برای مسیر نارنجی رنگ که از کنار AVS‌ها عبور می‌کند مقدار شدت‌ها نسبت به بقیه مسیرها بسیار زیاد می‌شود که در شکل ۴ این موضوع به‌خوبی نشان داده شده است. این امر با توجه به روابط ۵ و ۶ نیز قابل توجیه است، چراکه زمانی که منبع از کنار AVS عبور می‌کند مخرج

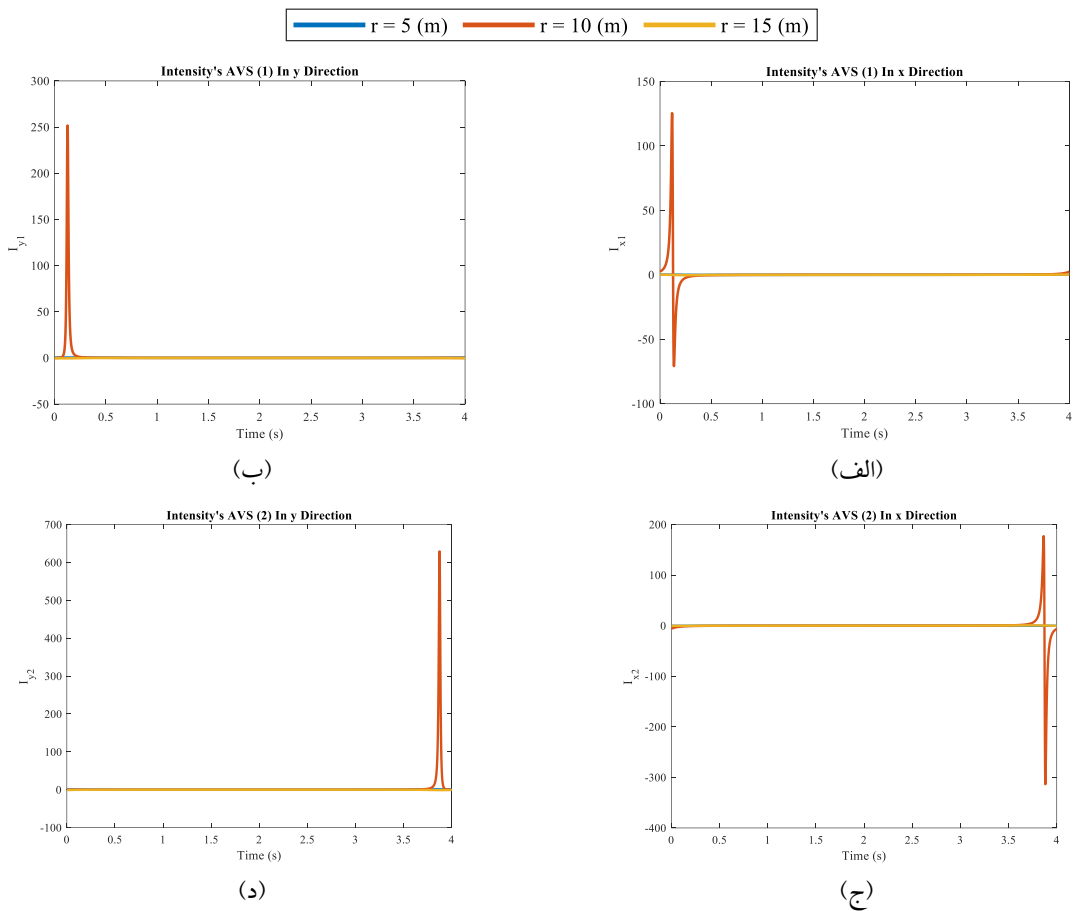
روابط ۵ و ۶ بسیار کوچک می‌شود که متناسب با آن مقدار شدت نیز بزرگ می‌شود.

شکل ۶ زاویه‌های آزیموت به‌دست آمده برای هر دو حسگر بردار صوتی را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل ملاحظه می‌شود زاویه لحظه‌ای منبع صوت نسبت به حسگرها در زمان‌هایی که منبع صوت در راستای افقی از مقابل یک حسگر عبور می‌کند شاهد پیک‌هایی هستند که به‌دلیل تغییر زاویه مثبت ۹۰ درجه به منفی ۹۰ درجه (و یا بالعکس) ایجاد می‌شود. در هر نمودار زاویه آزیموت، شاهد دو پیک هستیم که دلیل آن عبور مسیر حرکت جسم از رو به روی حسگرها در راستای افقی است که به دلیل دایره‌ای بودن مسیر دو بار اتفاق می‌افتد.

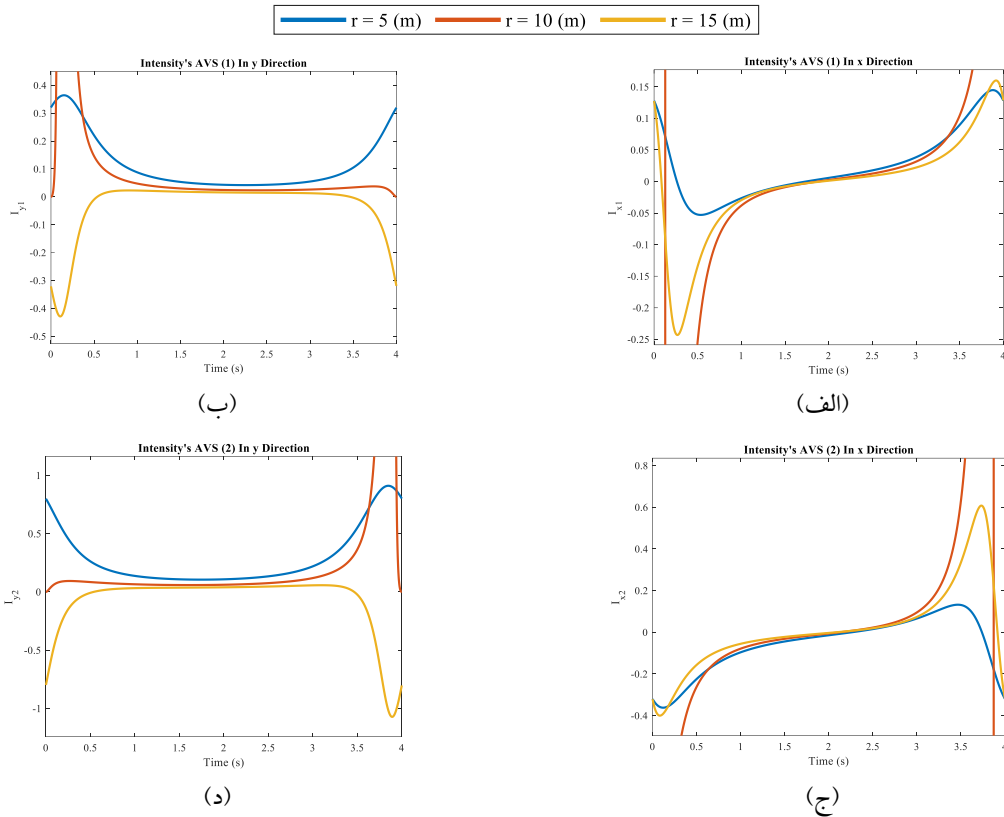
سرعت‌های به‌دست آمده از روش پیشنهادی در دو راستای x و y در شکل ۷ آورده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود به‌دلیل دایره‌ای بودن مسیر حرکت و ثابت بودن بزرگی سرعت‌های وسیله متحرک در هر مسیر، سرعت‌های لحظه‌ای در راستاهای مختلف متفاوت به‌دست آمدند.

در شکل ۸ بزرگی بردار سرعت نشان داده شده است. از آنجایی که بازه زمانی در نظر گرفته شده برای تمام مسیرها یکسان است پس برای هر مسیر با توجه به شعاع آن یک مقدار سرعت ثابت به‌دست می‌آید که مقادیر آن در شکل نشان داده شده است.

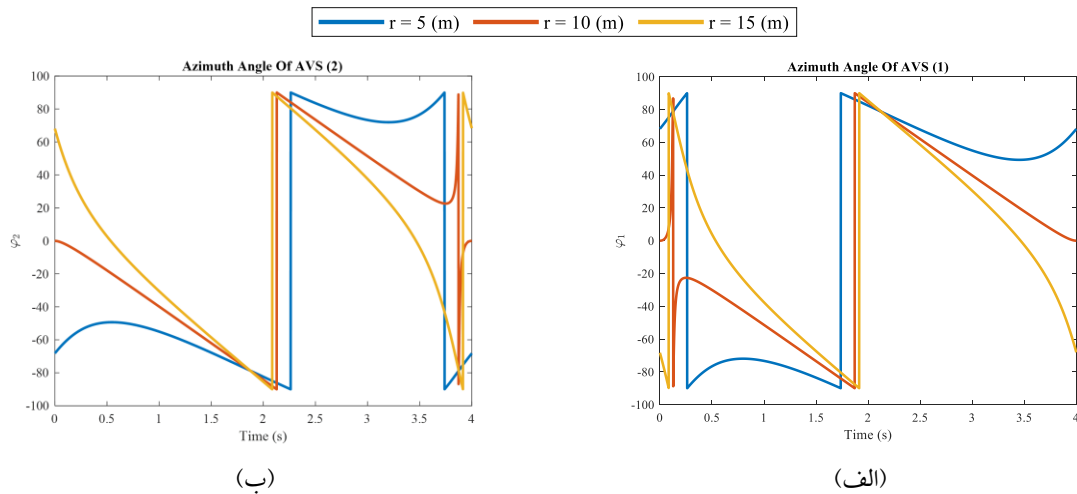
در شکل ۹ زاویه حرکت جسم نسبت به افق در هر لحظه که با اندیس θ_p نیز نشان داده شده، محاسبه شده است. با توجه به این مورد که مسیرها دایره‌ای شکل هستند پس زاویه‌های حرکت جسم‌ها برای هر مسیر به یک صورت به‌دست می‌آید. مسیر دایره‌ای شکل رفتار نمودار زاویه حرکت جسم را به‌خوبی توجیه می‌کند.



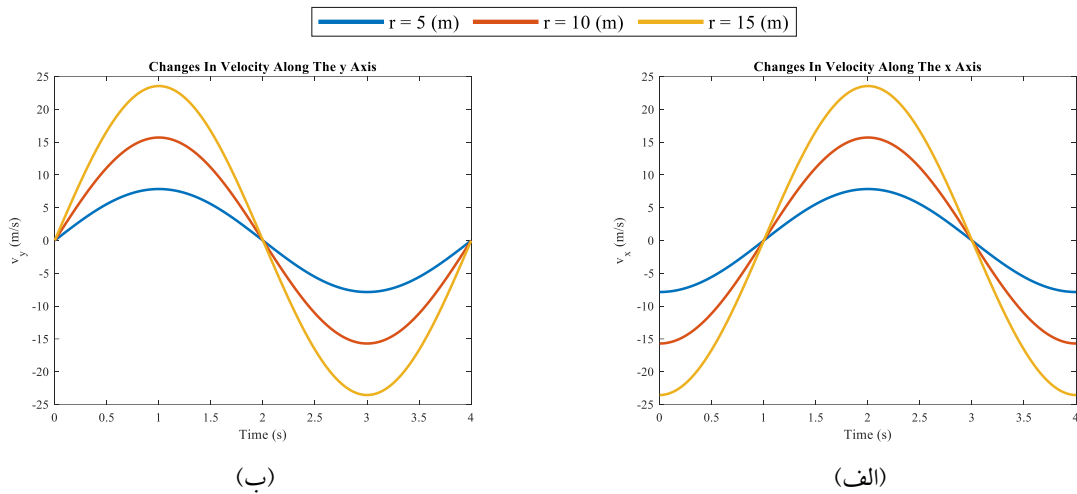
شکل ۴. شدت‌های محاسبه شده (الف) شدت در راستای x برای AVS شماره ۱ (ب) شدت در راستای y برای AVS شماره ۱ (ج) شدت در راستای x برای AVS شماره ۲ (د) شدت در راستای y برای AVS شماره ۲.



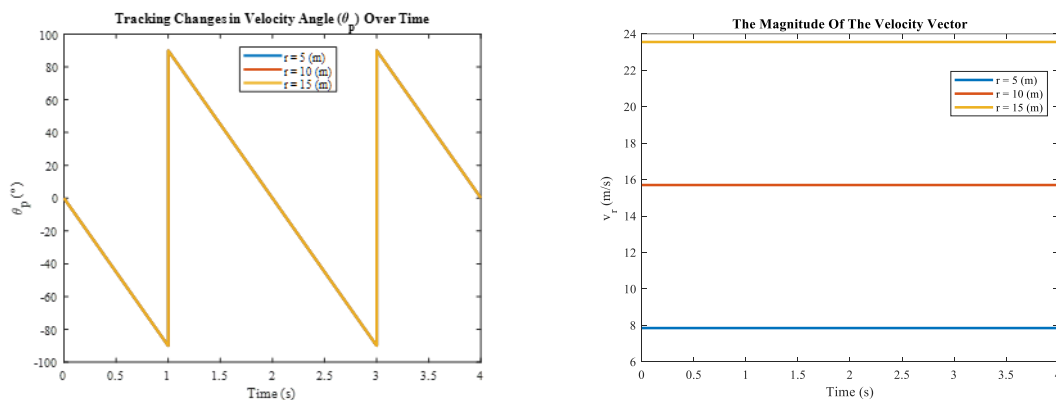
شکل ۵. بزرگ‌نمایی شده شدت‌های محاسبه شده (الف) شدت در راستای x برای AVS شماره ۱ (ب) شدت در راستای y برای AVS شماره ۱ (ج) شدت در راستای x برای AVS شماره ۲ (د) شدت در راستای y برای AVS شماره ۲.



شکل ۶. زاویه‌های آزیموت به دست آمده (الف) زاویه آزیموت AVS شماره ۱ (ب) زاویه آزیموت AVS شماره ۲.



شکل ۷. سرعت‌های به دست آمده (الف) سرعت در راستای x (ب) سرعت در راستای y .



شکل ۹. زاویه حرکت جسم (θ_p) نسبت به افق در هر لحظه.

شکل ۸. بزرگی بردار سرعت.

۴. نتیجه گیری

در این مقاله با استفاده از دو حسگر بردار صوتی، میانگین سرعت وسایل نقلیه متحرک در مسیرهای دایروی شکل بدست آمد. در ابتدای کار روش‌ها و معادلات حاکم بدست آمد و روش پیشنهادی به تفصیل توضیح داده شد. در ادامه به بررسی نتایج عددی پرداخته شد. برای بررسی بهتر نتایج

در حالت‌ها و مسیرهای دایروی مختلف تحلیل شد. همان طور که نتایج نشان داد، روش پیشنهادی به خوبی به تخمین مکان و سرعت وسیله نقلیه متحرک در زمان‌های مختلف می‌پردازد. نتایج نشان داد که مسیرهایی که از نزدیکی AVS ها عبور می‌کند دارای مقادیر شدت بسیار بزرگ است که معادلات نیز به این موضوع اشاره دارند.

۷. مأخذ

- [1] Klein, Lawrence A., Milton K. Mills, and David RP Gibson, *Traffic detector handbook: Volume I*. No. FHWA-HRT-06-108, Turner-Fairbank Highway Research Center, 2006.
- [2] Adnan, Muhammad Akram, Norliana Sulaiman, Nor Izzah Zainuddin, and Tuan Badrul Hisyam Tuan Besar, "Vehicle speed measurement technique using various speed detection

- instrumentation", In *2013 IEEE Business Engineering and Industrial Applications Colloquium (BEIAC)*, 2013, IEEE, pp.668-672.
- [3] Guerrero-Ibáñez, Juan, Sherali Zeadally, and Juan Contreras-Castillo, "Sensor technologies for intelligent transportation systems", *Sensors*, 2018, Vol.18, no.4, p.1212.
- [4] Manaa, Karmel, Maram Rabee'a, and Loay Khalaf, "Traffic control by digital imaging cameras", In *Emerging Trends in Image Processing, Computer Vision and Pattern Recognition*, Morgan Kaufmann, 2015, pp. 231-247.
- [5] Yang, Zi, and Lilian SC Pun-Cheng, "Vehicle detection in intelligent transportation systems and its applications under varying environments: A review", *Image and Vision Computing*, 2018, Vol.69, pp.143-154.
- [6] Darwish, Tasneem, and K. Abu Bakar, "Traffic density estimation in vehicular ad hoc networks: A review", *Ad Hoc Networks*, 2015, Vol.24, pp.337-351.
- [7] Lahrmann, Harry Spaabæk, Bo Brassøe, Jonas Wibert Johansen, and Jens Christian Overgaard Madsen, "Safety impact of average speed control in the UK", *Journal of transportation technologies*, 2016, Vol.6, no.5, pp.312-326.
- [8] Du, Rong, Paolo Santi, Ming Xiao, Athanasios V. Vasilakos, and Carlo Fischione, "The sensible city: A survey on the deployment and management for smart city monitoring", *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2018, Vol.21, no.2, pp.1533-1560.
- [9] Cao, Jiuwen, Jun Liu, Jianzhong Wang, and Xiaoping Lai, "Acoustic vector sensor: reviews and future perspectives", *IET Signal Processing*, 2017, Vol.11, no.1, pp.1-9.
- [10] Jacobsen, Finn, and Hans-Elias De Bree, "The microflown particle velocity sensor", In *Handbook of Signal Processing in Acoustics*, New York, NY: Springer New York, 2008, pp. 1283-1291.
- [11] Yang, Xiaowei, Gang Zhu, and Yinxiao Miao, "Calibration of sound intensity instruments based on the double coupler technology", *Applied Acoustics*, 2022, Vol.199, p.109008.
- [12] Kotus, Józef. "Multiple sound sources localization in free field using acoustic vector sensor." *Multimedia tools and applications* 74 (2015): 4235-4251.
- [13] Kotus, Jozef. "Determination of the vehicles speed using acoustic vector sensor", In *2018 Signal Processing: Algorithms, Architectures, Arrangements, and Applications (SPA)*, 2018, IEEE, 2018, pp.64-69.
- [14] Czyżewski, Andrzej, Józef Kotus, and Grzegorz Szwoch, "Estimating traffic intensity employing passive acoustic radar and enhanced microwave doppler radar sensor", *Remote Sensing*, 2019, Vol.12, no.1, p.110.
- [15] Kotus, Józef, and Grzegorz Szwoch, "Estimation of average speed of road vehicles by sound intensity analysis", *Sensors*, 2021, Vol.21, no.16, p.5337.
- [16] Szwoch, Grzegorz, and Józef Kotus, "Acoustic detector of road vehicles based on sound intensity", *Sensors*, 2021, Vol.21, no.23, p.7781.
- [17] Salomons, Erik, Dirk Van Maercke, Jérôme Defrance, and Foort De Roo, "The Harmonoise sound propagation model", *Acta acustica united with Acustica*, 2011, Vol.97, no.1, pp.62-74.

- [18] Na, Yueyue, Yanmeng Guo, Qiang Fu, and Yonghong Yan, "An acoustic traffic monitoring system: Design and implementation", In *2015 IEEE 12th Intl Conf on Ubiquitous Intelligence and Computing and 2015 IEEE 12th Intl Conf on Autonomic and Trusted Computing and 2015 IEEE 15th Intl Conf on Scalable Computing and Communications and Its Associated Workshops (UIC-ATC-ScalCom)*, IEEE, 2015, pp.119-126.
- [19] Barbagli, Barbara, Gianfranco Manes, Rodolfo Facchini, and Antonio Manes, "Acoustic sensor network for vehicle traffic monitoring", In *Proceedings of the 1st international conference on advances in vehicular systems, technologies and applications*, 2012, pp.24-29.
- [20] Chen, Shiping, Ziping Sun, and Bryan Bridge, "Traffic monitoring using digital sound field mapping", *IEEE Transactions on vehicular technology*, 2001, Vol.50, no.6, pp.1582-1589.
- [21] Duffner, Orla, Sean Marlow, Noel Murphy, Noel O'Connor, and Alan Smeanton, "Road traffic monitoring using a two-microphone array", In *Audio Engineering Society Convention 118*, Audio Engineering Society, 2005.
- [22] López-Valcarce, Roberto, Carlos Mosquera, and Fernando Pérez-González, "Estimation of road vehicle speed using two omnidirectional microphones: A maximum likelihood approach", *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, 2004, pp.1-19.
- [23] Cevher, Volkan, Rama Chellappa, and James H. McClellan, "Vehicle speed estimation using acoustic wave patterns", *IEEE Transactions on signal processing*, 2008, Vol.57, no.1, pp.30-47.
- [24] Ishida, Shigemi, Song Liu, Kohei Mimura, Shigeaki Tagashira, and Akira Fukuda, "Design of acoustic vehicle count system using DTW", In *Proc. ITS World Congress*, 2016, pp.1-10.
- [25] Warghade, Vasant P., and Mangesh S. Deshpande, "Road traffic condition estimation based on road acoustics", In *2017 International Conference on Computing, Communication, Control and Automation (ICCUBEA)*, IEEE, 2017, pp. 1-5.
- [26] Gatto, Rubens Cruz, and Carlos Henrique Quartucci Forster, "Audio-based machine learning model for traffic congestion detection", *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2020, Vol.22, no.11, pp.7200-7207.
- [27] Vij, Dinesh, and Naveen Aggarwal, "Smartphone based traffic state detection using acoustic analysis and crowdsourcing", *Applied Acoustics*, 2018, Vol.138, pp.80-91.
- [28] Arab, Amirhosein, Abbas Rahi, Morteza Shahravi, and Abolfazl Hasani Baferani, "Investigating the error of object position estimation using two sound vector sensors", *Journal of Vibration and Sound*, 2023.

پی نوشت:

-
1. Radars
 2. Lidars
 3. Inductive Loops
 4. Vehicular Ad Hoc Network
 5. Acoustic Vector Sensor
 6. Direction Of Arrival

-
7. Harmonoise
 8. Wireless Sensors Network
 9. Cross-power Spectrum Algorithm
 10. Maximum Likelihood Algorithm
 11. Dynamic Time Warping
 12. Mel Frequency Cepstral Coefficient
 13. Sound Intensity Probe
 14. Azimuth Angle