

سامانه تیکه‌نگاری صوتی زمان - واقع و تجربه پایش جریان در دریای مازندران

مسعود بحرینی مطلق^{۱*}، نعمت اله کریمی^۱، سیداحمد سجادی^۲، جمال رنجبر^۳، محمد گل محمدی سامانی^۴

۱. پژوهشکده مطالعات و تحقیقات منابع آب، مؤسسه تحقیقات آب

۲. گروه تبدیل انرژی، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران

۳. گروه طراحی کاربردی، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس

۴. گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آزاد رودهن

چکیده

سامانه‌های تیکه‌نگاری صوتی به منظور پایش بلندمدت و پیوسته جریان در رودخانه، دریا و اقیانوس‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. یکی از معایب سامانه‌های موجود در کشور عدم قابلیت پایش زمان-واقع و خودکار جریان‌های دریایی است. در این مطالعه با اضافه نمودن یک عدد رایانه رزبری پای به سامانه و با انجام برنامه‌نویسی‌های مورد نیاز، امکان پایش برخط فراهم شد. داده‌ها با استفاده از شبکه به رزبری پای انتقال یافته و سپس در بستر اینترنت ارسال می‌گردند. سامانه تیکه‌نگاری صوتی ۱۰ کیلوهرتز ارتقاء یافته در آب‌های ایران مورد آزمایش قرار گرفتند. دو دستگاه تیکه‌نگاری صوتی در ۳ کیلومتری یکدیگر در دریای مازندران در عمق ۱۳ متری روی دو قایق ثابت نصب شدند. تراگذارهای آن‌ها در عمق ۶ متری معلق شدند. علائم صوتی در هر دقیقه انتشار یافتند و متغیرهای جریان اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان دادند سرعت صدا و سرعت جریان به ترتیب ۱۴۶۰ و ۰/۲ متر بر ثانیه هستند. هم‌چنین با فرض ثابت بودن شوری، دمای آب با استفاده از این روش محاسبه و طی دوره این آزمایش ۱۴ درجه سلسیوس به دست آمد. با توجه به فراهم شدن پایش برخط جریان‌های دریایی و تهیه اطلاعات محیطی، بکارگیری این روش در سواحل دریای مازندران، خلیج فارس و سواحل مکران توصیه می‌شود.

کلیدواژه‌ها: رزبری پای، ۱۰ کیلوهرتز، داده‌های زمان-واقع، سرعت صدا، سرعت جریان، دمای آب، پایش پیوسته، جریان‌های بحری.

۱. مقدمه

به منظور اندازه‌گیری سرعت جریان رودخانه در ایران نشان داد این سامانه نسبت به دستگاه‌های سرعت‌سنج مکانیکی از دقت بالاتری برخوردار است [۳]. هم‌چنین با افزایش بسامد امواج صوتی، دقت اندازه‌گیری نیز بهبود می‌یابد [۴]. حداکثر برد انتشار امواج صوتی در آب به عواملی نظیر بسامد، شدت تراز صوتی و غلظت رسوبات معلق در آب بستگی دارد [۵]. تحلیل سامانه تیکه‌نگاری صوتی ۳۰ کیلوهرتز نشان می‌دهد که در بهترین شرایط حداکثر برد اندازه‌گیری کم‌تر از ۲۰۰۰ متر می‌باشد [۶]. بنابراین سامانه فوق برای پایش پیوسته و دائمی مشخصات جریان در فواصل کوتاه نظیر رودخانه‌های آب شیرین [۷] یا جزر و مدی [۸]، و دریاچه‌های کوچک [۹] قابل استفاده است.

سامانه تیکه‌نگاری صوتی^۱ را می‌توان یکی از روش‌های کارآمد پایش پیوسته جریان‌های آبی دانست. بحرینی مطلق و همکاران با تشریح اصول طراحی و اجزاء سامانه تیکه‌نگاری صوتی ۳۰ کیلوهرتز، آن سامانه را در یک مجرای آزمایشگاهی به طول ۱۲۷ متر مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان دادند با استفاده از این سامانه متغیرهای سرعت صدا در آب، سرعت جریان و دمای آب قابل اندازه‌گیری است [۱]. هم‌چنین با استفاده از این سامانه می‌توان الگوهای عددی انتشار صدا در آب را مورد ارزیابی قرار داد [۲]. اولین تجربه به کارگیری سامانه تیکه‌نگاری صوتی ۳۰ کیلوهرتز

* نویسنده پاسخگو: masoud.bahraini.m@gmail.com

¹ Acoustic Tomography

تحلیل داده‌ها و تولید اطلاعات جریان به‌صورت خودکار و زمان-واقع انجام‌شده و به صورت لحظه‌ای در اختیار کارشناسان قرار می‌گیرد. هم‌چنین نتایج آزمایش اندازه‌گیری در دریای مازندران با استفاده از سامانه تیکه‌نگاری صوتی ۱۰ کیلوهرتز مورد بحث قرار می‌گیرد.

۲. مواد و روش‌ها

۲-۱. توسعه و برخط‌سازی سامانه

اجزاء سامانه برخط تیکه‌نگاری صوتی ۱۰ کیلوهرتز در شکل ۱ نشان داده شده‌اند. همان‌طور که مشاهده می‌شود میکروکنترلر دستگاه تیکه‌نگاری صوتی دارای چهار پورت ای‌سی‌ای^۶ تا ۳ است. پورت شماره صفر زمان دستگاه را در هر ثانیه از ماهواره‌های جی‌پی‌اس^۷ دریافت می‌کند. پورت شماره ۱ به‌منظور برنامه‌ریزی میکروکنترلر مورد استفاده قرار می‌گیرد. پورت شماره ۲ برای برقراری ارتباط بلوئوتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در نهایت پورت شماره ۳ داده‌های برداشت‌شده را در کارت حافظه ذخیره می‌کند.

در سامانه‌های قبل به‌منظور تحلیل داده‌ها، کاربر بایستی به ناچار دستگاه‌ها را خاموش کرده و داده‌های ذخیره‌شده در کارت حافظه را به رایانه انتقال دهد و تحلیل‌ها را انجام دهد. اما در سامانه توسعه‌یافته یک عدد رایانه رزبری پای^۸ به سامانه اضافه شده و داده‌ها از طریق پورت شبکه به رزبری پای انتقال می‌یابد. سپس داده‌های خام در بستر اینترنت یا وی‌فای به سرور دلخواه انتقال یافته و تحلیل‌ها نیز به‌صورت خودکار انجام می‌شود.

شایان ذکر است که ساعت داخلی میکروکنترلر با استفاده از ماهواره‌های جی‌پی‌اس با دقت نانو ثانیه هم‌زمان‌سازی شده و علائم صوتی را ارسال و دریافت می‌کنند. هم‌چنین به‌منظور کاهش نوفه^۹ محیط، علائم صوتی به وسیله توالی‌های-ام^{۱۰} دلخواه کدگذاری شده و سپس به بخش ترانسفورمر انتقال می‌یابد. در این بخش با افزایش قدرت علائم صوتی به

به‌منظور پایش جریان‌های دریایی در سطوح وسیع بایستی از سامانه‌های تیکه‌نگاری صوتی با بسامدهای کوتاه‌تر استفاده کرد. بحرینی مطلق و همکاران محاسبات نظری حداقل و حداکثر برد اندازه‌گیری سامانه تیکه‌نگاری صوتی با بسامد ۱۰ کیلوهرتز و هم‌چنین دقت اندازه‌گیری آن را انجام دادند. نتایج نشان دادند این سامانه قادر به اندازه‌گیری جریان تا فواصل ۱۸ کیلومتری است [۱۰].

اولین تجربه سامانه تیکه‌نگاری صوتی ۱۰ کیلوهرتز در سال ۱۹۹۷ در دریای ستوالیند ژاپن انجام پذیرفت. در آن آزمایش نه تنها خطای مربوط به هم‌زمان‌سازی دستگاه‌ها به دلیل استفاده از جی‌پی‌اس‌های کم‌دقت بالا بود، بلکه فرستنده و گیرنده امواج صوتی نیز از یکدیگر مجزا بودند که باعث ایجاد مشکلات به‌کارگیری از آن فن‌آوری می‌شد [۱۱]. با توسعه سامانه تیکه‌نگاری صوتی ۱۰ کیلوهرتز، ژانگ و همکاران جریان‌های فرازجوشی^۱ و هم‌چنین جریان‌های جزر و مدی روزانه در خلیج هیروشیما را اندازه‌گیری کردند. فاصله ایستگاه‌های صوتی بین ۳/۹ تا ۸/۹ کیلومتر بود. در سامانه توسعه‌یافته نه تنها از جی‌پی‌اس‌های با دقت بالا جهت هم‌زمان‌سازی دستگاه‌ها استفاده شد، بلکه از یک تراگذار^۲ به‌عنوان فرستنده و گیرنده استفاده گردید [۱۲].

پس از آن هانگ و همکاران تغییرات دما و سرعت جریان در اسکله باچیمین^۳ تایوان [۱۳]، سیامسودین و همکاران تغییرات سرعت جریان در اعماق مختلف تنگه بالی^۴ اندونزی [۱۴]، و هانیفا و همکاران نوسانات جریان‌های جزر و مدی در تنگه بالی اندونزی با استفاده از سامانه تیکه‌نگاری صوتی ۱۰ کیلوهرتز را اندازه‌گیری نمودند [۱۵].

اگر چه سامانه‌های تیکه‌نگاری صوتی در ایران [۳، ۹] مورد استفاده قرار گرفته است، اما یکی از معایب این سامانه عدم تهیه اطلاعات زمان-واقع^۵ جریان است. در این مطالعه با توسعه سامانه تیکه‌نگاری صوتی، داده‌های برداشت‌شده به‌صورت برخط به سرور دلخواه ارسال می‌شوند. سپس

⁶ SCI Ports

⁷ GPS

⁸ Raspberry Pi

⁹ Ambient noise

¹⁰ M sequence

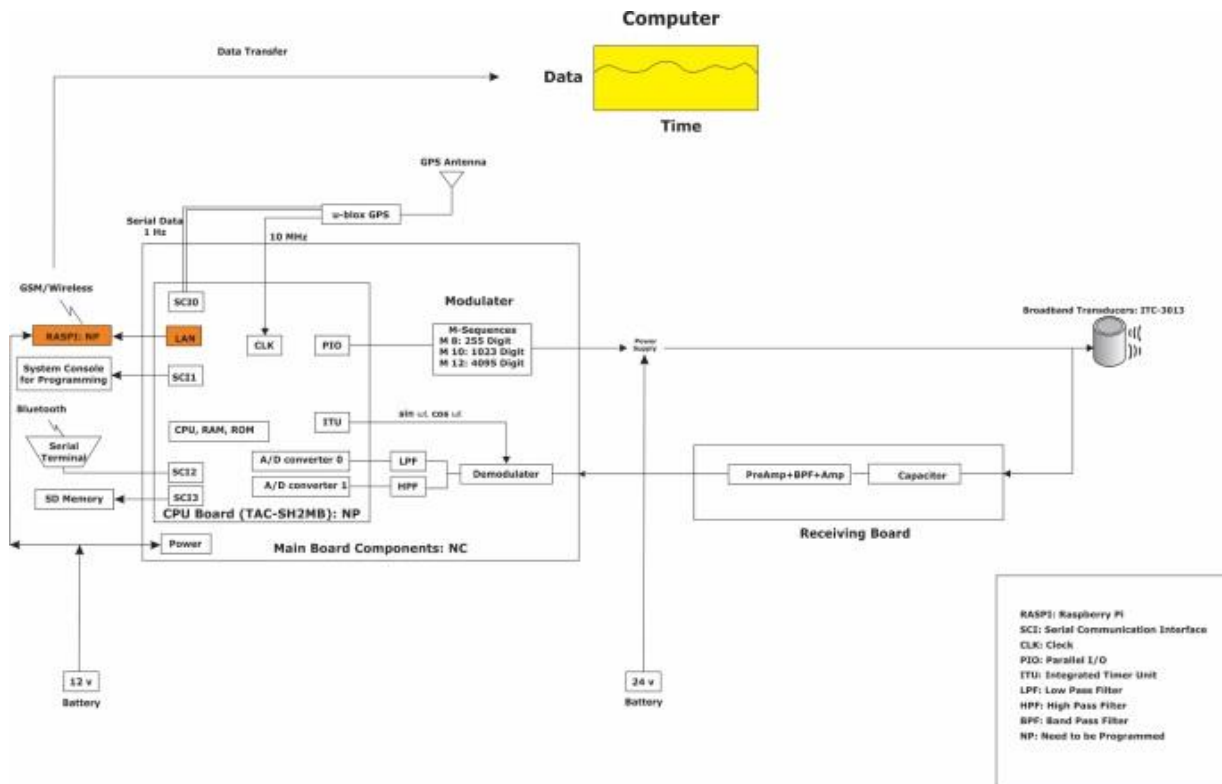
¹ Upwelling

² Transducer

³ Bachimen

⁴ Bali Strait

⁵ Real-time



شکل ۱ سامانه برخط تیکه‌نگاری صوتی ۱۰ کیلوهرتز و محاسبات خودکار داده‌ها.

صوتی در ایستگاه دوم هستند.

۲-۲. نحوه محاسبه مصرف برق

همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده شد انرژی مورد نیاز سامانه‌های تیکه‌نگاری صوتی از یک باتری ۱۲ ولت به‌منظور تأمین برق پردازنده و دو عدد باتری ۱۲ ولت سری‌شده (۲۴ ولت) به‌منظور تأمین برق انتشار امواج صوتی تأمین می‌شود. در سامانه‌های قدیمی بدون قابلیت برخط، میزان مصرف پردازنده که به‌صورت پیوسته روشن باشد ۰/۲ آمپر با ولتاژ ۱۲ است.

با فرض انتشار امواج صوتی در هر دقیقه، سامانه تیکه‌نگاری صوتی ۱۰ کیلوهرتز به میزان ۲۴ ولت و ۱۵ آمپر نیاز دارد. مدت زمان ارسال هر موج صوتی از رابطه ۲ به دست می‌آید که برای هر ارسال یک موج صوتی به میزان ۲۴ ولت و ۱۵ آمپر برق نیاز دارد.

$$T = \frac{1}{fr} \times (r^n - 1) \times Q \quad (2)$$

تراگذار انتقال یافته و با شدت تراز حدود ۱۹۰ دسی‌بل^۱ ارسال می‌شوند. سپس علائم ارسال‌شده از طرف مقابل توسط همان تراگذار دریافت شده و پس از بزرگ‌نمایی به پردازنده ارسال می‌شوند تا کدهای توالی-ام جداسازی شده و شدت علامت به نوفه (اس‌ان‌آر)^۲ و همچنین زمان رسیدن امواج صوتی ثبت گردد. با ثبت زمان رسیدن امواج صوتی، سرعت صدا و سرعت جریان آب قابل محاسبه است:

$$\begin{cases} c_m = \frac{L}{t_m} \\ u_m = \frac{c_m}{2L} \Delta t \end{cases} \quad (1)$$

که $\Delta t = t_{up} - t_{down}$ و $t_m = \frac{t_{up} + t_{down}}{2}$ زمان رسیدن امواج صوتی در ایستگاه اول و t_{down} زمان رسیدن امواج

^۱ dB re 1 μPa at 1 m

^۲ SNR; Signal to Noise Ratio

الف) میزان مصرف پردازنده و رزبری پای به ترتیب ۰/۲ آمپر با ولتاژ ۱۲ و ۰/۴ آمپر با ولتاژ ۵ اندازه‌گیری شده است. در مجموع بخش پردازنده سامانه توسعه‌یافته مقدار ۴/۴ وات نیاز دارد که با یک عدد باتری ۱۲ ولت ۷ آمپرساعت (۸۴ وات‌ساعت) به مدت ۱۹ ساعت روشن خواهد ماند.

ب) به منظور محاسبه مصرف برق انتشار امواج صوتی نیز با فرض بسامد ۱۰,۰۰۰ هرتز، توالی-ام درجه ۱۲ و تعداد ۳ چرخه در هر دیجیت، مدت زمان ارسال هر موج صوتی $T = 1.2 \frac{s}{ping}$ (۱/۲ ثانیه در هر بار انتشار صدا) است و از

آن جایی که هر ارسال موج صوتی ۱۵ آمپر برق نیاز دارد، مصرف برق $1.8 \frac{A.s}{ping}$ خواهد بود. بنابراین تعداد ارسال امواج صوتی با استفاده از باتری ۷ آمپرساعت مقدار

$$\frac{7 A.h \times \frac{3600 s}{1 h}}{1.8 \frac{A.s}{ping}} = 1400 ping$$

می‌آید.

با فرض ارسال هر موج صوتی در هر دقیقه، باتری ۷ آمپرساعت به مدت $23 h = 1400 ping \times \frac{60 s}{1 ping} \times \frac{1 h}{3600 s}$ کار می‌کند.

همان‌طور که مشاهده می‌شود عامل محدودکننده مصرف انرژی، پردازنده دستگاه است که حداکثر با یک باتری ۷ آمپرساعت ۱۲ ولتی به مدت ۱۹ ساعت کار می‌کند. البته در سامانه‌های غیر برخط که از رزبری پای استفاده نمی‌شود، پردازنده به میزان ۳۵ ساعت کار خواهد کرد.

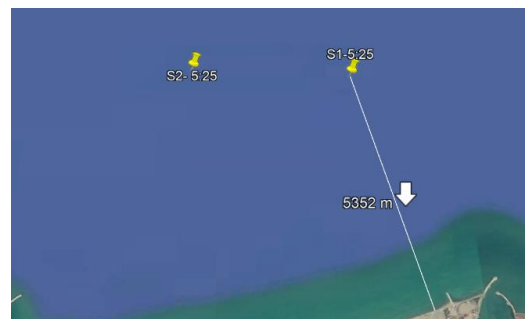
شایان ذکر است در مواردی که هدف پایش بلندمدت جریان‌های آبی است می‌توان از باتری‌های ۱۰۵ آمپرساعت به مدت ۱۴ روز استفاده کرد. هم‌چنین می‌توان با اضافه نمودن صفحات خورشیدی به سامانه، بدون محدودیت پایش‌های چندماهه را به‌صورت زمان-واقع انجام داد.

تحلیل داده‌های سامانه تیکه‌نگاری صوتی ۱۰ کیلوهرتز در چند بخش انجام می‌شود. گام اول بررسی میزان اِس‌اِن‌آر است که بایستی حداقل ۱۰ دسی‌بل باشد. در این آزمایش مقدار اِس‌اِن‌آر ۱۸ دسی‌بل اندازه‌گیری شد (شکل ۳).

که fr بسامد موج صوتی، n درجه توالی-ام و Q تعداد چرخه در هر دیجیت است.

۳-۲. آزمایش سامانه در دریای مازندران

برای اولین بار در ایران سامانه تیکه‌نگاری صوتی ۱۰ کیلوهرتز در فاصله ۵۳۵۲ متری ساحل دریای مازندران نصب گردید و عملکرد آن مورد ارزیابی قرار گرفت (شکل ۲). دو دستگاه تیکه‌نگاری صوتی در تاریخ ۲۷ تیرماه ۱۳۹۸ در فاصله ۳ کیلومتری از یکدیگر قرار گرفته و تراگذارها در عمق ۶ متری از سطح آب به‌صورت معلق ثابت نگه داشته شدند. عمق آب ۱۳ متر و بدون پستی و بلندی بین دو ایستگاه صوتی بود. دستگاه‌ها در هر دقیقه امواج صوتی را ارسال و دریافت کردند.



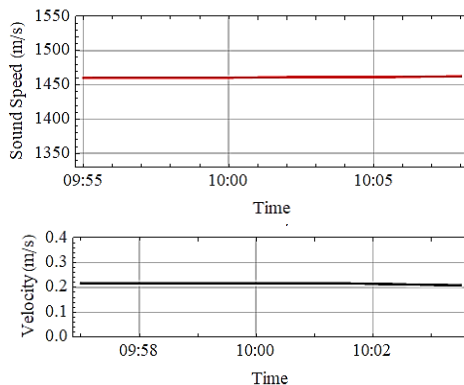
شکل ۲ منطقه مورد مطالعه در فاصله ۵۳۵۲ متری از ساحل.

۳. نتایج و بحث

اگر چه سامانه‌های تیکه‌نگاری صوتی اصولاً به‌منظور پایش پیوسته و بلند مدت جریان در رودخانه‌ها [۱۶-۱۹] و دریاها [۲۰] مورد استفاده قرار می‌گیرند، اما در برخی موارد پایش‌های پیوسته کوتاه‌مدت کم‌تر از ۲۴ ساعت به‌منظور پایش جریان‌های جزر و مدی رودخانه‌ها [۲۱] و دریاها [۲۲] مد نظر هستند که می‌توان از باتری‌های با آمپرساعت کم‌تر استفاده کرد.

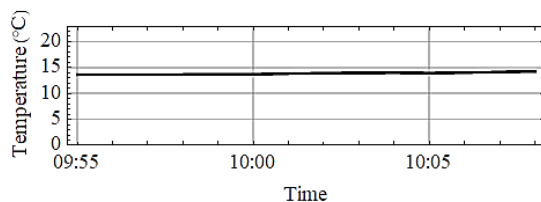
با فرض استفاده از یک باتری ۱۲ ولت ۷ آمپرساعت، میزان کارکرد سامانه تیکه‌نگاری صوتی با قابلیت برخط به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

براساس بخش اول رابطه ۱ و با استفاده از مقادیر میانگین زمان رسیدن امواج صوتی در ایستگاه‌ها، سرعت صدا محاسبه گردید. همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود سرعت صدا ۱۴۵۰ متر بر ثانیه به دست آمد که در طول آزمایش ثابت بود. عدم تغییر سرعت صدا در طی آزمایش به دلیل عدم تغییر دما و شوری در زمان آزمایش است.

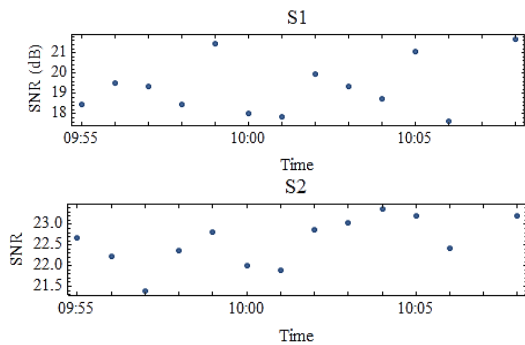


شکل ۵ سرعت صدا و جریان آب.

بر اساس بخش دوم رابطه ۱ و با استفاده از مقادیر اختلاف زمان رسیدن امواج صوتی در ایستگاه‌ها، سرعت جریان آب به میزان ۰/۲ متر بر ثانیه به دست آمد. شایان ذکر است در صورتی که عمق آب زیاد باشد امواج صوتی در اعماق مختلف انتشار یافته و در نتیجه امکان اندازه‌گیری سرعت جریان در لایه‌های مختلف وجود دارد [۲۳]. با فرض معلوم بودن مقدار شوری آب، دمای آب نیز قابل اندازه‌گیری است. از آنجایی که شوری آب در دریای مازندران حدود ۱۰ پی‌اس‌یو^۱ است، بنابراین دمای آب با استفاده از سرعت صدا محاسبه شد و حدود ۱۴ درجه سلسیوس به دست آمد (شکل ۶).

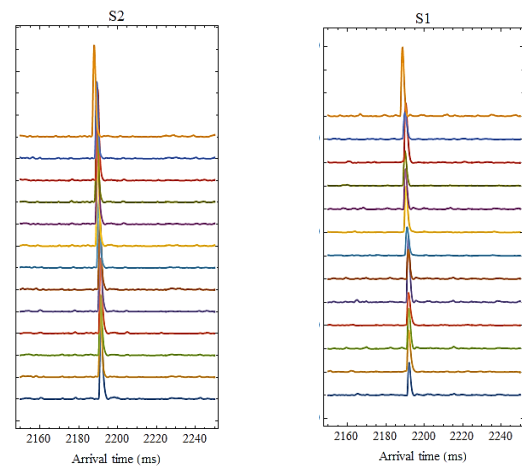


شکل ۶ اندازه‌گیری دمای آب.

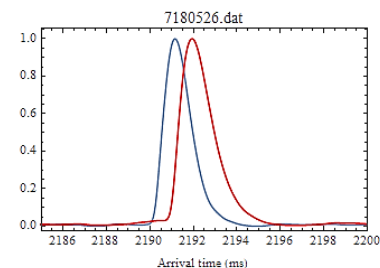


شکل ۳ اس‌ان‌آر دریافتی در ایستگاه اول و دوم.

در گام دوم زمان رسیدن امواج صوتی در هر ایستگاه صوتی اندازه‌گیری می‌شود. همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود امواج صوتی پس از طی زمان حدوداً ۲۱۹۰ میلی‌ثانیه به ایستگاه مقابل رسیده‌اند. با مقایسه زمان رسیدن‌های امواج صوتی مشاهده می‌شود که چند میکروثانیه اختلاف وجود دارد (شکل ۴).



(الف)



(ب)

شکل ۴ (الف) زمان رسیدن امواج صوتی به ایستگاه اول و دوم، (ب) مقایسه زمان رسیدن دو موج صوتی نمونه در ایستگاه اول و دوم.

¹ PSU

- Eftekhari, H. Kardan Moghadam, and A. Kavousi Heydari, "Design, manufacture and the evaluation of Fluvial Acoustic Tomography System (FATS)," Journal of Acoustical Society of Iran, vol. 6, no. 1, pp. 1-1, 2018 (In Persian).
- [2] M. Bahreinimotlagh, R. Roozbahani, M. Eftekhari, M.J. Zareian, and A. Farokhnia, "Evaluation of underwater acoustic propagation model (Ray theory) in a river using Fluvial Acoustic Tomography System," Journal of Acoustical Engineering Society of Iran, vol. 6, no. 2, pp. 29-38, 2019, (In Persian).
- [3] M. Bahreinimotlagh, A.K. Khoshuei, R. Roozbahani, M. Eftekhari, and H.K. Moghadam, "The First Fluvial Acoustic Tomography System Experience for River Flow Velocity Monitoring in Iran," Iranian Journal of Soil and Water Research, vol. 50, no. 7, pp. 1793-1800, 2019, (In Persian).
- [4] M. Bahreinimotlagh, R. Roozbahani, Y. Zohrabi, H. Kardanmoghadam, and K. Mohtasham, "Feasibility Study of Real-time and Automated Monitoring of Iranian Rivers using 50-kHz Fluvial Acoustic Tomography Systems," Journal of Acoustical Society of Iran, vol. 8, no. 1, pp. 14-21, 2020, (In Persian).
- [5] M. Bahreinimotlagh, K. Kawanisi, A. Kavousi, R. Roozbahani, M. Abbasi, and M. Sawaf, "Influence of Suspended Sediment Concentration and Particle Sizes on the Sound Attenuation of the Fluvial Acoustic Tomography Technique," Journal of Water and Environment Technology, vol. 18, no. 5, pp. 338-348, 2020.
- [6] M. Bahreinimotlagh, R. Roozbahani, M. Eftekhari, H. Kardanmoghadam, M. Abbasi, and K. Mohtasham, "Feasibility study of Fluvial Acoustic Tomography System for flood monitoring and determination of the measurement accuracy, minimum and maximum measurement ranges," Iranian Journal of Echo Hydrology, vol. 6, no. 3, pp. 585-592, 2019, (In Persian).
- [7] M. Bahreinimotlagh, K. Kawanisi, M.. Sawaf, R. Roozbahani, M. Eftekhari, and A. Kazemi Khoshuae, "Continuous Streamflow Monitoring in Shared Watersheds Using Advanced Underwater Acoustic Tomography System: A Case Study on Zayanderud River," Environmental Monitoring Assessment, pp. 1-9, 2019.
- [8] M. Bahreinimotlagh, R. Roozbahani, M. Eftekhari, H. Kardan Moghaddam, and S.A. Hassanli, "Continuous Monitoring of Tidal Bores Using Acoustic Tomography Technique,"

نتایج اندازه‌گیری سرعت جریان و دمای آب این تحقیق با مطالعات ژانگ و همکاران، هانگ و همکاران، سیامسودین و همکاران و هانیفا و همکاران مطابقت دارد و کارایی روش تیکه‌نگاری صوتی در اندازه‌گیری پیوسته مشخصات جریان‌های دریایی را ثابت می‌کند [۱۲-۱۵]. همچنین ارتقاء سامانه تیکه‌نگاری صوتی با قابلیت اندازه‌گیری زمان-واقع جریان با مطالعه چن و همکاران مطابقت داشته [۲۴] و می‌توان داده‌های زمان-واقع جریان را به صورت لحظه‌ای در به مرکز دلخواه ارسال نمود.

۴. نتیجه‌گیری

پایش جریان‌های دریایی همواره به نیروی انسانی متعدد و صرف هزینه‌های زیاد نیاز داشته است. در سال‌های اخیر، فناوری تیکه‌نگاری صوتی به عنوان روشی بدون نیاز به دخالت انسان و هزینه‌های اجرایی کم به‌منظور پایش جریان‌های دریایی مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. در این مطالعه برای اولین بار سرعت صدا و سرعت جریان‌های دریایی در ساحل دریای مازندران با استفاده از دو دستگاه تیکه‌نگاری صوتی ۱۰ کیلوهرتز اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان دادند که سرعت صدا و سرعت جریان آب به ترتیب ۱۴۶۰ و ۰/۲ متر بر ثانیه هستند. پیشنهاد می‌شود روش تیکه‌نگاری صوتی در جمع‌آوری داده‌های پایه دریا در سواحل دریای مازندران، خلیج فارس و سواحل مکران مورد استفاده قرار گیرند.

همچنین با توسعه این سامانه، قابلیت برخط بودن و امکان پایش زمان-واقع و خودکار جریان‌های دریایی در کشور امکان‌پذیر شد. محاسبات با فرض انتشار صدا در هر دقیقه نشان دادند که سامانه برخط با استفاده از ۳ باتری ۷ یا ۱۰۵ آمپر ساعت ۱۲ ولتی، به ترتیب امکان پایش پیوسته جریان به مدت ۱۹ ساعت یا ۱۴ روز را دارد. بدیهی است که در صورت بکارگیری صفحات خورشیدی امکان پایش چند ماهه وجود خواهد داشت.

فهرست منابع

- [1] M. Bahreinimotlagh, R. Roozbahani, M.

- and M. Razaz, "High-frequency streamflow acquisition and bed level/flow angle estimates in a mountainous river using shallow-water acoustic tomography," *Journal of Hydrological Processes*, 2016.
- [18] M.B. Al Sawaf, K. Kawanisi, J. Kagami, M. Bahreinimotlagh, and M.M. Danial, "Scaling characteristics of mountainous river flow fluctuations determined using a shallow-water acoustic tomography system," *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, vol. 484, pp. 11–20, 2017.
- [19] M.M. Danial, K. Kawanisi, M. Bahreinimotlagh, M. Basel, A. Sawaf, and T. Wakabayashi, "Investigation of Flow Velocity and Salinity Behaviour in Ota River Estuary Using Acoustic Tomography Method and Numerical Modeling," *Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser.*, vol. 73, no. 4, pp. 1–6, 2017.
- [20] H. Sagen, P.F. Worcester, M.A. Dzieciuch, F. Geyer, S. Sandven, M. Babiker, A. Beszczynska-Möller, B.D. Dushaw, and B. Cornuelle, "Resolution, identification, and stability of broadband acoustic arrivals in Fram Strait," *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 141, no. 3, pp. 2055–2068, 2017.
- [21] M. Bahreinimotlagh, K. Kawanisi, and X. Zhu, "Acoustic Investigations of Tidal Bores," *Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B1 (Hydraulic Engineering)*, vol. 71, no. 4, pp. 139–144, 2015.
- [22] M. Chen, Z.N. Zhu, C. Zhang, X.H. Zhu, M. Wang, X. Fan, R. Zhao, J. Lin, and A. Kaneko, "Mapping current fields in a bay using a coast-fitting tomographic inversion," *Sensors (Switzerland)*, vol. 20, no. 2, 2020.
- [23] F. Syamsudin, N. Taniguchi, C. Zhang, A.D. Hanifa, G. Li, M. Chen, H. Mutsuda, et al., "Observing Internal Solitary Waves in the Lombok Strait by Coastal Acoustic Tomography," *Geophysical Research Letters*, vol. 46, no. 17–18, pp. 10475–10483, 2019.
- [24] M. Chen, F. Syamsudin, A. Kaneko, N. Gohda, B.M. Howe, H. Mutsuda, A.H. Dinan, H. Zheng, C.H. Huang, N. Taniguchi, X. Zhu, Y. Adityawarman, C. Zhang, J. Lin, "Real-Time Offshore Coastal Acoustic Tomography Enabled With Mirror-Transpond Functionality," *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, vol. 40, no. 2, pp. 1–11, 2018.
- Journal of Oceanography*, vol. 9, no. 36, pp. 57–64, 2019, (In Persian).
- [9] M. Bahreinimotlagh, R. Roozbahani, M. Eftekhari, A.K. Heydari, and S. Abolhosseini, "Investigation of Current Status in Haftbarm Lake Using Acoustic Tomography Technology," *Journal of Water and Soil*, vol. 33, no. 1, pp. 23–35, 2019, (In Persian).
- [10] M. Bahreinimotlagh, R. Roozbahani, M. Eftekhari, H. Kardanmoghadam, M. Khoshhali, and K. Mohtasham, "Feasibility study of 10-kHz Coastal Acoustic Tomography System for current monitoring in the Persian Gulf," *Journal of Marine Engineering*, vol. 15, no. 30, pp. 131–138, 2020, (In Persian).
- [11] H. Zheng, G. Noriaki, H. Noguchi, T. Ito, H. Yamaoka, T. Tamura, Y. Takasugi, and A. Kaneko, "Reciprocal Sound Transmission Experiment for Current Measurement in the Seto Inland Sea, Japan," *Journal of Oceanography*, vol. 53, pp. 117–127, 1997.
- [12] C. Zhang, A. Kaneko, Xiao-Hua Zhu, N. Gohda, "Tomographic mapping of a coastal upwelling and the associated diurnal internal tides in Hiroshima Bay, Japan Chuanzheng," *Journal of Geophysical Research: Oceans Research*, pp. 1152–1172, 2015.
- [13] C.-F. Huang, N. Taniguchi, Y.-H. Chen, and J.-Y. Liu, "Estimating temperature and current using a pair of transceivers in a harbor environment," *Journal of Acoustical Society of America*, vol. 140, no. 1, pp. EL137–EL142, 2016.
- [14] F. Syamsudin, M. Chen, A. Kaneko, Y. Adityawarman, H. Zheng, H. Mutsuda, A.D. Hanifa, et al., "Profiling measurement of internal tides in Bali Strait by reciprocal sound transmission," *Acoustical Science and Technology*, vol. 38, no. 5, pp. 246–253, 2017.
- [15] A.D. Hanifa, F. Syamsudin, C. Zhang, H. Mutsuda, M. Chen, X.-H. Zhu, A. Kaneko, et al., "Tomographic measurement of tidal current and associated 3-h oscillation in Bali Strait," *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 236, no. 106655, pp. 1–8, 2020.
- [16] M. Bahreinimotlagh, K. Kawanisi, M.M. Danial, M.B. Al Sawaf, and J. Kagami, "Application of shallow-water acoustic tomography to measure flow direction and river discharge," *Flow Measurement and Instrumentation*, vol. 51, pp. 30–39, 2016.
- [17] K. Kawanisi, M. Bahreinimotlagh, M. AlSawaf,

(Research Article)
**Real-time acoustic tomography system and the experience of Caspian
current sea monitoring**

**M. Bahreinimotlagh^{*1}, N. Karimi¹, S.A. Sajjadi², J. Ranjbar³, M. Golmohammadi
Samani⁴**

1. Department of Water Resources Studies and Research, Water Research Institute

2. Energy Conservation, Department of Mechanical Engineering, Iran University of Science and Technology

3. Applied Designing, Department of Mechanical Engineering, Tarbiat Modares University

4. Structural Engineering, Faculty of Technology and Engineering, Islamic Azad University of Rudehen

Abstract

The Acoustic Tomography (AT) systems are used to monitor long-term and continuous flow in rivers, seas and oceans. One of the disadvantages of existing systems in Iran is the inability of real-time/automated measurements. In this study, by adding a raspberry Pi computer to the system and performing the required programming, it was possible to do online monitoring. The data are transferred to the Raspberry Pi using the LAN and then sent over the Internet. Then, the 10-AT system was tested in Iranian waters. Two AT systems were installed on two fixed boats at a depth of 13 meters at a distance of 3 km from each other in the Caspian Sea. Their transducers were suspended at a depth of 6 meters. Acoustic signals were transmitted every minute. The results showed that the speed of sound and water velocity are 1460 and 0.2 m, respectively. Also, assuming the salinity to be constant, the water temperature was calculated 14 °C. Due to the facility of online monitoring of marine currents and the provision of environmental information, the use of this method in the coastal areas of the Caspian Sea, the Persian Gulf and the Makran coasts is recommended.

Keywords: Raspberry Pi, 10 kHz, Real-time data, Sound speed, Current velocity, Water temperature, Continuous monitoring, Marine currents.

pp. 20-26 (In Persian)

* Corresponding author E-mail: masoud.bahraini.m@gmail.com