بهره گیری از فناوری جدید
در هیدروگرافی

مهندس عباسعلی صالح آبادی
(عضو هیأت علمی دانشکده نقشه‌برداری)

خلاصه:

اگر چه مدت زمان مدیدی است که اکو ساندرهای مولتی‌بیم با توان استفاده و ارسال چندین نوع پالس صوتی به‌طور هم‌زمان در هیدروگرافی (جهت تعیین عمق و وضعیت توپوگرافی کف دریا) به کارگرفته می‌شوند و در بازار تجهیزات هیدروگرافی ارائه می‌شوند، اما به کارگیری گسترده چنین تجهیزاتی اساساً برای کشتی‌های بزرگ تجاری و تحقیقاتی است. در عین حال این نوع از اکو ساندرها در کارهای دریایی و نقشه‌برداری‌های نظامی و غیر نظامی هیدروگرافی نیز بسیار مفید و فعال هستند.

ایجاد تأسیسات بندری و انجام نقشه‌برداری جهت این‌گونه کاربردهای غیرنظامی، روشهای قدیمی (استفاده از اکوساندرهای تک بیم) نیازبه به کارگیری روشی مشخص و منظم از هیدروگرافی برروی یک سری خطوط موازی و ازقبل طراحی شده داردکه اجراء آنها بسیار سخت و وقت‌گیر است. دلیل سختی کارو وقت‌گیر بودن عبارت است از:

۱ - هزینه تجهیزاتی که در این‌گونه فعالیت‌ها به‌کار گرفته می‌شوند بسیار سنگین است.

۲ - همواره شک و تردید در اینکه:

۲-۱- آیا تمامی مناطق واقع بین خطوط عمق‌یابی مشاهده شده‌اند یا خیر.

۲-۲- آیااندازه‌گیریها و اطلاعات جمع آوری شده عمق‌یابی بر طبق دستورالعملهای سازمان بین المللی هیدروگرافی IHO بوده است یا خیر؟ وجود دارد.

۳ - عدم دسترسی کامل به روشهای کنترلی جهت اطمینان از کیفیت و صحت اطلاعات جمع آوری شده.

۴ - محدودیت در پردازش داده‌های دریایی و مشکلات مربوط به معادلات ریاضی آن.

۵ - انجام دوره‌های تکمیلی آموزشی جهت ارتقاء سطح دانش کارکنان و به کارگیری تجهیزات پیچیده هیدروگرافی.

با ورود اکو ساندرهای مولتی‌بیم در عملیات هیدروگرافی فصل جدیدی از جمع‌آوری داده‌های عمق‌یابی از کف دریا باز شد که مارا با حجم زیادی از داده‌های مطمئن و با کیفیت بالا مواجه کرد. فناوری مولتی‌بیم در هیدروگرافی در آخرین مراحل پیشرفت خود قرار دارد، و اکثریت سازمانهای هیدروگرافی دنیا می‌توانند از این تجهیزات نهایت استفاده را ببرند. مهمترین هدف و انگیزه در حرکت از فناوری اکوساندرهای تک بیم به مولتی‌بیم، همانا تلاش در جهت تولید و تهیه نقشه‌های هیدروگرافی دقیق‌تر و با جزئیات بیشتر در زمان و هزینه کمتر بوده است.

این عمل با افزایش تعداد داده‌های عمق‌یابی جمع آوری شده در واحد سطح آب دریا انجام می‌پذیرد، که بدین وسیله هزینه و زمان تهیه چنین حجم زیادی از داده‌های دریائی در واحد سطح نسبت به روشهای قدیمی (اکوساندرهای تک بیم) کاهش یافته است . زیرا اکوساندرهای مولتی‌بیم به‌علت ساختار تکنولوژیکی‌اش سطح بیشتری از آب دریا درهر پینگ صوتی که به کف دریا ارسال می‌کند نسبت به اکوساندرهای تک بیم پوشش می‌دهد و پرتوافکنی مولتی‌بیم همانند بادبزنی تمامی پالس‌های صوتی را در هر پینگ به کف دریا ارسال می‌دارد. با این دامنه وسیع از پوشش پرتوهای‌ارسالی ازاکوساندر مولتی‌بیم عملاً هیچگونه فضای خالی یا «گپی» در بین خطوط عمق‌یابی اصلی مسیرهای هیدروگرافی به‌وجود نمی‌آید.

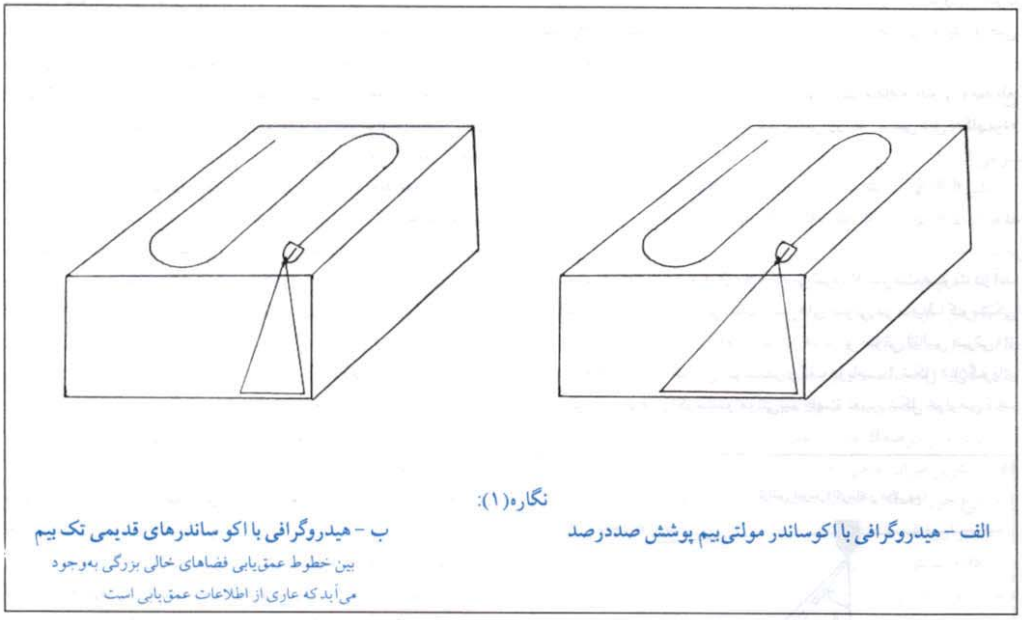
بنابراین در هیدروگرافی با مولتی‌بیم نیازی به تکرار عملیات در بین خطوط عمق‌یابی اصلی نیست. زیرا تصور کنید که بخواهیم از یک منطقه دریایی چارت یا نقشه دریایی با مقیاس ۱:۲۵،۰۰۰ تهیه کنیم. لازم است فاصله خطوط عمق‌یابی ۱ سانتی متر در مقیاس نقشه طراحی شود و کشتی بایستی روی این مسیرهای طراحی شده حرکت کند تا اطلاعات عمق‌یابی منظم که جهت تهیه چارت لازم است، برداشت نماید. در این حالت فاصله بین خطوط عمق‌یابی ۲۵۰ متر خواهد شد که یک چنین فاصله‌ای برای یک اکوساندر تک بیم که فقط می‌تواند اطلاعات عمق‌یابی رابه‌صورت نقطه‌ای در طول مسیر حرکت کشتی جمع آوری کند، بسیار زیاد است. چنین اکوساندری نمی‌تواند در مورد اطلاعات عمق‌یابی در فاصله خالی بین خطوط عمق‌یابی حرفی بزند به ناچار اطلاعات مورد نظر ازروشهای ریاضی و به‌طریق انترپولاسیون با توجه به اطلاعات معدودی که جمع آوری شده است بر آورد و محاسبه می‌گردد. در حالی‌که چنانچه در این پروژه اگر از اکوساندر مولتی‌بیم استفاده شود به‌علت ارسال پالس‌های صوتی در یک دامنه وسیع و به‌صورت بادبزنی شکل با زاویه ۱۳۰ درجه‌ای نه تنها اطلاعات عمق‌یابی در طول مسیر حرکت کشتی را ارائه خواهد داد، بلکه به‌علت وسعت پرتوهای ارسالی توسط این اکوساندر قادر است که در مورد اطلاعات عمق‌یابی بین خطوط اصلی (عمود بر مسیر حرکت کشتی) را تهیه و نمایش دهد. به‌عبارتی عرض پوشش پرتوهای این اکوساندر در هر پرتوافکنی از سیستم در حدود ۴ الی ۵ برابر عمق دستگاه تا کف دریا است. به‌عنوان مثال برای یک عمق ۲۰ متری پوشش پرتوهای این سیستم در حدود ۸۰ الی ۱۰۰ متر عمود برمسیر حرکت کشتی است. البته لازم به ذکر است که این پوشش عرضی پرتوهای صوتی در آبهای عمیق بیشتر است و حتی تا ۱۲ برابر عمق اندازه گیری شده را نیز در برمی‌گیرد.

هدف این بحث آن است که بتوانیم راه‌حل‌های مناسبی را در مواجه با مسائل مربوط به هیدروگرافی جهت جمع آوری داده‌های عمق‌یابی دقیق و با کیفیت بهتر و تراکم بیشتر، ارائه نمائیم. اکوساندرمولتی‌بیم به‌علت کوچکی و فشرده بودن حجم آن به‌راحتی می‌تواند بر روی شناورهای دریایی کوچک نصب گردد و با بهره گیری از حجم زیاد اطلاعات عمق‌یابی که جمع‌آوری می‌کند، می‌توان استاندارد IHO S-44 رابرآورده و تأمین نمود. از طرف دیگر تجهیزات جدید و مدرن هیدروگرافی به نوبهٔ خود ضرورت نیاز به روشهای مناسب و جدید هیدروگرافی و کنترل کیفیت نقشه‌های دریائی را به‌همراه دارد. روشهای پیشنهادی که امروزه مطرح است، بیشتر در ارتباط مستقیم با یک سری نرم افزارهای مدرن هیدروگرافی است که به‌راحتی با تجهیزات جدید و مدرن سازگاری دارند. مرحله پردازش که دراین تجهیزات توسط نرم افزارهای مشخص ضمانت می‌گردد از مرحله جمع آوری داده‌های خام عمق‌یابی تا مرحله اعمال مقادیر جزر و مد و تصحیحات لازم مربوط به دستگاه و خطاهای مربوطه و تا مرحله تهیه و ترسیم چارت را در برمی‌گیرد. زمان پردازش اطلاعات و سرعت تهیه نقشه و محاسبات وابسته به توانایی و سرعت رایانه مورد استفاده در پردازش است.

مقدمه :

مراکز هیدروگرافی که وظیفه تهیه نقشه‌های دریایی را به عهده دارند می‌بایست به دنبال جانشین مناسب برای تجهیزات قدیمی خویش باشند. زیرا با ورود اکوساندرهای مولتی‌بیم به بازار هیدروگرافی جهان عملاً به‌کارگیری تجهیزات و روشهای قدیمی از لحاظ هزینه و زمان هرگز به صرفه نخواهد بود. اکوساندرهای مولتی‌بیم گزینهٔ مناسبی جهت هیدروگرافی در آبهای کم عمق است . طی ده سال گذشته اکوساندرهای مولتی‌بیم جزء اجزاء اصلی تجهیزات هیدروگرافی بوده‌اند که توسط کمپانیهای نفتی جهت اکتشاف و ساخت تأسیسات و سکوهای نفتی در مناطق کم عمق به کارگرفته شده‌اند . تعداد معدودی از سازمانهای هیدروگرافی دنیا نیز برای نقشه‌برداری آبهای سواحل خویش و نواحی کم عمق از این تجهیزات استفاده کرده‌اند. در طی این ده سال بهره گیری از فناوری مولتی‌بیم به‌طور وسیع گسترش یافته است ، به گونه‌ای که هزینه استفاده از این نوع فناوری جهت عمق‌یابی و تهیه نقشه‌های دریایی کاهش یافته و موجب سریع تر شدن پروسه تهیه نقشه گردیده است. همچنین این فناوری جدید موجب گردیده است که اکوساندرهای جدید به‌طور قابل ملاحظه‌ای کوچک‌تر و فشرده تر از اکوساندرهای قدیمی باشند و اطلاعات به‌دست آمده ازطریق آنها صددرصد منطقه هیدروگرافی را پوشش می‌دهد.

امروزه برای تهیه چارتهای الکترونیکی ما نیاز به اطلاعات عمق‌یابی پیوسته و متراکم داریم که صددرصد منطقه مورد نظر هیدروگرافی را کاملاً پوشش دهد که این توانایی از اکوساندرهای جدید مولتی‌بیم بر می‌آید . به‌دست آوردن اطلاعاتی از بستر دریا که با جزئیات کامل صددرصد عوارض کف دریا را پوشش دهد نتیجه خوبی در برقراری امنیت کشتیرانی در مسیرهای دریایی برای کشتی‌های تجاری و نظامی و نفتکشهای غول‌پیکر دارد. همان‌طور که می‌دانید داشتن اطلاعات عمق‌یابی با جزئیات بیشتر از بستر دریادر مناطق خطرناک و پر ریسک جهت ناوبری امری ضروری و با اهمیت است. به‌دست آوردن وضعیت هندسی از توپوگرافی کف دریا به‌وسیله ایجاد حجم های هندسی از طریق محاسبات دقیق ریاضی در مناطق کم عمق و خطرناک امری است که تنها با داشتن داده‌های وسیع و جزئیات بیشتر از آن مناطق امکان پذیر است و این امر در توان تجهیزاتی از نوع اکوساندرهای مولتی‌بیم است، که در هر پرتوافکنی، حجم زیادی از داده‌ها را در پوشش وسیع از مسیرهای عمق‌یابی شده فراهم می‌نمایند. در اینجا هدف آن است که گفته شود چگونه می‌توان با دسترسی به تجهیزات مدرنی همانند اکوساندرهای مولتی‌بیم توانایی و کارایی کشتی‌های هیدروگرافی را در نقشه‌برداری کف دریا و تعیین شکل بستر دریا افزایش داده و در عین حال با این کار هزینه و زمان هیدروگرافی در هر کیلومتر مربع از آب دریا را به میزان قابل ملاحظه‌ای کاهش داد. برای نیل به این هدف تجهیزات فناوری مشخصی که شامل رایانه‌ای کردن محاسبات هیدروگرافی و مراحل مختلف تهیه چارت دریایی است مورد نیاز است. همچنین استفاده از نرم افزارهای کامپیوتری مناسب که در عین سازگاری با تجهیزات جدید ابزار مناسبی برای کارهای سخت محاسباتی باشند و



نگاره(۱):

الف – هیدروگرافی با اکوساندر مولتی‌بیم پوشش صددرصد

ب – هیدروگرافی با اکو ساندرهای قدیمی تک بیم
بین خطوط عمق‌یابی فضاهای خالی بزرگی به‌وجود می‌آید که عاری از اطلاعات عمق‌یابی است

کارکنترل کیفیت نتایج هیدروگرافی را نیز در برمی‌گیرند، پیشنهاد می‌شود. این چنین تجهیزات مدرنی در حال حاضر در بازار موجود است و اطمینان از صحت و دقت عملکرد آنها بارها توسط انواع شرکتها و سازمانهای هیدروگرافی مورد آزمایش و بررسی قرارگرفته است.

○ اساس عمق‌یابی با اکوساندر مولتی‌بیم

اکوساندر مولتی‌بیم در اساس کاملاً با اکوساندرهای قدیمی که تک‌بیم هستند، متفاوت است. این تفاوت اصولاً به نحوه اجراء این سیستم و ساختار دستگاهی سیستم مربوط است. اکوساندرهای قدیمی با ارسال پالس‌های صوتی کوتاه به کف دریا در هر پینگ صوتی و اندازه‌گیری و تشخیص پالس‌های برگشتی از کف دریا و مقایسه زمان رفت و برگشت آنها با معلوم بودن سرعت صوت در آب دریا عمق مورد نظر را محاسبه می‌کردند. روش کار به این صورت بود که ابتدا پالس صوتی در محیط اکوستیکی دریا ارسال می‌گردید و پس از برخورد با کف دریا به ترانس دیوس اکوساندر بازتاب می‌یافت. در آنجا با اندازه‌گیری زمان رفت و برگشت پالس صوتی و سرعت صوت در آب دریا که تقریباً ۱۵۰۰m/s می‌باشد از رابطه $d = \frac{1}{2}V.\Delta t$ که Δt اختلاف زمان رفت وبرگشت صوت و V سرعت پالس صوتی در آب، d عمق نقطه مورد نظر از کف دریا، اندازه‌گیری می‌شد. بنابراین با توجه به رابطه مورد نظر و ثابت بودن سرعت صوت در محیط آکوستیکی دریا می‌توان این‌گونه تعبیر کرد که عملاً اکوساندر یک دستگاه دقیق اندازه‌گیری زمان رفت و برگشت پالس‌های صوتی می‌باشد، که هر چقدر این زمانها دقیق‌تر اندازه‌گیری شود، عمق به‌دست آمده صحیح‌تر است. البته سرعت صوت در آب دریا نیز تابع یک سری عوامل همانند جریانات دریایی –دمای آب – غلظت آب و حتی جنس بستر کف دریا است . هرچه جنس بستر دریا سخت‌تر و صخره‌ای باشد، بازگشت پالس‌های صوتی سریع‌تر است و هر چه این جنس نرم تر باشد مانند (لجن – ماسه‌ای) مقداری از انرژی صوتی جذب شده و موج در کف دریا تا عمق معینی نفوذ می‌کند و آنگاه به سمت اکوساندر بازیاب می‌یابد که در این حالت زمان برگشت موج طولانی تر می‌شود. و در این حالت عمق های اندازه‌گیری شده با واقعیت تفاوت بیشتری دارند.

در گذشته برای آنکه بتوانند با این نوع اکوساندرها هیدروگرافی نمایند، مجبور بودند که ابتدا مسیرهای حرکت کشتی را به صورت یک سری خطوط عمق‌یابی موازی با فواصل معین و استاندارد از یکدیگر روی یک نقشه قدیمی طراحی و سپس با حرکت پیوسته کشتی برروی خطوط مورد نظر و با افزایش تعداد خطوط عمق‌یابی در کنار یکدیگر اطلاعات عمق‌یابی جمع آوری شده توسط اکوساندر تک بیم را به حدی برساند که جهت تهیه نقشه هیدروگرافی برای آن منطقه کافی و مناسب باشد. معمولاً فاصله خطوط عمق‌یابی را ۱cm در مقیاس نقشه و فاصله نقاط عمق‌یابی در هر خط را نیز ۱cm در مقیاس نقشه درنظر می‌گرفتند.

در این روش از آنجایی‌که اولاً؛ امکان فراهم نمودن نقاط عمق‌یابی و

داده‌های عمق‌یابی پیوسته و متراکم در فاصله بین خطوط وجود نداشت و ثانیاً؛ تهیه آن بسیار وقت گیر و پرهزینه بود، لذا اطلاعات عمق‌یابی برای این نواحی (فاصله بین دو خط عمق‌یابی) را از طریق محاسبات و انجام انترپولاسیون ریاضی فراهم می‌نمودند که این روش در مقیاس‌های کوچک بسیار خطرناک و جهت امنیت کشتیرانی و ناوبری چارت از ریسک پذیری بالایی برخوردار بود. همچنین موقعیت مسطحاتی (x,y) نقاط عمق‌یابی شده توسط اکوساندر تک بیم به‌وسیله روش‌های رادیوئی با استفاده از طولیاب رادیوئی EDM و سایر روشهای کلاسیک نقشه‌برداری همانند ترفیع وتقاطع از نقاط ساحلی تعیین می‌گردید. در حالی‌که امروزه این تعیین موقعیت به‌وسیله سیستم DGPS که مرکب از دو گیرنده GPS یکی روی ایستگاه ثابت با مختصات معلوم در ساحل است و گیرنده دیگر در کشتی نصب شده و در اتصال با اکوساندر می‌باشد و به‌طور هم‌زمان در واحد زمان برای عمق اندازه گیری شده توسط اکوساندر یک موقعیت مسطحاتی x,y از طریق GPS و به‌وسیله نرم‌افزار محاسبه و تعیین می‌گردد و نتیجه به صورت چارت الکترونیکی روی صفحه نمایشگر رایانه ارائه می‌شود.

این توضیحات گویای بیان اجمالی از نحوه عملکرد اکوساندرهای قدیمی تک بیم است که جهت پروفیل برداری از کف دریا در طول مسیر حرکت کشتی به‌کار گرفته می‌شود.

عملکرد اکوساندرهای مولتی‌بیم در اساس به گونه‌ای است که با اکوساندرهای قدیمی متفاوت است. در واقع یک اکوساندر مولتی‌بیم انرژی پالس صوتی تولید شده را نه تنها به‌طور قائم به کف دریا ارسال می‌کند بلکه آنها در هنگام پرتوافکنی از ترانس دیوسر عمود بر مسیر حرکت کشتی در عرضهای جانبی چپ و راست نیز ارسال می‌دارد. این دامنه وسیع از پرتوهای صوتی ارسال شده به کف دریا که به‌صورت پره‌های مختلف یک بادبزن از ترانس دیوسر اکوساندر مولتی در جهت قائم و عمود بر جهت کشتی می‌باشند پس از برخورد با بستر دریا بازتاب یافته و تمامی پالس‌های صوتی انعکاس یافته از کف دریا که حکم همان پره‌های یک بادبزن را دارند توسط یک ترانس دیوسر مولتی کانال کشف و پس از تقویت زمان آنها اندازه گیری می‌شود.

با این تکنیک می‌توان رشته وسیعی از پالس‌های صوتی را در آن واحد از ترانس دیوسر به کف دریا ارسال کرد و بازتاب آنها دریافت کرد و از تجزیه وتحلیل زمان و انرژی دامنه وسیع از پرتوهای بازتاب یافته از کف دریا فواصل مختلف موجود را از اکوساندر را در راستای قائم و عرضهای جانبی مسیر حرکت کشتی اندازه گیری کرد.

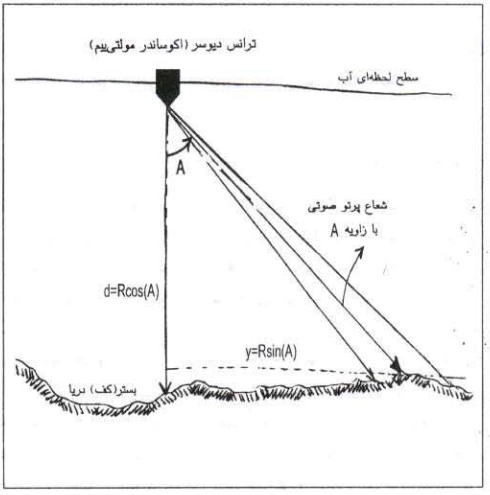
به‌عبارتی به‌وسیله اکوساندر مولتی‌بیم و پردازش امواج صوتی ارسالی از آن می‌توان به مقادیر عمق را برای هر یک از پالس‌های محاسبه و از آنجایی که رشته گسترده‌ای از این پرتوهای صوتی باریک به‌شکل یک بادبزن چندین پره از ترانس دیوسر اکوساندر مولتی‌بیم به کف دریا ارسال می‌گردد. بنابراین هر یک از آنها دارای زمان رفت وبرگشت متفاوتی نسبت به پالس‌های دیگر دارد و از این طریق می‌تواند فاصله متفاوتی از ترانس دیوسر تا کف دریا را نسبت به سایر پالسها ارائه دهد و مجموع این فواصل متفاوت در کنار یکدیگر باعث می‌شود که بتوانیم علاوه بر پروفیل طول عمق برای هر مسیر کشتی در همان لحظه‌ها مقاطع عرضی وپروفیل عرضی خطوط حرکت کشتی را داشته باشیم.

برای رسیدن به این اطلاعات یعنی برداشت مقاطع طولی ومقاطع عرضی در طول و عرض مسیر حرکت کشتی روابط ریاضی ذیل به‌کار برده می‌شود.

$$d = \frac{1}{2} . V.\Delta t. \cos (A) = R \cos (A) \qquad (۲)$$

$$y = \frac{1}{2} . V.\Delta t. \sin (A) = R \sin (A) \qquad (۳)$$

به‌طوری که در روابط فوق ملاحظه می‌شود، V سرعت صوت در آب می‌باشد و Δt زمان رفت و برگشت پالس‌های صوتی در محیط آکوستیکی آب دریاست و زاویه A در واقع زاویه بین هر پرتو صوتی (پالس صوتی) از راستای قائم (امتداد قائم بین اکوساندر و کف دریاست). شکل ذیل گویای به کارگیری پرتوهای اکوساندر مولتی‌بیم جهت تعیین شکل عوارض کف دریاست.



نگاره (۲): نحوه محاسبه عمق برای اکوساندر مولتی‌بیم

براساس روش نمایش داده شده در نگاره (۲)، اکوساندر مولتی‌بیم حجم زیادی از داده‌های عمق‌یابی را جمع‌آوری وارائه می‌دهد و بدین وسیله می‌تواند فضای عرضی بین خطوط عمق‌یابی را به‌راحتی پوشش دهد.

همان‌طور که از نگاره فوق پیدا است ترانس دیوسر اکوساندر مولتی تعداد بی‌شماری از پرتوهای صوتی در جهت قائم و در جهت عرضهای سمت چپ و سمت راست مسیر عمق‌یابی تا زاویه معین A در امتداد عمود بر مسیر حرکت ارسال می‌دارد و از دریافت این پرتوهای صوتی بی‌شمار توسط ترانس دیوسر مولتی کانال خویش فواصل ترانس دیوسر را تا تمامی

نقاط بازتاب دهنده پرتوهای صوتی در کف دریا تعیین می‌کند. با پردازش و سرشکنی این داده‌ها امکان به‌دست آوردن داده‌های عمق‌یابی در طول مسیر حرکت کشتی و در پوشش عرضی وسیعی از مسیرهای عمق‌یابی تا آنجا که توانایی سیستم اجازه می‌دهد، فراهم می‌شود. حتی هنگامی‌که بتوان به جای یک ترانس دیوسر از دو ترانس دیوسر چسبیده به یکدیگر تحت یک زاویه مشخص در عمق‌یابی با اکوساندر مولتی‌بیم بهره گرفت، در چنین حالتی امکان افزایش زاویه A تا ۱۸۰ درجه نیزوجود دارد. به‌عبارتی حتی می‌توان پرتوهایی در سطح آب به سمت ساحل نیز ارسال کرد تا با دریافت بازتاب آنها بتوان چین‌خوردگی‌ها و وضعیت کناره‌های ساحلی را تعیین کرد.

در مجموع آن‌چه از نگاره (۲) می‌توان استنباط کرد همان اساس کارکرد و اندازه‌گیرهای مولتی‌بیم است. همان‌طور که ملاحظه می‌کنید تراکم و پوشش داده‌های عمق‌یابی جمع‌آوری شده توسط این سیستم آنقدر وسیع و زیاد است که کاربرد آن در آبهای کم عمق، نیاز انجام انترپولاسیون جهت تعیین عمق نقاط واقع بین خطوط عمق‌یابی را از بین می‌برد. و پرتوافکنی‌های عرضی این سیستم در هر خط عمق‌یابی به گونه‌ای است که همواره پوشش عرض نسبتاً کمی بین خطوط عمق‌یابی مجاور هم در به کارگیری این نوع از سیستم‌ها جهت پوشش کامل منطقه وجود دارد. بنابراین کاربرد این سیستم موجب خواهد شد که از اندازه‌گیریهای آن بتوان صد در صد منطقه تحت هیدروگرافی را پوشش داد و از جمع‌آوری داده‌های صحیح و دقیق مطمئن بود. این امری طبیعی است که نقشه‌برداری از یک منطقهٔ دریایی را به گونه‌ای طراحی کنیم که بتوانیم صد در صد وضعیت توپوگرافی منطقه را نمایش دهیم در چنین حالتی اکوساندر مولتی‌بیم با جمع‌آوری داده‌های عمق‌یابی مربوط به نقاطی که در بین خطوط اصلی هستند می‌تواند نیاز به انترپولاسیون بین این نقاط را ببرد و تمامی موانع و عوارض موجود در این منطقه را به‌صورت عریان به نمایش بگذارد.

از ویژگیهای بسیار مهم داده‌های جمع‌آوری شده با اکوساندر مولتی‌بیم آن است که پرتوهای صوتی ارسالی از این سیستم می‌توانند برای ما یک تصویر آکوستیکی از کف و بستر دریا ارائه دهد همانند تصاویری که از طریق سیستم‌های سایدا سکن سونار فراهم می‌شود . با این تفاوت که قدرت تفکیک تصاویر ارائه شده توسط اکوساندر مولتی‌بیم بستگی به پهنای باند فرکانس صوتی مورد استفاده دارد. همچنین تابع نرخ تغییرات و نرخ پالس‌های صوتی ارسالی در واحد زمان و توان پردازش داده‌های حاصل توسط سیستم‌های نرم‌افزاری وسخت‌افزاری مورد استفاده همراه با سیستم است. در اکوساندر مولتی‌بیم تصویر کف دریا از پردازش حجم زیاد داده‌های عمق‌یابی تهیه شده با این سیستم است که این تصاویر می‌تواند جهت اعوجاجات هندسی ناشی از صاف نبودن کف دریا تصحیح شوند. با این عمل و پردازشهای رایانه به‌وسیله نرم‌افزارهای قوی می‌توان تصویر بزرگتری از کف دریا ارائه دادکه حاصل ترکیب تصاویر مربوط به چندین خط عمق‌یابی مجاور هم می‌باشند. تصاویر به‌دست آمده با این روش ابزار مناسبی هستند جهت جستجوها و اکتشافات دریایی، و بدین وسیله می‌توان به مجموعه‌ای از اطلاعات دریایی دست یافت که در زمینه طبقه‌بندی رسوبات دریایی و تعیین جنس بستر دریا بسیار مفید و سودمند هستند.

به‌دلیل ویژگیهای تکنیکی در عمل، اکوساندرهای مولتی‌بیم به گونه‌ای طراحی شده‌اند که ابزاری نیرومند در جهت تعیین وضعیت هندسی و توپوگرافی کف دریا باشند. در حال حاضر در بازار نقشه‌برداری تجهیزات مدرن دیگری به نام «سونارهای نقشه‌برداری جاروب کننده» (Swath mapping sonars) وجود دارد. این تجهیزات بدون استفاده از تکنیک تشکیل پرتوهای صورتی که در سیستم‌های قدیمی موجود بود، توانایی تولید و جمع‌آوری داده‌های عمق‌یابی بی‌نظیری را دارد که سیستم‌های با نام ساید اسکن سونار (Side scan sonar) تهیه می‌کنند.

ترانس دیوسر که این نوع سیستم‌ها دارای تعداد بی‌شماری از ترانس دیوسرهای روزنه‌ای شکل کوچک که تحت یک زاویه معین کنار یکدیگر به‌طور مرتب و ردیفی چیده شده‌اند تعداد بی‌شمار پالس صوتی به کف دریا ارسال می‌کنند که این پرتوها همانند پره‌های یک بادبزن از ترانس دیوسر ارسال می‌گردد. پرتوهای صوتی ارسالی پس از برخورد با توپوگرافی کف دریا به سمت ترانس دیوسر منعکس می‌گردند ، سپس پرتوهای بازتاب یافته توسط ترانس دیوسر مورد نظر که مولتی کانال است دریافت و از آنالیز آنها عمق هر نقطه از کف دریا محاسبه و تعیین می‌گردد. علت استفاده از این نوع خاص از ترانس دیوسرها در این نوع سیستم‌های مدرن آن است که بتوان زاویه ورودی هر یک از پالس‌های ارسالی برکف دریا را پس از بازگشت به‌صورت تابعی از زمان اندازه‌گیری کرد. به‌عبارتی اندازه این زاویه ورودی برای هر پالس صوتی ارسالی در واحد زمان اندازه‌گیری می‌شود.

نحوه چیده شدن ترانس دیوسرهای روزنه‌ای شکل کوچک در ترانس دیوسر این نوع سیستم‌های جدید به گونه‌ای است که هر کدام از آنها با زاویه معین نسبت به حالت قائم یک نقطه از باند عرضی عمود بر مسیر حرکت کشتی را پوشش می‌دهد. یعنی نیمی از این ترانس دیوسرهای روزنه ای شکل کوچک سمت چپ باند عرضی را در برمی‌گیردو نیم دیگر سمت را پوشش می‌دهد همانند چشمان انسان که یک چشم میدان دید سمت چپ را می‌بیند و چشم دیگر محیط سمت راست را پوشش می‌دهد، با این تفاوت که در ترانس دیوسر سونارهای نقشه‌برداری جاروب کننده به جای دو چشم تعداد بی‌شماری چشم صوتی یا سنجنده صوتی با زوایای معین وجود دارند که هر یک محدوده المانی بسیار کوچکی از بستر دریا در طول و عرض مسیر حرکت کشتی اندازه گیری و عمق آن را ارائه می‌دهد. تکنیک به کارگیری از ترانس دیوسرهای روزنه‌ای کوچک باعث خواهد شد که پالس‌های صوتی از ترانس دیوسرهای مورد نظر به شکل بادبزن ارسال گردد که در این بادبزن صوتی هر یک از پره‌ها نقش یک پرتو صوتی را بازی می‌کند که از یک ترانس دیوسر کوچک منتشر می‌گردد. سپس برآیند این پرتوی صوتی پس از بازگشت از کف دریا در ترانس دیوسر سیستم‌های مورد نظر اندازه‌گیری و وضعیت کف دریا توسط نرم افزارهای مربوط از طریق رایانه ترسیم و تعیین می‌گردد، که می‌تواند این خروجی یا به‌صورت داده‌های عمق‌یابی باشد یا به‌صورت تصویرهای مشابه ساید اسکن سونار

که شبیه‌سازی بستر دریا توسط رایانه با داده‌های مورد نظر است . به هرحال این تکنیک اندازه گیری عمق نیز به نوبه خود حاوی یکسری مشکلات و مسائل ابهام آمیز است که از جمله موارد ابهام و مشکل ساز می‌توان این‌گونه اشاره کرد.

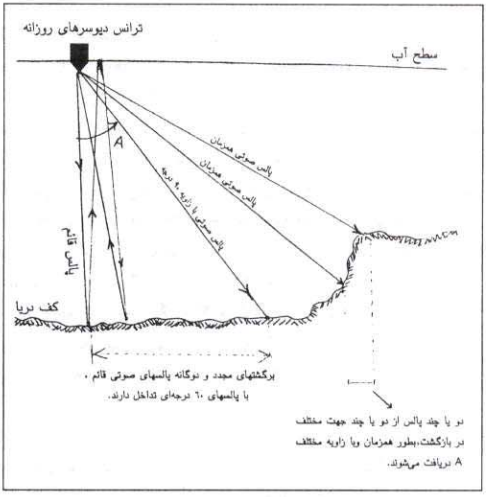
۱- انجام عمق‌یابی قائم در جهت عمودی برای تعیین ساختار و ساختمان توپوگرافی کف دریا که دقیقاً در راستای قائم ترانس دیوسر این نوع سیستم‌های جدید (سونارهای جاروب کننده) وجود دارد، کاری بس مشکل و ابهام آمیز است. علت این امر ناشی از نحوه قرار گرفتن و چیده شدن سنجنده‌ها و ترانس دیوسرهای روزنه‌ای شکل کوچک است که در این نوع سیستم‌های جدید قرار گرفته اند.

۲- در وضعیت های آکوستیک هنگامی‌که دو یا چندین پالس صوتی به‌طور هم‌زمان از جهات مختلف به ترانس دیوسرهای مورد نظر می‌رسند ، بروز می‌کند. در این حالت زمان ارسال و دریافت هر دیوسر از عوارض کف دریا یکسان است ولی زاویه ورودی این دو یا چند پالس مورد نظر در ترانس دید ما فرق می‌کند. نتیجه آن بروز ابهام در تعیین عمق صحیح توسط سیستم است.

همان‌طور که گفته شد بدین علت است که اساس اندازه گیری این نوع از سیستم‌های هیدروگرافی بر پایه اندازه گیری و تعیین زاویه ورودی موج صوتی بازتاب یافته از کف دریا در زمانهای معین می‌باشد. چون در حالت های ذکر شده زمان دریافت هر دو موج توسط ترانس دیوسرها یکسان است ولی به‌علت متغیر بودن جهات ارسال پالسها زاویه ورودی آنها به ترانس دیوسر ها فرق می‌کند، لذا نمی‌توان برای یک عمق دو زاویه ورودی یکسان داشت. مشکل در نگاره (۳) نشان داده شده است.

تهیه چارت با کیفیت خوب و هزینه کم

هرچند که قیمت تمام شده اکوساندرهای مولتی‌بیم نسبت به اکوساندرهای قدیمی بیشتر است، اما در مجموع این نوع از اکوساندرها نقشه های دریایی با کیفیت بهتر و دقت بالاتر و هزینه کمتر تولید می‌کنند . علت بالا رفتن کیفیت نقشه ها با این سیستم‌های جدید از آن جهت نیست که داده‌های عمق‌یابی جمع آوری شده با آنها بسیار دقیق‌تر است، بلکه علت اصلی ناشی از پوشش داده‌های مورد نظر است . زیرا در اثر پرتو افکنی وسیع ترانس دیوسر اکوساندر مولتی‌بیم که پرتوهای صوتی را به شکل بادبزنی به کف دریا ارسال می‌کنند می‌تواند اطلاعات عمق‌یابی مورد نظر را در طول و در عرض مسیر حرکت کشتی تهیه نماید این توانایی در اکوساندرهای تک بیم قدیمی وجود نداشت . این گستردگی پرتوهای صوتی بگونه‌ای است که داده‌های متراکم و پیوسته از وضعیت عوارض کف دریا در فاصله بین خطوط عمق‌یابی نیز تهیه می‌شود و نیازی به انجام انترپولاسیون‌های ریاضی برای تعیین عمق در این نواحی وجود ندارد. این موضوع خود عامل مهمی در کاهش زمان و هزینه هیدروگرافی در مناطق دریایی است. از طرف دیگر با اکوساندرهای جدید (مولتی‌بیم) علاوه بر فراهم نمودن داده های عمق‌یابی که در گذشته توسط اکوساندرهای تک بیم



نگاره (۳): مشکلات آکوستیکی حاصل از تداخل پالس‌های صوتی در سونارهای نقشه‌برداری جاروب کننده

تهیه می‌شد توانایی دیگری نیز وجود دارد که بسیار مهم و با اهمیت است و آن این است که با داده‌های پیوسته و متراکم تهیه شده از طریق مولتی‌بیم می‌توان به کمک روابط ریاضی و نرم افزارهای معین و مشخص از طریق رایانه ها تصویری مشابه تصویر سیستم‌های سایداسکن سونار تهیه کرد. این تصاویر می‌توانند در فهم و درک وضعیت توپوگرافی کف دریا به عامل هیدروگرافی و یا ناوبر کمک اساسی نمایند.

به‌عنوان مثال جهت بررسی هزینه های نقشه‌برداری هیدروگرافی با اکوساندرهای مولتی‌بیم جدید برآورد ذیل ارائه شده است. فرض کنید که یک منطقه به وسعت ۴ کیلومتر مربع داشته باشیم که می‌بایست هیدروگرافی شود. در این حالت حداکثر فاصله بین خطوط عمق‌یابی در حدود ۵ متر است . هزینه تجهیزات هیدروگرافی برای نقشه‌برداری در این منطقه ، شامل هزینه کشتی به همراه حقوق کارکنان آن و هزینه سنجنده‌های اندازه گیری حرکات دینامیکی کشتی و دیگر وسایل هیدروگرافی و کمک ناوبری جانبی همانند GPS و جزر و مد سنج در هر ساعت برابر با ۲۰۰ دلار است.

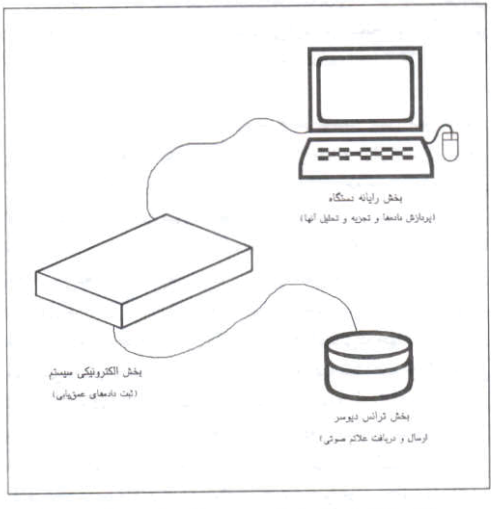
درحالی‌که هزینه اجراء عملیات هیدروگرافی در منطقه فوق الذکر با اکوساندر مولتی‌بیم به همراه هزینه تمامی سنجنده‌ها و وسایل کمک ناوبری الحاقی به آن از یک افزایش نسبی ۳۰ درصدی نسبت به اکوساندرهای قدیمی تک بیم برخوردار است. اما آنچه که درنهایت برآورد می‌شود آن است که هزینه نقشه‌برداری با اکوساندرهای مولتی‌بیم به‌علت کاهش زمان اجرای عملیات که به دنبال آن کاهش هزینه و استهلاک وسایل و ابزارهای هیدروگرافی را در برخواهد داشت، بسیار پائین‌تر می‌باشد. به‌عنوان مثال

می‌توان به برآورد هزینه های محاسبه شده در اجرای عملیات هیدروگرافی در یک منطقه مورد نظر دراعماق ۱۰ الی ۲۰ متر که در جدول ذیل تنظیم شده است توجه نمود

اکوساندرجدید (مولتی‌بیم)	اکوساندر جدید (مولتی‌بیم)	اکوساندر قدیم (مولتی‌بیم)	دستگاه عمق یاب
۱۰ متر	۲۰ متر	۱۰ یا ۲۰ متر	عمق آب
۲۰ متر	۵۰ متر	۵ متر	فاصله بین خطوط نقشه‌برداری طراحی شده
کمتر از ۰/۵ متر	کمتر از یک متر	۵ متر	فاصله بین خطوط عمق‌یابی در اجراء
۲۰۰ کیلومتر	۸۰ کیلومتر	۸۰۰ کیلومتر	کل فاصله هیدروگرافی
۸ نات	۸ نات	۸ نات	سرعت نقشه‌برداری هیدروگرافی
۲۰ ساعت	۱۰ ساعت	۶۰ ساعت	زمان نقشه‌برداری همراه بازمان کالیبراسیون
۵۲۰۰ دلار	۲۶۰۰ دلار	۱۲۰۰۰ دلار	هزینه کل نقشه‌برداری به دلار

همان‌طور که مشاهده می‌شود با توجه به برآوردهای فوق هزینه نقشه‌برداری با اکوساندرمولتی‌بیم بسیار کمتر از روشهای قدیمی با استفاده از اکوساندرهای قدیمی (تک بیم) است. زیرا عملیات هیدروگرافی با اکوساندرهای جدید بسیار سریع‌تر می‌باشد. به این علت که فواصل بین خطوط عمق‌یابی در کاربرد اکوساندرهای جدید می‌توانند ۵ الی ۱۰ برابر فاصله بین خطوط در روشهایی باشد که از اکوساندرهای قدیمی تک بیم استفاده می‌شود، این خود موجب سرعت بخشیدن به اجرای پروژه هیدروگرافی می‌گردد. نتیجه دیگری که از اطلاعات جدول فوق می‌توان برداشت نمود این که اختلاف هزینه‌ها درنقشه‌برداری هیدروگرافی با سیستم‌های مولتی‌بیم جدید و سیستم‌های جدید و سیستم‌های قدیمی بیشتر درآبهای عمیق بروز می‌کند. زیرا در آبهای عمیق است که فواصل خطوط عمق‌یابی برای سیستم‌های قدیمی بسیار زیاد است و برای پرکردن این فواصل نیاز به اجرای هیدروگرافی دربین خطوط عمق‌یابی است و این امر حکایت از دو باره‌کاری عملیات را دارد و موجب افزایش هزینه و زمان اجرای پروژه می‌گردد. ولی در آبهای کم عمق این فواصل کمتر است. لذا ضرورتی به اجرای عملیات هیدروگرافی دربین خطوط عمق‌یابی جهت برداشت داده‌های متراکم عمق‌یابی نیست . این وضعیت برای اکوساندر مولتی‌بیم یکسان است، زیرا براساس ساختار اساسی دستگاه سیستم اتوماتیک اقدام به برداشت داده‌های متراکم عمق‌یابی در طول و دربین خطوط عمق‌یابی می‌کندکه اهمیت این داده‌ها در آبهای عمیق بیشتر نمایان می‌شود. همچنین همان‌طور که گفته شد از آنجایی که جمع آوری داده های عمق‌یابی با اکوساندر مولتی‌بیم بسیار متراکم تر و حجیم تر است پردازش آنها نیاز به نرم‌افزارهای محاسباتی مناسب و قوی دارد که به‌وسیله آنها می‌توان جزئیات بیشتری را به‌علت تراکم داده‌ها از وضعیت بستر دریا به‌دست آورد.

در نگاره (۴) نمایشی از یک اکوساندر مولتی‌بیم ارائه شده است. امروزه اکوساندرهای مولتی‌بیم در اندازه‌های مختلف ساخته شده‌اند که بعضی از آنها به‌قدری کوچک و فشرده می‌باشند که می‌توان آنها را به‌راحتی روی کشتی ها و شناورهای دریایی به‌طول ۶ الی ۱۰ متر نصب کرد. اکوساندر مولتی‌بیم تشکیل شده است از یک ترانس دیوسر به همراه کابل مخصوص و یک جعبه الکترونیکی که به‌راحتی می‌تواند در یک قفسه به ابعاد ۴۸ سانتی متر قرار گیرد. همچنین سیستم مورد نظر شامل یک رایانه و پردازشگر مربوطه می‌باشدکه کار طراحی و محاسبه خطوط عمق‌یابی و هدایت کشتی و به‌طور کلی کنترل عملیات را به‌عهده می‌گیرد. بخش پردازشگر سیستم کار صحت عملیات اکوساندر و دقت اطلاعات عمق‌یابی جمع آوری شده را تحت نظر دارد. در این بخش ما می‌توانیم به‌طور هم‌زمان داده های عمق‌یابی را به‌صورت چارت‌های الکترونیکی روی صفحه نمایشگر رایانه مشاهده نماییم.



نگاره (۴): شمائی از یک سیستم اکوساندر مولتی‌بیم

امکان نصب سیستم طراحی شده در نگاره (۴) به همراه ترانس دیوسر بر روی هر کشتی مخصوص هیدروگرافی وجود دارد. حتی می‌توان ترانس دیوسر سیستم را در جلوی کشتی و در پهلو چسبیده به بدنه کشتی نصب کرد. در چنین حالت هایی ترانس دیوسر مورد نظر قابل حمل و پرتابل است. برای نصب دائم ترانس دیوسر در کف کشتی می‌بایست طراحی های لازم هنگام ساخت کشتی در نظر گرفته شود تا محل مناسبی جهت قرارگیری ترانس دیوسر به گونه‌ای که تقریباً در راستای آنتن سیستم تعیین موقعیت ماهواره‌ای GPS باشد، برای آن درنظر گرفته شود.

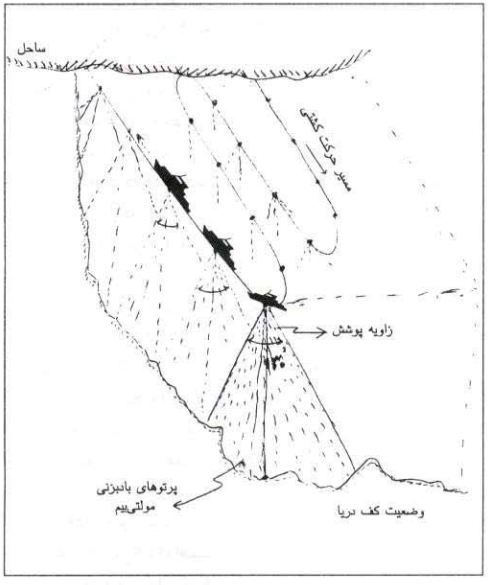
خصوصیات فیزیکی اکوساندر مولتی‌بیم

همان‌طور که اشاره شد، اکوساندر مولتی‌بیم از نظر ساختاری به گونه‌ای

ساخته شده که می‌تواند در هر زمان در هر نقطه از طول مسیر حرکت کشتی روی خطوط عمق‌یابی یک بادبزنی از ۱۲۰ پرتو یا موج صوتی با زاویه پوشش تقریباً ۱۳۰ درجه تولید کند. زاویه مورد نظر در اصل زاویه بین آخرین پرتوهای جانبی در چپ و راست مسیر حرکت کشتی است. این گستردگی پرتوهای صوتی ارسالی از اکوساندر مولتی‌بیم حکایت از آن دارد که این پرتوها در عرض محدوده‌ای به وسعت ۴ برابر فاصله بین ترانس دیوسرها تا کف دریا را در بر می‌گیرد. این نوع از اکوساندرها می‌توانند به دو ترانس دیوسر مجهز شوند در چنین حالتی وسعت عرض محدوده‌ای که در پرتوافکنی‌های خود در بر می‌گیرند در حدود ۸ برابر فاصله عمودی ترانس دیوسرها تا کف دریاست. در چنین حالتی زاویه پوشش بین آخرین حد پرتوهای جانبی در چپ و راست مسیر حرکت کشتی در حدود ۱۹۰ درجه است. بدین ترتیب مجموعه پرتوهای بادبزنی شکل که از ترانس دیوسرهای اکوساندر مولتی‌بیم ارسال می‌گردد در سطح آب نیز منتشر می‌شوند زیرا زاویه پوشش بیش از ۱۸۰ درجه است.

این چنین ترکیب از ترانس دیوسرها در کشف چین خوردگیها و پیشروی خشکی ها در سواحل و آبهای ساحل مفید و مؤثر است. از طرفی از این نوع پرتوافکنی صوتی با زاویه پوشش ۱۹۰ درجه جهت نقشه‌برداری کانال های دریایی و بررسی کناره‌های آنها استفاده می‌شود. از طرف دیگر فرکانس اجرایی این نوع از سیستم ها بین ۵۰ تا ۵۰۰ KHZ است که به آنها امکان می‌دهد تا پالس‌های صوتی را در اعماق مختلف ارسال کنند و داده‌های عمق‌یابی را در دقتهای متفاوت ارائه دهند. پس اکوساندر مولتی‌بیم می‌تواند اعماق مختلف را اندازه گیری کند و از آنجایی‌که جهت کاربردهای مهندسی دریایی و ساخت تأسیسات دریایی و تهیه نقشه‌های بزرگ مقیاس نیاز به اندازه گیری اعماق کم می‌باشد که حداقل عمق تا یک متر را نیز در برمی‌گیرد. این نوع از اکوساندرها می‌توانند بادقت مناسبی اعماق بین ۱ الی ۲۰۰ متر را جهت تهیه نقشه‌های دریایی و اجرایی اندازه گیری نمایند. از طرفی باید توجه داشت که اندازه گیری عمق در نواحی مختلف دریا تابع جنس کف دریا و غلظت آب دریا از نظر شوری و املاح موجود در آن است. در نگاره (۵) نحوه عملکرد یک اکو ساندر مولتی‌بیم را در حین حرکت کشتی برروی خطوط عمق‌یابی درعملیات هیدروگرافی به نمایش گذاشته شده است.

همان‌طور که در نگاره (۵) ملاحظه می‌شود اکوساندر مولتی‌بیم در هر ثانیه ۲۵ پینگ صوتی را به کف دریا ارسال می‌کند بااین نرخ بالای ارسال پالس‌های صوتی توسط این نوع از اکوساندرها تمامی جزئیات مربوط به وضعیت توپوگرافی کف دریا فراهم می‌گردد. معمولاً این نوع از تجهیزات هیدروگرافی از تکنیک تداخل امواج صوتی در ارسال دریافت علائم صوتی به کف دریا بهره می‌گیرند. آنها با مقایسه تداخل انرژی پالس‌های صوتی بازگشتی از کف دریا با انرژی علائم صوتی که به‌طور مایل به کف ارسال شده و باز می‌گردند، وضعیت بستر کف دریا را به‌صورت اطلاعات رقومی ارائه می‌دهند که با پردازش های رایانه‌ای می‌توان آنها را به‌صورت تصویری از پستی و بلندی کف دریا روی نمایشگر رایانه مشاهده نمود. در مجموع اکوساندرمولتی‌بیم بخشی از تجهیزات ضروری برای یک کشتی هیدروگرافی است. برای عملکرد صحیح این نوع سیستم در هیدروگرافی می‌بایست آن را با یک سری دستگاههای اضافی دیگر تجهیز کرد که این دستگاهها شامل سنجنده‌های دقیق تعیین موقعیت نقاط عمق‌یابی شده باشد و در عین حال باسنجنده‌های مشخصی توانایی تعیین جریانات دریایی و میزان شوری و غلظت آب و نوسانات جزر و مد آب دریا را دارا باشد. در کنار این تجهیزات الحاقی است که اکوساندر مولتی‌بیم می‌تواند نهایت توانایی خویش را درجمع آوری جزئیات عمق‌یابی برای تعیین وضعیت بستر دریا ارائه دهد. به‌هرحال امروزه استفاده از اکوساندرهای مولتی بیم از ضروریات اولیه هیدروگرافی در آبهای دریا در اعماق مختلف هست که باپیشرفتهای علمی و تکنولوژیکی خویش می‌رود که جای خالی سونارهای پهلونگر یا سایداسکن سونارها را نیز در عملیات هیدروگرافی پرنماید.



نگاره (۵): پرتوافکنی اکوساندر مولتی‌بیم هنگام عملیات هیدروگرافی