

به نام خدا

۱- تیکه‌نگاری صوتی زیر آب چیست؟

تیکه‌نگاری صوتی^۱ شاخه‌ای از دانش سنجش از دور است که در آن از ارسال امواج صوتی در درون آب، و اندازه‌گیری پیوسته شبه‌سنجه‌های مختلف (پارامترهای) جریان آب صحبت می‌کند. روش تیکه‌نگاری صوتی درون آب در سه سطح؛ اقیانوسی موسوم به سامانه تیکه‌نگاری صوتی اقیانوسی (ستصا) و یا معادل لاتین آن (آی تی اس^۲) [۱-۳]، دریایی موسوم به سامانه تیکه‌نگاری صوتی ساحلی (ستصس) که به زبان لاتین به کتس^۳ معروف است [۴ و ۵] و رودخانه‌ای موسوم به سامانه تیکه‌نگاری صوتی رودالی (ستصر) معادل لاتین فُتس^۴ [۶ و ۷] مورد استفاده قرار می‌گیرد. با استفاده از این روش سرعت جریان آب [۸]، نرخ (دبی) جریان [۷]، دمای آب [۹]، شوری [۱۰]، رسوبات معلق [۱۱]، جهت جریان آب [۱۲]، سرعت جزرومد [۱۳]، سرعت امواج درونی [۱۴]، جریان‌های ماندالی^۵ [۱۵] و غیره در لایه‌های مختلف عمق آب در رودخانه‌ها، دریاچه‌ها، دریاها و اقیانوس‌ها به صورت پیوسته مورد پایش قرار می‌گیرد.

۲- تاریخچه تیکه‌نگاری صوتی زیر آب:

در سال ۱۹۷۹ تیکه‌نگاری صوتی در آمریکا توسط والتر مونک و همکاران جهت پایش دما و سرعت جریان‌های اقیانوسی ابداع گردید [۱۶ و ۱۷]. سامانه ستصا با ارسال بسامدهای پایین امواج صوتی (کمتر از ۱ کیلوهرتز) جهت اندازه‌گیری دما و سرعت جریان‌های اقیانوسی در فواصل چند هزار کیلومتری به کار برده می‌شود [۱۸]. در اواخر دهه‌ی ۱۹۹۰، محققان ژاپنی (کانکو و همکاران) تلاش‌هایی صورت دادند تا با توسعه‌ی فناوری تیکه‌نگاری صوتی، جریان‌های دریایی را در فواصل کوتاه‌تری اندازه‌گیری نمایند. بالاخره، در سال ۲۰۰۰ نمونه اولیه سامانه ستصس طراحی و ابداع گردید [۱۹]. این نوع سامانه‌ها با ارسال بسامدهای متوسط ۱ تا ۱۰ کیلوهرتز مناسب برای به کارگیری در دریاها در مقیاس‌های کمتر از ۳۰ کیلومتر هستند. پس از آن، در سال ۲۰۰۹، محققان ژاپنی (کاوانیشی و همکاران) با توسعه ستصس، دستگاهی با نام ستصر را ابداع کردند که با ارسال امواج با بسامد بالا (۱۰ تا کمتر از ۶۰ کیلوهرتز) قادر به اندازه‌گیری پارامترهای جریان در رودخانه‌ها و محیط‌های آبی کم عمق است [۲۰]. بررسی‌ها نشان داده‌اند که با توجه به پیچیدگی‌های فناوریانه طراحی، ساخت و تحلیل داده، تا کنون، کشورهای دیگری موفق به تولید انبوه این نوع دستگاه‌ها نشده‌اند. اطلاعات بیشتر در این زمینه در [تارنمای](#) مربوطه ارائه شده است. شکل ۱ الگوی مفهومی دستگاه ستصر در رودخانه را نشان می‌دهد.

¹ Acoustic Tomography

² OATS ; Ocean Acoustic Tomography System

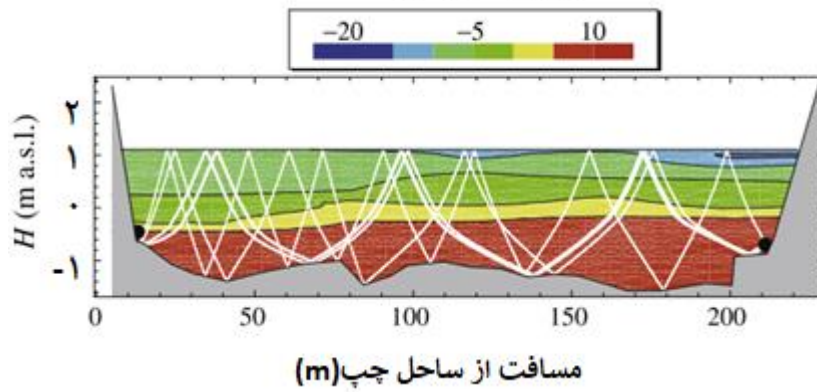
³ CATS ; Coastal Acoustic Tomography System

⁴ FATS ; Fluvial Acoustic Tomography System

⁵ Residual Currents



$c = 1500 \text{ (m/s)}$



شکل ۱ الگوی مفهومی دستگاه ست صر برای پایش متغیرهای آب در یک مقطع رودخانه (تراگذار، واحدهای پردازنده و نحوه قرارگیری دستگاه ست صر در رودخانه) و

نحوه‌ی انتشار امواج صوتی در آب [۱۰].

۳- مهم‌ترین کاربردهای علمی و عملی تیکه‌نگاری صوتی

✓ رودخانه‌های آب شیرین

- پایش پیوسته، درازمدت و لحظه‌ای حجم آب عبوری از مقطع رودخانه با دقت بالا به منظور اندازه‌گیری ورودی آب به مخازن سدها، برنامه‌ریزی برای تخصیص آب و غیره،
- پایش پیوسته دما به منظور مسائل زیست‌محیطی، گرمایش جهانی، تاثیرات دمایی پساب کارخانه‌ها در رودخانه، مطالعات تبادلات گرمایی آب زیرزمینی و رودخانه و غیره،
- پایش سرعت جریان آب در طرح‌های به کارگیری توربین‌های رودخانه‌ای، تحقیقات علمی و پژوهشی و غیره.
- به کارگیری در سامانه‌های هشدار سیل.

✓ رودخانه‌های جزرومدی

- مطالعات تداخل آب شور و شیرین،
- بررسی پیشروی شوری،
- پایش سرعت جزرومد و حجم آب عبوری در هنگام مد،
- مطالعات تحقیقاتی و علمی،
- محاسبه‌ی انتقال گرمایی به دریا.

✓ دریاها

- اندازه‌گیری سرعت و جهت جریان در لایه‌های مختلف آب (اندازه‌گیری سه- بعدی) به منظور جایابی توربین‌های جزرومدی و تحقیقات علمی،
- اندازه‌گیری تغییرات دمایی به منظور مطالعات گرمایش جهانی،
- اندازه‌گیری حجم آب و نحوه‌ی تبادل آن در تنگه‌ها و خورها،
- پایش زمان واقعی سرعت جریان به منظور کمک به امور کشتیرانی، اکتشاف و استخراج نفت، زیست‌محیطی و غیره،
- اندازه‌گیری و پیش‌بینی جریان‌های دریایی،
- تحقیقات علمی و پژوهشی.

۴- تجارب سایر کشورها در استفاده از فناوری تیکه‌نگاری صوتی زیرآب

فناوری تیکه‌نگاری صوتی بطور گسترده در کشورهای نظیر ژاپن [۲۱]، روسیه [۲۲]، امریکا [۲۳]، اسکاتلند [۲۴]، کانادا [۲۵]، چین [۲۶]، تایوان [۲۷]، پرتغال [۲۸]، فرانسه [۲۹]، نروژ [۳۰] و اندونزی [۱۴] مورد مطالعه قرار گرفته است، اما براساس بررسی‌های انجام شده تا کنون مطالعه‌ای در این زمینه در ایران انجام نشده است. با توجه به کاربردهای فراوان روش تیکه‌نگاری صوتی در علوم آب، پایه‌ریزی فناوری فوق در کشور جهت رفع مشکلات حوزه علوم آب امری ضروری است.

۵- اهداف کمیته تیکه‌نگاری صوتی زیرآب

متأسفانه، این شاخه از علم تا کنون در ایران مورد توجه قرار نگرفته است، لذا به این منظور، کمیته‌ای با نام تیکه‌نگاری صوتی در انجمن مهندسی صوتیات ایران تشکیل شد تا مقدمات پایه‌ریزی این دانش در ایران را فراهم کند. اهداف کلی کمیته تیکه‌نگاری صوتی زیرآب به شرح زیر هستند:

- پایه‌ریزی دانش تیکه‌نگاری صوتی زیرآب با برگزاری دوره‌های آموزشی، انتشار مقالات علمی و کتاب به زبان فارسی،
- معرفی فناوری تیکه‌نگاری صوتی به دانشگاهیان (اساتید و دانشجویان) و تربیت نیروی متخصص در این حوزه برای رفع نیازهای آتی کشور،
- ترویج و حمایت طرح‌های تحقیقاتی و علمی،
- حمایت از پروژه‌های کاربردی به منظور رفع مشکلات کشور (به عنوان مثال پایش نرخ جریان رودخانه‌ها برای مبادی ذی‌ربط به منظور تخصیص آب و یا اندازه‌گیری دقیق حجم آب ورودی به سدها، اندازه‌گیری سرعت جریان در خلیج فارس به منظور تعیین بهترین مکان نصب توربین‌های جزرومدی و غیره)،
- همکاری با مراکز علمی کشوری و بین‌المللی و اجرای طرح‌های مشترک علمی.

۶- چشم‌انداز ۳ ساله کمیته تیکه‌نگاری صوتی زیرآب

- تهیه‌ی حداقل ۵ دستگاه تیکه‌نگاری صوتی توسط ۵ دانشگاه کشور، ۵ نفر از اساتید دانشگاه‌ها که به صورت تخصصی بر روی این شاخه از دانش مطالعه و تحقیق کنند،
- تربیت حداقل ۱۰ دانشجوی تحصیلات تکمیلی در رابطه با دانش تیکه‌نگاری صوتی،
- انتشار حداقل ۱۰ مقاله و کتاب علمی به زبان فارسی،
- بومی‌سازی دستگاه‌های تیکه‌نگاری صوتی،
- حمایت از ثبت اختراع‌های ملی و بین‌المللی دستگاه‌های تیکه‌نگاری صوتی ساخته شده در ایران،
- تحقیقات مشترک علمی با مجامع بین‌المللی، حمایت از فروش و صادرات تجهیزات ساخت ایران،
- حمایت از شرکت‌های دانش بنیان در این حوزه،
- برگزاری کارگاه‌های آموزشی متعدد در دانشگاه‌های سراسر کشور،
- اجرای پروژه‌های تحقیقاتی به منظور رفع مشکلات کشور.

۷- چشم‌انداز بلندمدت کمیته تیکه‌نگاری صوتی زیر آب

- تربیت نیروهای متخصص در این حوزه،
- تولید علم در این حوزه،
- تدوین استانداردها،
- تبدیل شدن به پنج کشور اول دنیا در این حوزه.

لغات به کاررفته:

معادل فارسی	معادل رایج فارسی	واژه لاتین	ردیف
صوتی	آکوستیکی	Acoustic	۱
رودالی	رودخانه‌ای	Fluvial	۲
شبه‌سنج	پارامتر	Parameter	۳
ماندالی	پسماند	Residual	۴
تیکه‌نگاری	توموگرافی، مقطع‌نگاری	Tomography	۵

منابع

- [1] X. Zhao, D. Wang, "Ocean acoustic tomography from different receiver geometries using the adjoint method," *Journal of Acoustical Society of America*, vol. 138, no. 6, pp. 3733–3741, 2015.
- [2] N. Taniguchi, A. Kaneko, Y. Yuan, N. Gohda, H. Chen, G. Liao, C. Yang, et al., "Long-term acoustic tomography measurement of ocean currents at the northern part of the Luzon Strait," *Geophysical Research Letters*, vol. 37, no. 7, 2010.
- [3] N. Taniguchi, C.-F. Huang, A. Kaneko, C.-T. Liu, B.M. Howe, Y.-H. Wang, Y. Yang, et al., "Measuring the Kuroshio Current with ocean acoustic tomography," *Journal of Acoustical Society of America*, vol. 134, no. 4, pp. 3272, 2013.
- [4] H. Yamoaka, A. Kaneko, J.H. Park, H. Zheng, N. Gohda, T. Takano, X.H. Zhu, Y. Takasugi, "Coastal acoustic tomography system and its field application," *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, vol. 27, no. 2, pp. 283–295, 2002.
- [5] C. Zhang, X.H. Zhu, Z.N. Zhu, W. Liu, Z. Zhang, X. Fan, R. Zhao, M. Dong, M. Wang, "High-precision measurement of tidal current structures using coastal acoustic tomography," *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 193, pp. 12–24, 2017.
- [6] M. Bahreinimotlagh, K. Kawanisi, M.M. Danial, M.B. Al Sawaf, 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.
- [7] K. Kawanisi, M. BahrainiMotlagh, M. AlSawaf, 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, (Online), <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/hyp.10796>.
- [8] M. Razaz, K. Kawanisi, I. Nistor, S. Sharifi, “An acoustic travel time method for continuous velocity monitoring in shallow tidal streams,” *Water Resources Research*, vol. 49, no. 8, pp. 4885–4899, 2013.
- [9] 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.
- [10] K. Kawanisi, M. Razaz, A. Kaneko, S. Watanabe, “Long-term measurement of stream flow and salinity in a tidal river by the use of the fluvial acoustic tomography system,” *Journal of Hydrology*, vol. 380, no. 1–2, pp. 74–81, 2010.
- [11] K. Kawanisi, X. Zhu, X. Fan, I. Nistor, “Monitoring Tidal Bores using Acoustic Tomography System,” *Journal of Coastal Research*, 2016, (Online), <http://www.jcronline.org/doi/abs/10.2112/JCOASTRES-D-15-00172.1?code=cerf-site>.
- [12] M. Razaz, K. Kawanisi, A. Kaneko, and I. Nistor, “Application of acoustic tomography to reconstruct the horizontal flow velocity field in a shallow river,” *Water Resources Research*, pp. 9665–9678, 2015.
- [13] Z.-N. Zhu, X.-H. Zhu, X. Guo, “Coastal tomographic mapping of nonlinear tidal currents and residual currents,” *Continental Shelf Research*, vol. 143, pp. 219–227, 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] X. Zhu, Z. Zhu, Y. Ma, X. Fan, Y. Long, “Measuring tidal and residual currents and volume transport through a wide strait by use of the coastal acoustic tomography system,” *Continental Shelf Research*, vol. 17, pp. 2015, 2015.
- [16] W. Munk C. Wunsch, “Ocean Acoustic Tomography: A scheme for large scale monitoring,” *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers*, vol. 26, no. 2, pp. 123–161, 1979.
- [17] W.H. Munk, P. Worcester, C. Wunsch, “Ocean Acoustic Tomography,” Cambridge University Press , 1995.
- [18] B.M. Howe, P.F. Worcester, R.C. Spindel, “Ocean Acoustic tomography: Mesoscale velocity,” *Journal of Geophysical Research*, vol. 92, no. C4, pp. 3785, 1987.
- [19] J. Park A. Kaneko, “Assimilation of coastal acoustic tomography data into a barotropic ocean model,” *Geophysical Research Letter*, vol. 27, no. 20, pp. 3373–3376, 2000.

- [20] K. Kawanisi, S. Watanabe, A. Kaneko, T. Abe, "River acoustic tomography for continuous measurement of water discharge," Proceedings of 3rd International Conference & Exhibition on "Underwater Acoustic Measurements: Technologies & Results." pp. 613–620, Nafplion, Greece, 2009.
- [21] Y. Adityawarman, A. Kaneko, N. Taniguchi, H. Mutsuda, K. Komai, X. Guo, N. Gohda, "Tidal current measurement in the Kurushima Strait by the reciprocal sound transmission method," *Acoustical Science and Technology*, vol. 33, no. 1, pp. 45–51, 2012.
- [22] K.P. Gaikovich, P.K. Gaikovich, A.I. Khilko, "Multifrequency near-field acoustic tomography and holography of 3D subbottom inhomogeneities," *Inverse Problems in Science and Engineering*, vol. 25, no. 12, pp. 1697–1718, 2017.
- [23] H. Sagen, B.D. Dushaw, E.K. Skarsoulis, D. Dumont, M.A. Dzieciuch, A. Beszczynska-Miller, "Time series of temperature in Fram Strait determined from the 2008-2009 DAMOCLES acoustic tomography measurements and an ocean model," *Journal of Geophysical Research: Oceans*, vol. 121, no. 7, pp. 4601–4617, 2016.
- [24] G. Li, D. Ingram, A. Kaneko, N. Gohda, N. Polydorides, "The application of coastal acoustic tomography to a large experimental wave/current basin," *Journal of Acoustical Society of America*, vol. 140, no. 4, pp. 3183–3183, 2016.
- [25] M. Razaz, L. Zedel, A. Hay, K. Kawanisi, "Multipath propagation of sound in a shallow tidal channel and its implications on tomographic current measurements," *Journal of Acoustical Society of America*, vol. 140, no. 4, pp. 3184–3184, 2016.
- [26] N. Taniguchi C.-F. Huang, "Simulated tomographic reconstruction of ocean current profiles in a bottom-limited sound channel," *Journal of Geophysical Research: Oceans*, vol. 119, no. 8, pp. 4999–5016, 2014.
- [27] C.-F. Huang, N. Taniguchi, Y.-H. Chen, 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.
- [28] O.C. Rodriguez S.M. Jesus, "Physical limitations of travel-time-based shallow water tomography," *Journal of Acoustical Society of America*, vol. 108, no. 6, pp. 2816–2822, 2000.
- [29] P. Roux, I. Iturbe, B. Nicolas, J. Virieux, J.I. Mars, "Travel-time tomography in shallow water: Experimental demonstration at an ultrasonic scale," *Journal of Acoustical Society of America*, vol. 130, no. 3, pp. 1232–1241, 2011.
- [30] B.D. Dushaw, H. Sagen, A. Beszczynska-Möller, "On the effects of small-scale variability on acoustic propagation in Fram Strait: The tomography forward problem," *Journal of Acoustical Society of America*, vol. 140, no. 2, pp. 1286–1299, 2016.