نشریه علمی پژوهشی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

سال دوم، شماره نخست، بهار ۱۳۹۳

Vol.2, No.1, Spring 2014

۵۵-۷۳

مقایسه دو روش پردازش آماری داده‌های اکوساندر چندپرتویی (MBES)

سمانه لسانی‌گویا [۱*]، علیرضا امیری‌سیمکوئی [۲]، مهدی مومنی‌شهرکی [۳]، نفیسه کاخانی [۴]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور، دانشگاه اصفهان

۲- استادیار گروه ژئودزی، دانشگاه اصفهان

۳- استادیار گروه سنجش از دور، دانشگاه اصفهان

۴-کارشناسی مهندسی نقشه‌برداری دانشگاه اصفهان

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۲/۰۴/۱۳ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۰۲/۰۵۰

چکیده

استفاده از روشها و تجهیزات صوتی برای برداشت اطلاعات و نقشه‌برداری از بستر آبها، بطور چشمگیری گسترش یافته است. اکوساندر چندپرتویی (MBES: Multi Beam Echo Sounder) از جمله سیستم‌های صوتی است که قادر به اندازه‌گیری همزمان عمق و شدت موج برگشتی از بستر آبها می‌باشد. این سیستم‌ها می‌توانند یک دسته پرتو با فواصل مساوی به سمت بستر ارسال و شدت موج برگشتی وابسته به زاویه تلاقی پرتو با سطح بستر (طبق قانون لامبرت) را دریافت نمایند. یکی از مهمترین کاربردهای این داده برای کلاسه‌بندی رسوبات است که بدین منظور در مطالعات مختلف از وابستگی زاویه‌ای استفاده شده است. در این روش، زمانی که در طول یک پینگ، نوع رسوبات تغییر کند، پیچیدگی‌هایی ظاهر می‌گردد چراکه نمی‌توان بین تغییرات زاویه‌ای پرتوها و تغییرات واقعی در نوع رسوبات تفکیک قائل شد. بنابراین پیشنهاد می‌شودکه این داده‌ها مستقل از زاویه شوند. در این مقاله دو روش آماری بر مبنای هیستوگرام برای حذف اثر وابستگی زاویه‌ای ارائه می‌گردد: ۱) انطباق هیستوگرام‌ها با استفاده از گشتاورهای آماری، ۲) انطباق هیستوگرام‌ها با استفاده از اصول پردازش تصویر. در هر دو روش سعی می‌شود هیستوگرام‌های داده‌ها در زاویه تقاطع نزدیک به نادیر به هیستوگرام داده‌ها در یک زاویه تلاقی کوچک (داده‌های مرجع) منطبق شوند. در نهایت نتایج حاصل از پیاده‌سازی دو روش مزبور بر داده‌های رودخانه وال هلند با یکدیگر مقایسه می‌گردند.

کلیدواژه‌ها: اکوساندر چندپرتویی (MBES)، شدت موج برگشتی، وابستگی زاویه‌ای، انطباق هیستوگرام، گشتاورهای آماری.

* نویسنده مکاتبه کننده : اصفهان، میدان آزادی، خ. هزار جریب، دانشگاه اصفهان، دانشکده فنی مهندسی، گروه مهندسی نقشه برداری، کدپستی: ۸۱۷۴۶-۷۳۴۴۱، تلفن: ۰۹۱۲۶۳۳۷۵۸۹

Email: sl_lesani@yahoo.com

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-15]

[DOI: 10.29252/jgit.2.1.55]

۱- مقدمه

تهیه نقشه از بستر اقیانوسها، دریاها و رودخانه‌ها برای کاربردهای مختلف هیدروگرافی، ناوبری، زمین‌شناسی، ژئوفیزیک، مهندسی سواحل و ... همواره مورد توجه نقشه‌برداران بوده است. در گذشته به دلیل عدم دسترسی آسان به بستر آبها، این امر مشکلات و هزینه بالایی دربرداشت. اما امروزه استفاده از سیستم‌های صوتی مانند اکوساندر چندپرتویی[1] (MBES) که داده‌های عمق‌سنجی و شدت موج برگشتی بستر را بطور همزمان برداشت می‌نمایند، کاهش هزینه و بهبود پوشش مکانی را به‌دنبال داشته است [۱]. اکوساندرهای چندپرتویی امواجی را در بازه‌ی وسیع زاویه‌ای از ۶۵- تا ۶۵ درجه (زوایای فرودی از نادیر تا حدود ۲۵ درجه)، بصورت عمود بر امتداد حرکت کشتی ارسال و سپس اطلاعات موج برگشتی (شدت موج، عمق و ...) از بستر را با توجه به مختصات برخورد آنها ثبت می‌نمایند. این اطلاعات برای تهیه نقشه توپوگرافی بستر آب، تصحیح شیب کف آب، کلاسه‌بندی و نیز استخراج اطلاعات فیزیکی از بستر آبها بکار می‌روند. اکوساندر چندپرتویی برای برداشت اطلاعات به دو روش عمل می‌کند: ۱. زوایای مساوی ۲. فواصل مساوی. وابستگی شدت موج برگشتی به زاویه تلاقی در روش فواصل مساوی، درتعیین نوع رسوبات و کلاسه‌بندی آنها مورد استفاده قرار می‌گیرد [۲].

کلاسه‌بندی داده‌های اکوساندر چند پرتویی در بسیاری از مقالات مورد مطالعه قرار گرفته است. برای نمونه کلاسه‌بندی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی (ANN)[2] [۳و۴]، شبکه عصبی با داده‌های echo-waveform همراه با پیش پردازش [۵] و مدل حوزه تصادفی مارکوف (MRF)[3] بصورت سلسله مراتبی نظارت‌نشده [۶] ارائه شده است. در مطالعه دیگری با استخراج پارامترهای طیف توانی و پارامترهای زبری حجم از مناطق مختلف زمین‌شناسی در دریا، با استفاده از تئوری ناهمواری مرکب[4]، کلاسه‌بندی انجام شده است [۷]. در جای دیگر مقایسه‌ای بر سه روش کلاسه‌بندی معمول (آستانه گذاری، نظارت‌شده و نظارت‌نشده) داده‌های سایداسکن‌سونار صورت گرفته است [۸].

داده‌های اکوساندر چندپرتویی تحت تاثیر پارامترهایی مانند شیب کف محلی، الگوهای توجیه دستگاه و نیز وابستگی زاویه‌ای می‌باشند که در مقالات مختلف تاثیرات آنها مطالعه شده‌است. برای نمونه پارامترهای پاکت صوتی بصورت متوالی از هر پرتو محاسبه و وابستگی‌اش به زاویه تقاطع بستر ارائه گردیده است[۹]. برای بهبود قطعه‌بندی تصویر و ارائه الگوریتم‌های جدید، از پارامترهای آماری توزیع K، مانند میانگین و پارامتر شکل که وابسته به زاویه تقاطع سطوح با زبری مختلف است، استفاده می‌شود [۱۰]. همچنین با تکیه بر توزیع آماری K با استفاده از وابستگی زاویه‌ای، اثرات مشخصه‌های سیستم‌های جمع‌آوری، با ارائه‌ی مدل‌های جدیدی مانند مدل OM[5]، ADK[6] و EADK[7] تعیین شده است [۱۱].

هنگامی که در طول یک پینگ نوع رسوبات تغییر می‌کند، استفاده از این داده‌ها برای کلاسه‌بندی پیچیدگی‌های فراوانی به‌همراه خواهد داشت، چراکه نمی‌توان بین تغییرات زاویه‌ای پرتوها و تغییرات واقعی در نوع رسوبات تفکیک قائل شد [۱۲]. بنابراین به‌منظور بهبود کلاسه‌بندی و تعیین مورفولوژی بستر با استفاده از این داده‌ها، می‌بایست تصحیحات و پردازش‌هایی بر روی آنها پیاده و داده‌ها مستقل از

1 Multi Beam Echo Sounder
2 Artificial Neural Network
3 Markov Random Field

4 Composite Roughness
5 Oliver Model
6 Angular Dependence of K-law
7 Extension of ADK

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-15]
[DOI: 10.29252/jgit.2.1.55]

زاویه گردند. در برخی مطالعات برای حذف وابستگی زاویه‌ای داده‌های اکوساندر چندپرتویی، از قانون لامبرت استفاده می‌گردد. این قانون بیان می‌کند که شدت موج برگشتی متناسب با کسینوس زاویه برخورد است. اما همیشه این رابطه به درستی وابستگی زاویه‌ای را نشان نمی‌دهد و در زوایای برخورد نزدیک به نادیر، اعمال این تصحیح طاقت فرسا و دشوار خواهد بود [۱۳].

در یکی از مطالعات اخیر برای کلاسه‌بندی داده‌های آبهای عمیق دریای شمال با ساختار سنگ‌شناسی مشخص، در یک زاویه برخورد معین، از تئوری تصمیم بیز استفاده شده است. در آنجا داده‌های امواج برگشتی از میانگین‌گیری تمامی پیکسل‌های هر دسته پرتو بدست آمده‌اند [۱]. در مطالعه دیگر برای کلاسه‌بندی داده‌های آبهای کم‌عمق، از همین روش برای کلاسه‌بندی استفاده گردید با این تفاوت که اثرات شیب کف رودخانه نیز تصحیح شد. در اینجا تعداد پیکسل‌های هر پرتو به اندازه کافی بزرگ نمی‌باشد، زیرا تعداد پیکسلها متناسب با عمق آب است. بنابراین براساس قضیه حد مرکزی نمی‌توان توزیع نرمال برای داده‌ها در نظر گرفت. این داده‌ها حاصل میانگین‌گیری امواج برگشتی در سرتاسر یک قطعه سطح می‌باشند. در واقع می‌توان گفت که این مقاله تعمیم مقاله قبلی است چراکه از تمام داده‌ها در کل زوایا استفاده کرده است [۲].

داده‌های اکوساندر چندپرتویی در زوایای مختلف همگن نبوده و هر زاویه انواع مختلفی از رسوب را دربردارد که تابع توزیع آنها گوسی شکل خواهد بود. اما باید در نظر داشت که در بستر آب نباید داده‌های هر زاویه از کل مسیر برداشت یک شکل توزیع آماری متفاوتی داشته باشند، زیرا این امر نتایج کلاسه‌بندی را دستخوش تغییر می‌نماید. برای جبران اثرات زاویه‌ای، تنها میانگین‌گیری داده‌ها و جابجا کردن مقدار میانگین توابع توزیع کافی نیست و می‌بایست به‌دنبال روشهای دیگری برای تصحیح امواج برگشتی باشیم. از آنجا که ساختار اکوساندر چندپرتویی در جمع‌آوری داده به‌گونه‌ایست که در زوایای دور، داده‌ها قابل اطمینان‌ترند پس به دنبال روشی هستیم که شکل توزیع داده‌های کم‌دقت (نزدیک به نادیر) به داده‌های دقیق‌تر (دورتر) نزدیک گردد تا برای کلاسه‌بندی مستقل از زاویه شوند و در هر زاویه رفتار متفاوتی نشان ندهند. پس از این تصحیح، مقدار شدت موج برگشتی داده‌ها تنها وابسته به زاویه‌ی برخورد مرجع و مستقل از اثرات زوایای پرتو در حالت نزدیک به نادیر خواهد بود.

در این مقاله دو روش پردازش بر روی داده‌های اکوساندر چندپرتویی، به‌منظور کاهش اثر وابستگی زاویه‌ای در داده‌های زوایای دور پیشنهاد می‌شود، تا بتوان رسوبات بستر را با صحت بیشتری ارائه داد. در هر دو روش همچنان داده‌ها وابستگی زاویه‌ای دارند اما به جای استفاده از رفتار مختلف زاویه‌ای موج برگشتی، اندازه‌گیری در یک زاویه خاص مبنای شناسایی رسوب قرار می‌گیرد. اساس کار هر دو روش پیشنهادی بر انطباق هیستوگرام[1] می‌باشد. در روش اول هیستوگرام داده‌های زوایای مختلف به هیستوگرام زاویه مرجع نزدیک می‌شود. این امر با استفاده از گشتاورهای مرتبه بالا صورت می‌گیرد. روش دوم یکی از روشهای مورد استفاده در پردازش تصویر می‌باشد که بر روی داده‌های سونار نیز پیاده‌سازی می‌گردد. در این مطالعه از داده‌های اکوساندر چندپرتویی جمع‌آوری شده توسط سیستم EM3002 از رودخانه وال هلند استفاده می‌شود.

این مقاله شامل ۵ بخش خواهد بود: در بخش دوم به بیان اصول و تئوری‌ها و در بخش سوم به معرفی داده‌های اکوساندر چند پرتویی می‌پردازیم. پیاده سازی بر روی داده‌ها و مقایسه نتایج در بخش چهارم و

1 Histogram matching

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-15]

[DOI: 10.29252/jgit.2.1.55]

در نهایت نتیجه‌گیری در بخش پنجم ارائه می‌گردد.

۲- اصول و تئوری‌ها

۲-۱- جمع آوری مشاهدات از بستر آبها

همانطور که می‌دانیم با توجه به پوشش بخش عمده سطح زمین توسط آب و همچنین کاربردهای مختلف نقشه‌ها و تصاویر بستر آبها، همواره تقاضای فراوانی برای انجام مشاهدات دقیق از بستر آبها وجود دارد [۱۴]. اما در مقایسه با سطح خشکی، دانش کمتری در مورد آنها بدست آمده‌است و همین عوامل زمینه را برای مطالعه بیشتر فراهم کرده است. تهیه نقشه از بستر آبها با تعیین توپوگرافی، مورفولوژی و رفتار پویای آنها (آنالیزهای تغییر شکل بستر آب) مرتبط می‌باشد. بنابراین با انجام مشاهدات، اطلاعاتی در رابطه با خصوصیات مواد موجود در بستر آب نیز فراهم می‌گردد [۱۵].

در حال حاضر چندین روش نقشه‌برداری از بستر آبها بکار برده می‌شود [۱۵]:

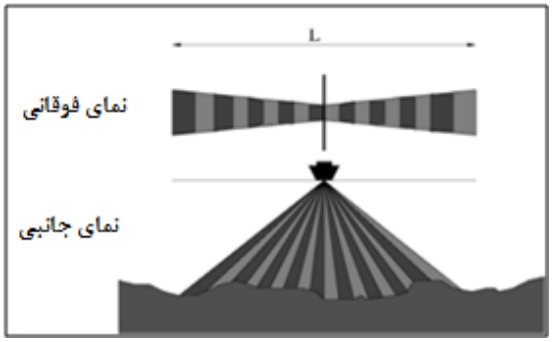
۱- غیرآکوستیک (غیر صوتی): که شامل روشهای عمق‌سنجی لیزری (LIDAR)، تصویربرداری رادار و آلتیمتری ماهواره‌ای است.

۲- آکوستیک (صوتی): که شامل روشهای اکوساندرهای تک‌پرتویی [1](SBES)، ساید اسکن سونار [2](SSS) و اکوساندرهای چندپرتویی (MBES) می‌باشد. داده‌های حاصل از این روشها به داده‌ی سونار معروف است.

در گذشته روشهای کسب اطلاعات از رسوبات کف دریا محدود به نمونه‌برداری مستقیم بود که قطعاً هزینه‌های زیادی در برداشت. درسال‌های اخیر نیز سنجش از دور ماهواره‌ای تنها در مناطق کم‌عمق بدین منظور بکار برده شد [۱۶و۱۷] و روشهای عکس‌برداری با استفاده از تصاویر ویدئویی هنوز برای تهیه نقشه فراگیر نشده‌اند. در نتیجه روش مناسب برای اطلاع از سطوح کف دریا استفاده از سیستم‌های صوتی می‌باشد. امروزه استفاده از این سیستم به‌دلیل فراهم آوردن اطلاعات همه‌جانبه و کامل از ساختارهای رسوبی، بیش از سایر روشها رایج است [۱۵].

اکوساندرهای چند پرتویی در اواخر دهه ۱۹۷۰ ظهور پیدا کردند و برای کاربردهای مختلف موفقیت گسترده‌ای بدست آوردند. در حال حاضر سیستم مزبور پیشرفته‌ترین سیستم موجود برای نقشه‌برداری از بستر آبهاست. این دستگاه قادر است به‌طور همزمان، داده‌های مقطع عرضی (عمق) و شدت موج برگشتی از سطح وسیعی از بستر آب را ثبت نموده و ۱۰۰ درصد منطقه مورد نظر را پوشش دهد. در سال‌های اخیر تلاش فراوانی برای بهبود کیفیت و قدرت تفکیک اندازه‌گیری عمق و شدت موج برگشتی انجام شده‌است [۱۵].

با توجه به شکل (۱) پهنای هریک از پرتوها حدود ۱ تا ۳ درجه در دو طرف محور کشتی است و پرتوهای دسته‌ای برای هر پینگ (یک نوار برداشت)، امکان برداشت تعداد زیادی اندازه‌گیری عمق را بصورت همزمان (معمولاً ۲۰۰ تا) در یک پهنه جاروب به طول L فراهم می‌نماید. همراه با اکوساندر، سیستم‌های کمکی نیز برای موقعیت‌یابی و اندازه‌گیری عمق بکار می‌روند مانند GPS، سنسور وضعیت دستگاه برای کنترل حرکت‌های سکو، نمودارهای سرعت صوت و دستگاه اندازه‌گیری سرعت صوت [۱۵].



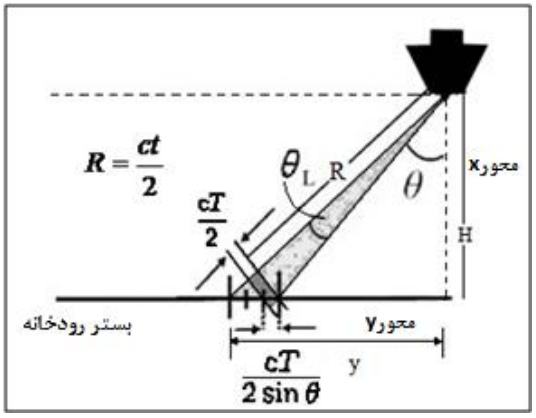
شکل ۱: هندسه برداشت اکوساندر چندپرتویی (MBES) [۱۵].

1 Single Beam Echo Sounder
2 Side Scan Sonar

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-15]
[DOI: 10.29252/jgit.2.1.55]

۲-۲- اصول عمق‌سنجی و تصویربرداری اکوساندر چندپرتویی

همانطور که در شکل (۲) دیده می‌شود، برای اندازه‌گیری عمق یک نقطه از پارامترهای زمان رفت و برگشت (t) و زاویه پرتو (θ) استفاده می‌شود تا موقعیت آن بدست آید [۱۵].



شکل ۲: برش عرضی در جهت عمود بر مسیر حرکت کشتی (صفحه y,z) [۲].

در صورتی که نمودار سرعت c در کل ستون آب ثابت باشد و مسیر صوت بصورت خط مستقیم باشد موقعیت نقطه از روابط (۱) و (۲) بدست می‌آید [۱۵].

رابطه (۱) $$y = R\sin\theta = \frac{ct}{2}\sin\theta$$

رابطه (۲) $$z = R\cos\theta = \frac{ct}{2}\cos\theta$$

قدرت‌تفکیک داده‌ها در جهت حرکت کشتی (δx) با استفاده از پهنای زاویه‌ای افقی پرتو (θ_L) و فاصله مایل (R) از رابطه (۳) و قدرت‌تفکیک در جهت عمود بر مسیر حرکت کشتی (δy) از رابطه (۴) با استفاده از سرعت رفت و برگشت موج (T) و زاویه پرتو (θ) بدست می‌آید. قدرت‌تفکیک در جهت عمود بر مسیر حرکت کشتی وابسته به تعداد نقاط میانگین‌گیری برای محاسبه عمق نقطه مورد نظر می‌باشد که در بهترین حالت مساوی با قدرت‌تفکیک سیگنال زمان است و در بدترین حالت از رابطه (۵) با استفاده از پهنای زاویه‌ای عمودی پرتو (θ_T)، ارتفاع کشتی از بستر (H) و زاویه پرتو (θ) محاسبه می‌گردد. در عمل قدرت‌تفکیک در راستای y بین مقادیر روابط (۴) و (۵) است. ازآنجا که سرعت صوت با عمق تغییر می‌کند بنابراین با استفاده از نرم‌افزارهای خاص می‌توان موقعیت‌یابی نمود [۱۵].

رابطه (۳) $$\delta x = R\theta_L$$

رابطه (۴) $$\delta y = \frac{cT}{2\sin\theta}$$

رابطه (۵) $$\delta y = \frac{H\theta_T}{\cos^2\theta}$$

وقتی پالسی به سطح بستر برخورد می‌کند، با توجه به نوع زبری آن، امواج رفتار متفاوتی خواهند داشت. بخشی از این موج برخوردی با بستر به سمت منبع ارسالی برمی‌گردد که موج برگشتی[1] نامیده می‌شود. مقادیر شدت موج برگشتی (I) [2] همواره توزیع تمایی دارند ولی در اینجا هدف کار کردن با توابع توزیعی است که شکل آنها دارای پیک باشد. برای تغییر شکل این تابع توزیع، از I در مبنای ده لگاریتم گرفته و به‌منظور مقیاس کردن این مقادیرکوچک از ضریب ۱۰ استفاده می‌شود که از این پس به آن شدت لگاریتمی موج برگشتی (BS)[3] می‌گوییم.

رابطه (۶) $$BS = 10 \times log_{10} I$$

درصورتی که IS شدت موج صوتی پراکنده شده در فاصله ۱ متری از واحد سطح در واحد دسی بل (dB) و Ii شدت موج فرودی به سطح در واحد دسی بل (dB) باشند، کمیتی از شدت موج برگشتی بنام S در واحد دسی بل (dB) با رابطه زیر تعریف می‌گردد [۱۸].

رابطه (۷) $$S = 10 \times \log_{10} \frac{I_S}{I_i}$$

یک روش متداول برای مدلسازی موج برگشتی، استفاده از قانون لامبرت است که زاویه موج فرودی (αi) را با استفاده از یک ثابت تناسب (μ) به S

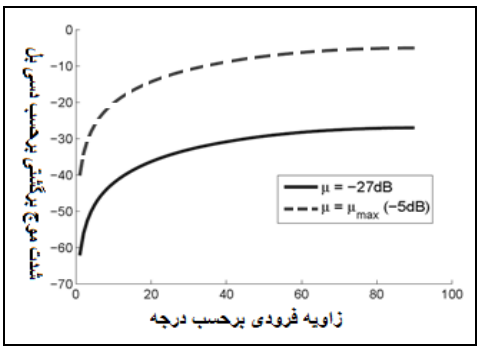
1 Backscatter
2 Intensity
3 Strength

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-15]
[DOI: 10.29252/jgit.2.1.55]

وابسته می‌سازد [۱۸]:

رابطه (۸) $S = 10 \times log_{10}\mu + 10 \times log_{10}(sin^2\alpha_i)$

رابطه‌ی بین بستر و فرکانس موج در پارامتر μ نهفته است (dB -27) و مقدار S با تغییر ابعاد دانه‌بندی رسوبات افزایش می‌یابد. در شکل (۳) رابطه قانون لامبرت و زاویه فرودی برای دو مقدار μ نشان داده شده‌است [۱۸].



شکل ۳: تغییرات پارامتری ازشدت موج برگشتی (S) بر اثر تغییر زاویه فرودی(قانون لامبرت) [۱۸].

دامنه‌ی امواج برگشتی در اکوساندرهای چندپرتویی وابسته به ماهیت رسوبات کف دریاست مانند ترکیبات شیمیایی، توجیه، میزان زبری و نرمی و خصوصیات دیگر. بنابراین سیگنال‌های امواج برگشتی می‌توانند در طبقه‌بندی مفید واقع شوند. برای آب‌های کم‌عمق، اکوساندرهای چندپرتویی نیاز به فرکانس‌هایی در حد چند کیلو هرتز دارد و این سیگنال تنها می‌تواند چند سانتی‌متر بالایی رسوبات را مورد بررسی قرار دهد.

۲-۳- تصحیح آماری داده‌ها بر اساس گشتاور

به‌منظور جبران اثرات خارجی بر داده‌های مختلف، می‌توان بر شکل تابع توزیع احتمال آنها تکیه کرد. به‌عبارت دیگر اثرات خارجی بر شکل تابع توزیع احتمال موثرند و برای جبران آنها باید پارامترهای شکل آنها دستکاری شوند. این روش پیش از این برای از بین بردن نویز در شناسایی الگوی سخنرانی استفاده شده است[۱۹و۲۰]. پارامترهای شکل تابع توزیع، گشتاورهای آماری مراتب مختلف می‌باشند که مرتبه اول و دوم آنها همان میانگین (μ) و واریانس (σ) است. با توجه به اینکه داده‌های مورد استفاده در اینجا مقادیر شدت لگاریتمی موج برگشتی برای N نقطه می‌باشد، گشتاورهای آماری مرتبه پایین با روابط (۹) و (۱۰) ومرتبه بالاتر یعنی چولگی، پهنی و ... نیز با رابطه (۱۱) تعریف شده است که اندیس k در آن بیانگر مرتبه‌ی گشتاور است[۲۱].

رابطه (۹) $\mu = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} BS_i$

رابطه (۱۰) $\sigma^2 = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(BS_i - \mu)^2$

رابطه (۱۱) $\mu_k = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} BS_i^k$

وابستگی مقادیر شدت موج برگشتی به زاویه‌ی پرتو، پارامترهای شکل تابع توزیع آنها را تحت تاثیر قرار داده‌است و همچنین نتایج کلاسه‌بندی را نامعتبر خواهد ساخت. با تکیه بر شکل تابع توزیع داده‌های قابل اطمینان در زوایای دور از نادیر، می‌توان داده‌های زوایای نزدیک را با تغییر شکل تابع توزیع آنها، مستقل از زاویه نمود. درواقع می‌توان گشتاورهای آماری داده‌های نزدیک به نادیر را با یک سری ضرایب مجهول به گشتاورهای آماری داده‌های دور نسبت داد و با محاسبه مجهولات، گشتاورهای آماری مربوطه را تصحیح نمود. در این روش برای جبران اثر وابستگی به زاویه با دو دسته داده کار می‌نماییم، یکی مربوط به زاویه مرجع که همان داده‌ها در یک زاویه تقاطع[1] کوچک و دیگری مربوط به یک زاویه‌ی بزرگ و نزدیک به نادیر است که می‌بایست تصحیح شوند.

تحقیقات نشان داده‌است که استفاده از یک دستگاه معادلات چندجمله‌ای، روشی مطلوب برای مرتبط ساختن گشتاورها به یکدیگر با ضرایب مجهول است. زیرا در ابتدای کار شواهدی که نشان دهد رفتار پارامترهای ما نسبت بهم چگونه است (نمایی، پریودیک و ...)، در دست نیست، بنابراین بهتر است چندجمله‌ای‌ها را بکار بریم که هم

1 Grazing angle

BS_i

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-15]
[DOI: 10.29252/jgit.2.1.55]

رفتار از پیش تعیین شده‌ای دارند و هم حل معادلات آنها آسان است. با استفاده از چندجمله‌ای‌ها، با داشتن دو مجهول می‌توان به صورت همزمان دو پارامتر میانگین و گشتاور را تصحیح کرد. در این کاربرد، درجه‌ی چندجمله‌ای و نیز تعداد مجهولات در هر مرحله با توجه به مرتبه‌ی گشتاور تعیین می‌گردد و ما از تمام جملات بسط استفاده می‌نماییم، البته در کاربردهای دیگر بسته به میزان دقت مورد نیاز می‌توان تعداد جملات را کاهش داد. رابطه‌ی کلی برای محاسبه‌ی چندجمله‌ای با مرتبه بیشتر از ۳ در زیر ارائه شده‌است.

رابطه (۱۲)
$$(x_1 + x_2 + \cdots + x_m)^n = \sum_{k_1,k_2,\cdots,k_m} \binom{n}{k_1, k_2, \cdots, k_m} \cdot x_1^{k_1} \cdot x_2^{k_2}$$

در این روش، مراحل تصحیح داده‌ها در ۵ گام دنبال می‌شود:

گام اول: تشکیل یک دستگاه معادلات ساده با دو معادله و دو مجهول (a وb) مورد هدف است. اولین معادله یک رابطه‌ی خطی است که میانگین داده‌ی دسته اول (μ_t) را با استفاده از ضرایب a و b به میانگین داده‌ی دسته دوم یعنی داده‌های مرجع (μ_r) نسبت می‌دهد (رابطه (۱۳)). معادله دوم از درجه‌ی دو و غیر خطی است که شامل میانگین و گشتاور مرتبه دو[1] داده‌ای است که می‌خواهیم تصحیحاتی روی آن اعمال شود. این رابطه در واقع توان دوم رابطه اول است (رابطه (۱۴)).

رابطه (۱۳)
$$\mu_r = a.\mu_t + b$$

رابطه (۱۴)
$$\mu_r^2 = a^2.\mu_t^2 + 2ab.\mu_t + b^2$$

برای تشکیل ماتریس طرح، مقادیر اولیه‌ی دو پارامتر مجهول (شیفت و مقیاس)، مطابق با نقش آنها در نظر گرفته می‌شود. سپس با حل این دستگاه و تعیین ضرایب مجهول می‌توان تصحیح اول را به داده‌ها اعمال نمود. در صورتی که شدت لگاریتمی موج برگشتی برای داده‌هایی که می‌بایست تصحیح شوند با BS_t و برای داده‌های تصحیح شده با BS_t^c نمایش داده شوند، طبق رابطه (۱۵) مقادیر a و b روی دسته‌ی دوم داده‌ها اعمال می‌گردند و گشتاورهای مرتبه اول و دوم آنها تصحیح می‌گردند.

رابطه (۱۵)
$$BS_t^c = a.BS_t + b$$

گام دوم: این مرحله مربوط به نرمالسازی داده‌های تصحیحی گام اول است. درصورتی‌که میانگین داده‌ها حول و حوش عدد ۰ و واریانس آنها عدد ۱ باشد، کار کردن با آنها ساده‌تر می‌شود، بنابراین در اینجا داده‌های مرحله قبل را با استفاده از روابط (۱۶) و (۱۷) نرمال می‌نماییم که در آن μ_t^c و σ_t^c میانگین و انحراف معیار داده‌ی دوم پس از تصحیح گام اول می‌باشند [۲۱].

رابطه (۱۶)
$$y = \frac{(BS_t^c - \mu_t^c)}{\sigma_t^c}$$

رابطه (۱۷)
$$x = \frac{(BS_r - \mu_r)}{\sigma_r}$$

گام سوم: در اینجا می‌خواهیم علاوه بر دو گشتاور میانگین و واریانس، گشتاور مرتبه سوم (چولگی) مربوط به تابع توزیع هر دو دسته داده با تقریب مناسب یکی شوند. بنابراین برای تصحیح مرتبه ۳، دستگاه سه معادله و سه مجهول با داده‌های نرمال شده خواهیم داشت. رابطه (۱۸) از توان ۱، رابطه (۱۹) گشتاور مرتبه دوم یعنی رابطه اول به توان ۲ و رابطه (۲۰) گشتاور مرتبه سوم یعنی رابطه اول به توان ۳ می‌باشند. پس از محاسبه ضرایب مجهول، دوباره داده‌های دسته دوم را با استفاده از رابطه (۲۱) تصحیح می‌نماییم.

رابطه (۱۸)
$$x = c + b.y + a.y^2$$

رابطه (۱۹)
$$x^2 = c^2 + 2bc.y + b^2.y^2 + 2ac.y^2 + 2ab.y^3 + a^2.y^4$$

رابطه (۲۰)
$$x^3 = c^3 + 3bc^2.y + 3b^2c.y^2 + b^3.y^3 + 3ac^2.y^2 + 6abc.y^3 + 3ab^2.y^4 + 3a^2c.y^4 + 3a^2b.y^5 + a^3.y^6$$

[1] منظور از گشتاور مرتبه ۲ آنست که ابتدا تک تک داده‌ها را به توان ۲ برده و سپس از آنها میانگین گرفته شود.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-15]
[DOI: 10.29252/jgit.2.1.55]

$$BS_t^{c2} = a.BS_t^2 + b.BS_t + c$$ رابطه (۲۱)

در اینجا نیز برای مقدار اولیه‌ی مجهولات از همان اعداد مرحله قبل کمک می‌گیریم. باید توجه کرد که برای مجهول با توان ۳ حتی المقدور می‌بایست عدد نزدیک به صفر انتخاب کرد تا تاثیرش حداقل باشد و مقدار آن با آزمون و خطا و تست نتایج بدست می‌آید.

گام چهارم: این گام نیز برای نزدیک کردن گشتاورهای مرتبه چهارم توابع توزیع (پهنی) مربوط به هر دو دسته داده می‌باشد. در این مرحله هم با تشکیل یک دستگاه معادله جدید (چهار معادله و چهارمجهول) و تعیین ضرایب، تصحیحات را به داده‌های حاصل از مرحله قبل اعمال می‌نماییم. در اینجا خواهیم دید که میزان پهنی تابع توزیع داده‌ی دسته دوم به دسته اول نزدیک‌تر شده است.

گام پنجم: با توجه به نتایج مطلوب در مراحل پیشین، در این گام نیز تصحیح مورد نظر را برای مرتبه ی ۵ انجام داده و گشتاورهای مرتبه پنجم آنها هم بهم نزدیک می‌شوند. اگرچه در این مقاله نتایج تنها تا این مرحله ارائه شده‌است ولی می‌توان همین روند را برای گشتاورهای مرتبه بالاتر ادامه داده و به نتایج بهتری دست یافت.

نکته‌ای که در اینجا وجود دارد اینست که در روش مذکو از دستگاه معادلات معمولی استفاده شده که در آن تعداد مجهولات با تعداد معادلات برابر است و هربار با محاسبه ی گشتاور جدید، یک مجهول اضافه می‌گردد. روش دیگر حل مسئله استفاد از روش کمترین‌مربعات است که در آن، بدون افزایش مجهولات تنها تعداد معادلات با استفاده از گشتاورهای مرتبه بالا افزایش می‌یابد و سپس تصحیح مربوطه به داده‌ها اعمال می‌شود. اما نتایج حاصل از این روش نشان می‌دهد که به غیر از گشتاورهایی که مرتبه‌ی آن با معادلات برابر است، بقیه همچنان از یکدیگر اختلاف خواهند داشت. به‌همین دلیل، معادلات موجود در چند مرحله و بدون استفاده از کمترین‌مربعات حل خواهند شد.

۲-۴- تصحیح آماری داده‌ها بر اساس اصول پردازش تصویر

تصحیح داده‌های سونار، آشکارسازی به روش اتوماتیک و کلاسه‌بندی داده‌ها را می‌توان با بکارگیری اصول پردازش تصویر (۲بعدی یا بیشتر) انجام داد [۲۲]. از جمله پردازش‌های کاربردی در این حوزه، همسان‌سازی هیستوگرام‌ها[1] و انطباق آنهاست [۲۳]. همسان‌سازی هیستوگرام به‌منظور افزایش کنتراست داده‌ها در کل بازه‌ی مقادیر، بر هیستوگرام یک دسته داده اعمال می‌شود. ولی انطباق هیستوگرام‌ها عملیاتی است که در طی آن هیستوگرام داده‌های سری زمانی، تصویر و یا داده‌های اسکالر با ابعاد بزرگ با انطباق به هیستوگرام داده‌های مرجع، اصلاح می‌شوند.

در اصول پردازش تصویر برای انطباق هیستوگرام‌ها بایستی تابع توزیع تجمعی برای هر مجموعه داده محاسبه گردد. در مجموعه داده‌ای که می‌بایست تصحیح شود، باتوجه به شکل (۴)، برای هر مقدار ورودی r (دراینجا منظور مقدار شدت لگاریتمی موج برگشتی) در بازه ۰ تا L-1 مقدار توزیع تجمعی برابر G(r) و در مجموعه داده رفرنس برای هر مقدار z (مقدار شدت لگاریتمی موج برگشتی) مقدار توزیع تجمعی برابر H(z) می‌باشد(روابط (۲۲) و (۲۳)). هدف اصلی برای انطباق هیستوگرام‌ها این است که با استفاده از تبدیل معکوس H(z) به‌ازای مقادیر G(r)، به z های جدیدی دست‌یابیم که مقدار آن بعنوان مقدار تصحیحی به مجموعه داده اول اختصاص یابد (رابطه (۲۴)). به‌عبارت دیگر می‌بایست داده‌های ورودی r توسط z جدید با در نظر گرفتن حداقل اختلاف، جایگزین شود [۲۴].

$$G(r) = \int_0^r p_r(t).dt$$ رابطه (۲۲)

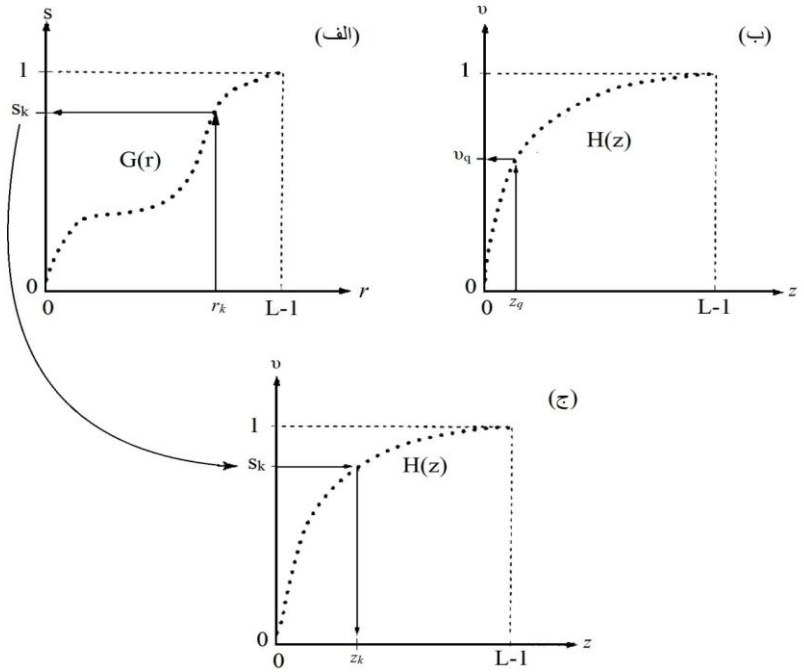
$$H(z) = \int_0^z p_z(w).dw$$ رابطه (۲۳)

1 Histogram equalization

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-15]

[DOI: 10.29252/jgit.2.1.55]

رابطه (۲۴) $$z = H^{-1}\left[G(r)\right]$$



شکل ۴: (الف): نمایش گرافیکی نگاشت rk به sk با تبدیل G(r) (ب): نگاشت zq به υq مطابق با تبدیل H(z) (ج): نگاشت معکوس از sk به zk مربوطه[۲۴]

دو نکته‌ی مهم را باید در نظر داشت، اول اینکه دو مجموعه داده می‌بایست دامنه مقادیر آنها یکسان باشد ولی لزومی ندارد که تعداد آنها یکسان باشد. بدین منظور می‌توان داده‌ها را نرمال نموده و به درون بازه‌ی ۰ تا ۱ ببریم تا دامنه یکسانی داشته باشند. دومین نکته اینست که داده‌های اکوساندر چندپرتویی بصورت گسسته می‌باشد و نمی‌توان درسرتاسر بازه‌ی مقادیر گام برداشت، بنابراین برای ترسیم هیستوگرام از تعداد واحدهای تقسیم[1] دلخواهی استفاده خواهیم کرد و در نگاشت معکوس، نزدیکترین مقدارموجود به مقدار بدست آمده را بعنوان خروجی تبدیل برمی‌گزینیم.

همسان‌سازی هیستوگرام نیز عملیاتی مشابه انطباق است، با این تفاوت که هیستوگرام مرجع باید توزیع یکنواخت داشته باشد (توزیع تجمعی با شیب ثابت). این امر مقادیر داده را روی سراسر دامنه مقادیر موجود پخش می‌کند تا داده‌ها در یک محدوده کوچکی تجمع نداشته باشند. شکل (۵) نشان می‌دهد که تابع توزیع تجمعی مرجع یک خط مستقیم است (بجای تعریف یک مجموعه داده مرجع) [۲۴].

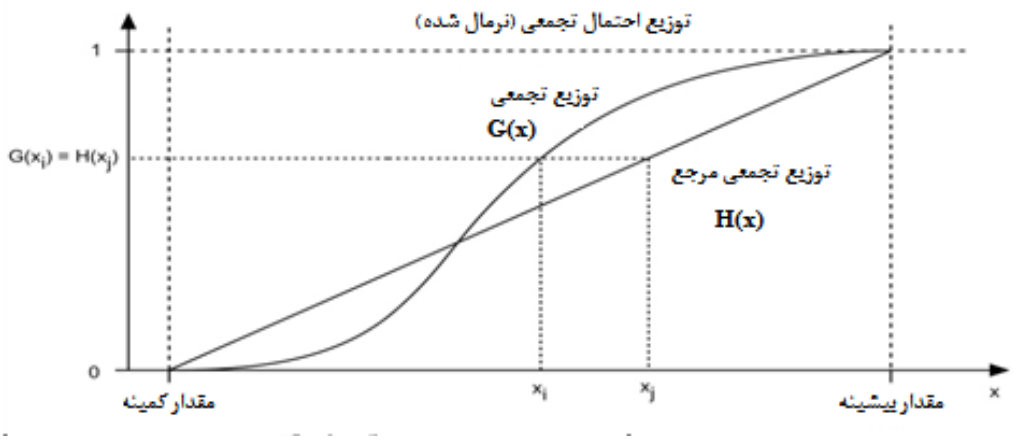
۳- داده‌ها

برای پیاده‌سازی روشهای مورد مطالعه، در این پروژه از داده‌های سونار رودخانه وال[2] هلند استفاده شده است. این رودخانه شاخه‌ای از توزیع اصلی رودخانه راین[3] است که حدود ۸۰ کیلومتر در مرکز هلند جریان دارد. رودخانه وال به دریای شمال می‌ریزد و به‌عنوان راه ارتباطی اصلی بندر رتردام به آلمان حفاظت می‌گردد.

1 Bin

2 Waal river
3 Rhine river

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-15]
[DOI: 10.29252/jgit.2.1.55]



شکل ۵: تابع توزیع تجمعی مجموعه داده مورد نظر و تابع توزیع تجمعی بصورت یک خط مستقیم بعنوان مرجع

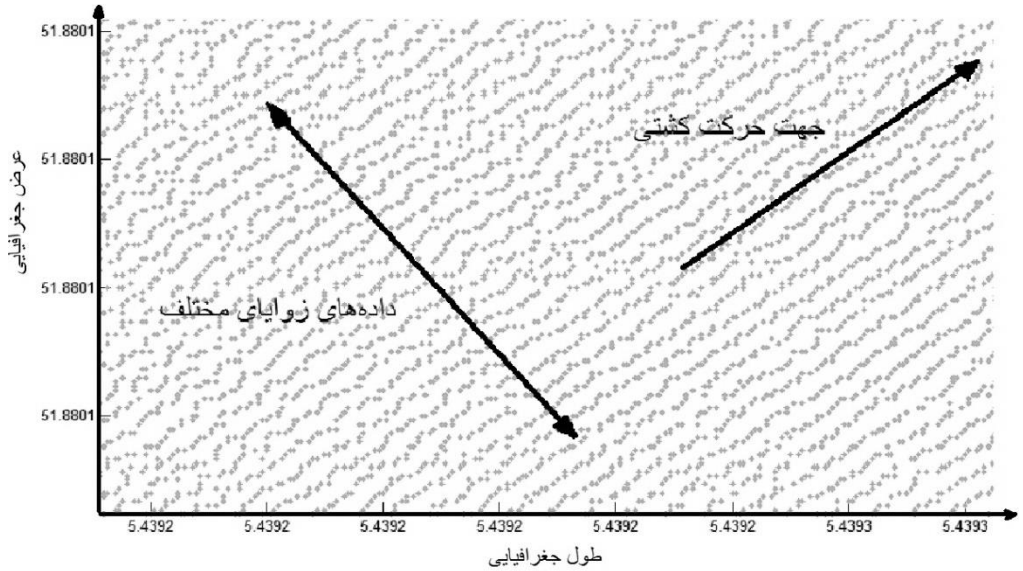
شکل ۶: تصویر رودخانه راین و رودخانه وال-هلند

داده‌های‌سونار حاصل از دستگاه اکوساندر چندپرتویی به نام کنگزبرگ ای ام ۳۰۰۲[1] در اکتبر سال ۲۰۰۷ از بخشی از این رودخانه به طول حدود ۱۰ کیلومتر جمع‌آوری شده است. خصوصیات طرح نمونه‌برداری این دستگاه عبارتست از: فرکانس ۳۰۰ کیلو هرتز، ۱۵۰میکرو ثانیه طول پالس ، حداکثر ۲۵۴پرتو در هر پینگ، حداکثر نرخ پینگ ۴۰ هرتز، ۱۳۰ درجه پوشش زاویه ای و ۱.۵ * ۱.۵ درجه عرض پرتو در حالت نادیر. داده‌های مورد استفاده در اینجا خروجی نرم‌فزار ام بی–سیستم[2] می‌باشند و برخی تصحیحات مربوط به دستگاه، کالیبراسیون و ... با استفاده از این نرم‌افزار انجام شده است. برای روشهای ارائه شده نیازمند دو دسته داده حاصل از میانگین‌گیری تمامی پرتوهای بازگشتی از قطعه زمین با ابعاد مشخص[3] و اعمال تصحیحات مربوط به شیب محلی می‌باشیم [۱۲]. فایل داده‌ها حاوی شماره پینگ، طول و عرض جغرافیایی بر حسب متر در سیستم UTM، عمق نقطه بر حسب متر، شدت لگاریتمی موج برگشتی بر حسب دسی‌بل و اطلاعات دیگر است که قسمت کوچکی از آنها در شکل (۷) بر اساس طول و عرض جغرافیایی نمایش داده می‌شوند. شبیه سازیهای مربوط به این داده‌های بسیار حجیم در محیط متلب[4] انجام شده و از هر دو دسته داده، مقادیری راکه از یک حد آستانه‌ی خاص دورتر بودند حذف نمودیم که این حد آستانه با سعی و خطا بدست آمده است.

1 Kongsberg EM3002
2 MB-system

3 Patch
4 MATLAB

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-15]
[DOI: 10.29252/jgit.2.1.55]



شکل ۷: نمایش داده‌ها بر اساس طول وعرض جغرافیایی

۴- پیاده‌سازی بر روی داده‌ها ومقایسه‌ی نتایج

در اینجا نتایج پیاده‌سازی دو روش آماری که در بخش‌های قبل شرح داده شد، بر روی داده‌ها مورد بررسی قرار می‌دهیم. در حالی که داده‌های مرجع مربوط به زاویه ۲۶ درجه، داده‌های اولیه‌ی پیاده‌سازی از زاویه ی ۶۲ درجه ، داده‌های تست روشها از زاویه ی ۶۸ درجه و تعداد واحدهای تقسیم داده‌ها ۱۰۰ می‌باشند.

برخی از این داده‌ها دارای پراکندگی بوده و خیلی از میانگین خود فاصله داشتند که این عامل موجب می‌شد نوسانات در مرکز به خوبی قابل مشاهده نباشد. بنابراین برای هر دو مجموعه با روش سعی و خطا، مقادیر شدت موج برگشتی که فراوانی آنها خیلی دورتر از حداکثر فراوانی بود، حذف گردیدند.

۴-۱- نتایج پیاده‌سازی روش اول

در ابتدا برای پیاده‌سازی این روش پارامترهای آماری این دو دسته داده را با استفاده از هیستوگرام‌های آنها مورد بررسی قرار می‌دهیم. همانطور که در شکل (۸) می‌بینیم این هیستوگرام‌ها از یکدیگر فاصله داشته و میانگین، واریانس و سایر پارامترهای آماری مربوط به توزیعات آنها از یکدیگر متفاوت می‌باشند.

جدول ۱: میانگین و واریانس داده‌ها پیش از تصحیح

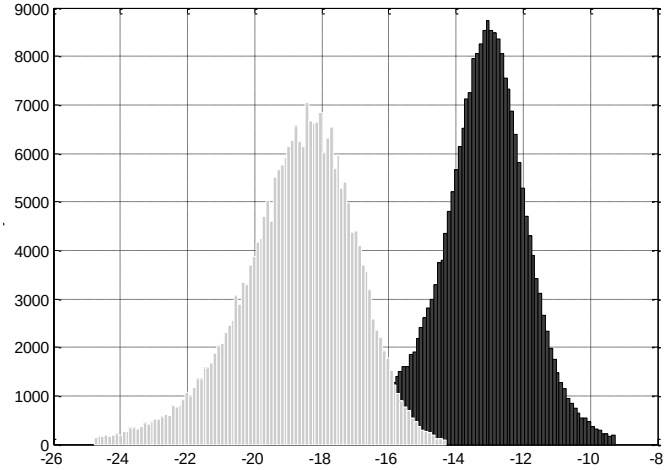
	۲۶درجه (داده مرجع)	۶۲ درجه
میانگین	-۱۳/۴۵۰۶	-۱۸/۷۷۴۰
واریانس	۳/۰۹۵۷	۳/۲۲۷۷

در شکل (۹) روند تصحیح داده‌ها را در مراحل مختلف با افزایش گشتاورهای آنها می‌بینیم. باید توجه کرد که شکل بالایی (تصحیح مرتبه ۱) هنوز نرمال نشده‌اند و تنها گشتاورهای اول و دوم بر آنها اعمال شده و میانگین و واریانس دو هیستوگرام به هم نزدیک شده است. نمودار دوم از شکل (۹)، نرمال شده‌ی نمودار اول است. نمودار سوم نیز تصحیح مرتبه ۲ یعنی گشتاورهای اول و دوم و سوم اعمال شده‌اند. در این مرحله میانگین و واریانس و چولگی (عدم تقارن) هیستوگرام داده ۶۲ درجه بصورت همزمان به هیستوگرام ۲۶ درجه نزدیک شده است. در نمودار چهارم تصحیح مرتبه ۳ یعنی گشتاورهای مرتبه اول و دوم و سوم و چهارم اثر کرده است و میانگین و واریانس و چولگی و پهنی (کشیدگی و نقطه اوج نمودار) داده

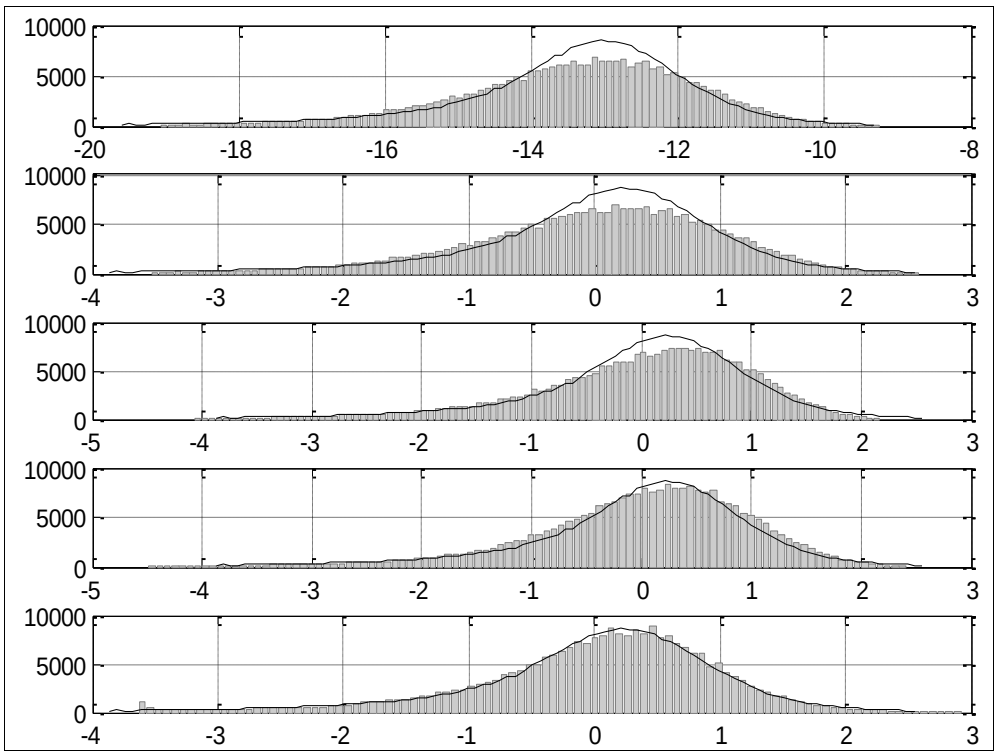
[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-15]
[DOI: 10.29252/jgit.2.1.55]

۶۲ درجه به هیستوگرام ۲۶ درجه شبیه‌تر شده است. نمودار پنجم نیز شامل دو هیستوگرام ۲۶ درجه و ۶۲ درجه بعد از تصحیح مرتبه ۴ یعنی اعمال گشتاورهای مرتبه اول و دوم و سوم و چهارم می‌باشد (شکل (۱۰)).

در اینجا میانگین، واریانس، چولگی، پهنی و گشتاور مرتبه بالاتر برای داده‌های ۶۲ درجه یکجا تصحیح گردیده‌است.



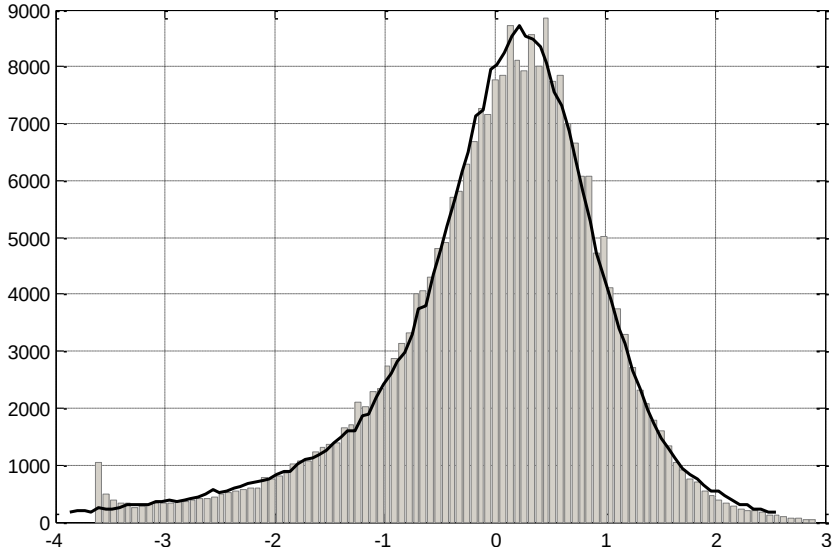
شکل ۸: هیستوگرام های داده‌های زاویه ۲۶ درجه (نمودار تیره) و زاویه ۶۲ درجه (نمودار روشن)



شکل ۹: هیستوگرام‌های داده‌های زاویه ۲۶ درجه (منحنی مشکی) و زاویه ۶۲ درجه (پلات خاکستری)
پس از اعمال تصحیحات مرتبه ۱ و نرمالسازی و ۲و ۳و ۴

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-15]

[DOI: 10.29252/jgit.2.1.55]



شکل ۱۰: نمایش انطباق هیستوگرام‌ها پس از مرحله پنجم تصحیح (بزرگنمایی نمودار آخر از شکل ۹)

در شکل (۹) روند تصحیح داده‌ها را در مراحل مختلف با افزایش گشتاورهای آنها می‌بینیم. باید توجه کرد که شکل بالایی (تصحیح مرتبه ۱) هنوز نرمال نشده‌اند و تنها گشتاورهای اول و دوم بر آنها اعمال شده و میانگین و واریانس دو هیستوگرام به هم نزدیک شده است. نمودار دوم از شکل (۹)، نرمال شده‌ی نمودار اول است. نمودار سوم نیز تصحیح مرتبه ۲ یعنی گشتاورهای اول و دوم و سوم اعمال شده‌اند. در این مرحله میانگین و واریانس و چولگی (عدم تقارن) هیستوگرام داده ۶۲ درجه بصورت همزمان به هیستوگرام ۲۶ درجه نزدیک شده است. در نمودار چهارم تصحیح مرتبه ۳ یعنی گشتاورهای مرتبه اول و دوم و سوم و چهارم اثر کرده است و میانگین و واریانس و چولگی و پهنی (کشیدگی و نقطه اوج نمودار) داده ۶۲ درجه به هیستوگرام ۲۶ درجه شبیه‌تر شده است. نمودار پنجم نیز شامل دو هیستوگرام ۲۶ درجه و ۶۲ درجه بعد از تصحیح مرتبه ۴ یعنی اعمال گشتاورهای مرتبه اول و دوم و سوم و چهارم می‌باشد (شکل (۱۰)). در اینجا میانگین، واریانس، چولگی، پهنی و گشتاور مرتبه بالاتر برای داده‌های ۶۲ درجه یکجا تصحیح گردیده است.

جدول ۲: مقادیر اولیه در هر مرحله تصحیح

مرحله اول تصحیح	اختلاف میانگین های دو دسته داده=b a=1
مرحله دوم تصحیح	a=-0.0001 b=1 c=0
مرحله سوم تصحیح	a=0.00001 b=0.0001 c=1 d=0
مرحله چهارم تصحیح	a=0.000000001 b=0.0000001 c=0.0001 d=1 e=0

مقایسه شکل (۸) و (۹) افزایش شباهت‌های هندسی را پس از تصحیح به خوبی نشان می‌دهد و به‌طور نسبی اختلاف میانگین، واریانس و سایر گشتاورها در هر مرحله نسبت به مرحله قبل کاهش یافته است. بنابراین داده‌ها تا گشتاور مرتبه ۵ (مرتبه ۳ تصحیحات) با دقت خوبی تصحیح شده‌اند.

جدول (۳) اختلاف مقادیر گشتاورهای داده مرجع و داده ۶۲ درجه را در مراحل مختلف انطباق نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-15]
[DOI: 10.29252/jgit.2.1.55]

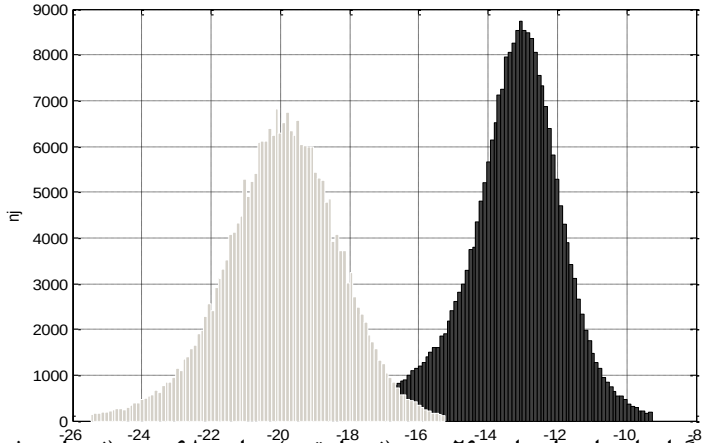
این اختلافات با افزایش مرتبه تصحیح (گشتاورها) کمتر می‌شود و این امر تطابق آماری هیستوگرام‌ها را به‌دنبال دارد. در هر ردیف از جداول (۳) و (۴) با افزایش مرحله تصحیح، اختلاف گشتاورهای مراتب مختلف بطور عمومی کم می‌شود اما مواردی نیز هست که در حد رقم چهارم اعشار، این اختلاف زیاد شده و یا ثابت مانده است. علت این افزایش را می‌توان در تصحیح همزمان گشتاورهای مراتب مختلف و نیز در نظر گرفتن مقدار ۰ برای میانگین و ۱ برای واریانس (بجای نزدیک به ۰ و نزدیک به ۱) در محاسبات گشتاورها جستجو کرد. اما همانطور که در شکل‌های قبل دیدیم، هیستوگرام‌ها نسبت به یکدیگر در مراحل مختلف تصحیح انطباق بهتری یافتند.

حالا باید تمامی این مراحل را برای داده‌های تست که که هیستوگرام آنها در شکل (۱۱) دیده می‌شود، پیاده کنیم (داده‌های زاویه ۶۸ درجه و زاویه مرجع ۲۶ درجه). در شکل (۱۲) نیز همچنان مشاهده می‌کنیم که هیستوگرام داده‌های زاویه ۶۸ درجه (همانند داده‌های زاویه ۶۲ درجه) پس از اعمال ۵ مرتبه تصحیح با دقت خوبی بر روی هیستوگرام داده‌های ۲۶ درجه منطبق می‌شوند. جدول (۴) اختلاف مقادیر گشتاورهای داده مرجع و داده تست (۶۸ درجه) در مراحل مختلف انطباق ارائه می‌دهد.

جدول ۳: اختلاف مقادیرگشتاورهای داده‌های ۲۶ درجه (مرجع) و داده‌های ۶۲ درجه طی ۵ مرحله انطباق

	داده های اولیه	تصحیح مرحله ۱	نرمالسازی	تصحیح مرحله ۲	تصحیح مرحله ۳	تصحیح مرحله ۴
اختلاف گشتاور مرتبه ۱	۵/۳۴۰۲	۱۳e-۳/۷۴۸۱	۱۳e-۱/۷۷۴۱	۱۶e-۱/۷۷۹۵	۱۵e-۱/۷۱۴۱	**۱۵e-۶/۳۱۰۹**
اختلاف گشتاور مرتبه ۲	۱۷۲/۰۰۱۸	۱۱e-۱/۹۸۳۸	۸e-۱/۹۱۹۷	۱۴e-۱/۰۱۰۳	۱۳e-۱/۰۶۶۹	**۱۳e-۱/۱۴۰۲**
اختلاف گشتاور مرتبه ۳	۳e+۴/۲۳۶۱	۱/۴۸۷۵	۰/۳۶۰۶	۱۴e-۹/۹۳۶۵	۱۴e-۳/۲۶۴۱	**۱۴e-۴/۲۸۵۵**
اختلاف گشتاور مرتبه ۴	۴e+۹/۴۵۱۵	۸۷/۲۷۶۲	۱/۱۴۰۱	۰/۴۲۱۶	۱۴e-۹/۹۴۷۶	**۱۲e-۱/۲۰۱۷**
اختلاف گشتاور مرتبه ۵	۶e+۲/۰۱۴۱	۳e+۳/۲۲۶۳	۴/۶۸۶۷	۰/۲۷۵۰	۱/۳۸۸۴	**۱۱e-۲/۱۵۱۹**

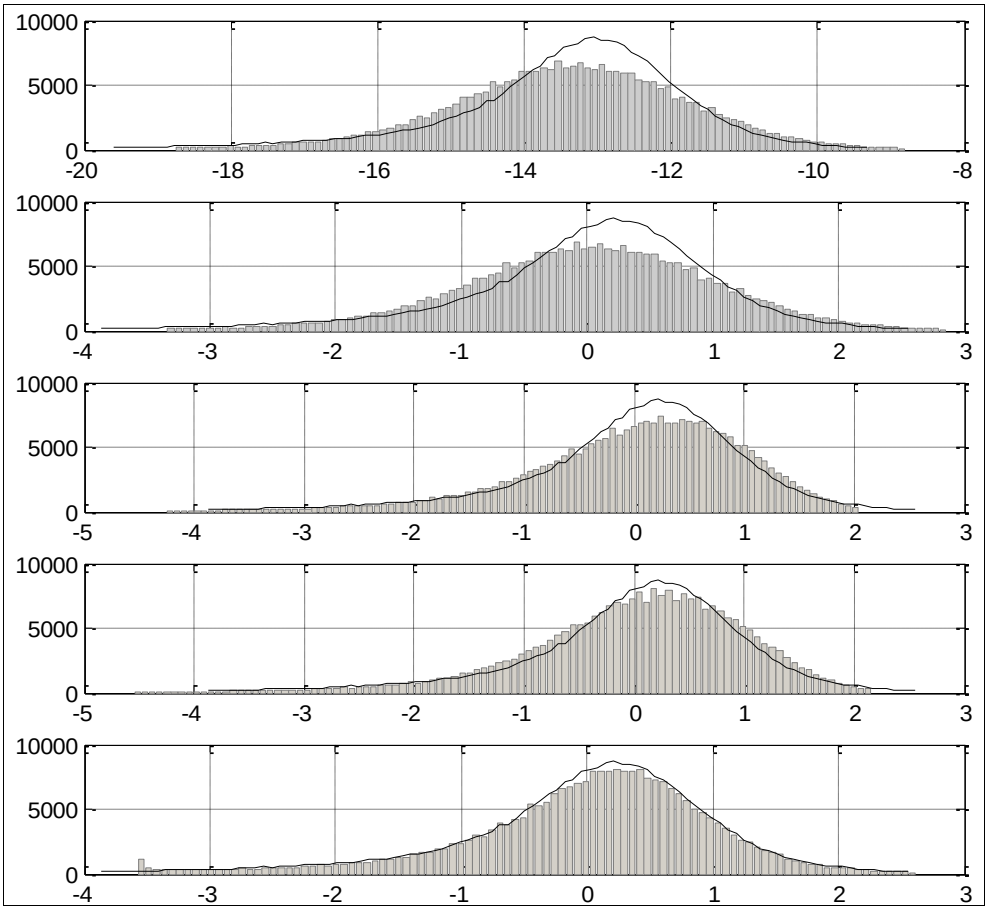
در نهایت می‌توان نتیجه گرفت که برای گشتاورهای مراتب بالاتر هم این هیستوگرام‌ها با دقت بیشتری بر هم منطبق خواهند شد و روش ارائه شده برای تصحیح داده‌های اکوساندر چندپرتویی در زاویه تلاقی نزدیک به نادیر مناسب و قابل اعتماد است.



شکل ۱۱: هیستوگرام‌های داده‌های زاویه ۲۶ درجه (نمودار تیره) و زاویه ۶۸ درجه (نمودار روشن)

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-15]

[DOI: 10.29252/jgit.2.1.55]



شکل ۱۲: هیستوگرام‌های داده‌های زاویه ۲۶ درجه (منحنی مشکی) و زاویه ۶۸ درجه (پلات خاکستری) پس از اعمال تصحیحات مرتبه ۱ و نرمالسازی و ۲و ۳و ۴

جدول ۴: اختلاف مقادیرگشتاورهای داده‌های ۲۶ درجه (مرجع) و داده‌های ۶۸ درجه طی ۶ مرحله انطباق

	داده های اولیه	تصحیح مرحله۱	نرمالسازی	تصحیح مرحله۲	تصحیح مرحله۳	تصحیح مرحله۴
اختلاف گشتاور مرتبه ۱	۶/۵۶۴۵	۱۳e-۴/۵۴۷۵	۱۳e-۱/۵۵۹۶	۱۴e-۱/۴۲۹۰	۱۴e- ۱/۷۷۶۷	۱۶e-۷/۰۲۹۳
اختلاف گشتاور مرتبه ۲	۲۱۹/۱۹۰۰	۱۲e-۷/۲۴۷۵	۹e-۵/۵۹۳۰	۱۴e-۶/۷۰۵۷	۱۳e-۱/۲۸۹۰	۱۴e-۲/۷۷۵۶
اختلاف گشتاور مرتبه ۳	۳e+۵/۶۰۹۳	۲/۷۱۸۶	۰/۶۵۹۱	۱۴e-۶/۰۷۲۹	۱۴e-۹/۷۸۱۱	۱۳e-۲/۶۹۴۵
اختلاف گشتاور مرتبه ۴	۵e+۱/۳۰۲۸	۱۵۴/۳۱۲۵	۱/۲۹۸۱	۰/۲۸۱۳	۱۲e-۱/۰۲۹۴	۱۲e-۷/۶۱۲۶
اختلاف گشتاور مرتبه ۵	۶e+۲/۸۹۳۳	۳e+۵/۵۳۴۱	۷/۲۲۵۰	۰/۴۸۴۰	۱/۶۸۷۱	۱۰e-۱/۱۱۱۵

۴-۲- نتایج پیاده‌سازی روش دوم

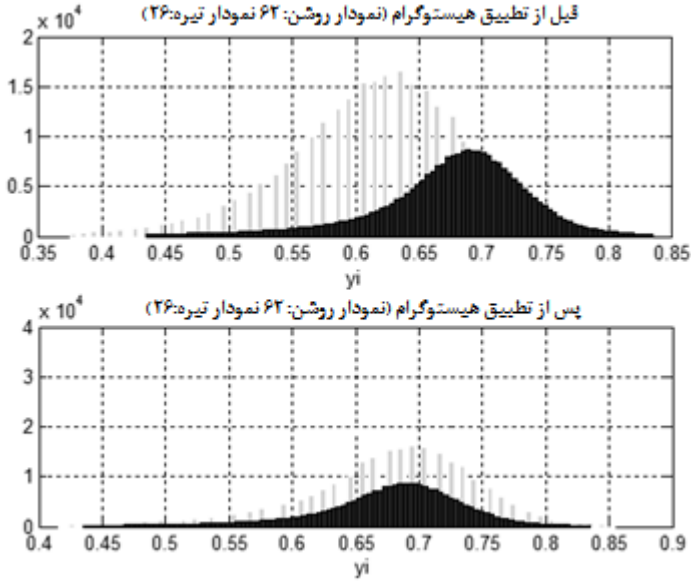
در ابتدا می‌بایست هر دو دسته داده را نرمال کرده و در بازه ۰ تا ۱ بیاوریم تا دامنه‌ی هر دو هیستوگرام یکسان گردد (در تصاویر نیز محدوده هیستوگرام‌ها یکسان و بین ۰ تا ۲۵۵ است). در شکل (۱۳) بالا ، فاصله هیستوگرام‌های دو دسته داده‌ی ۲۶ درجه و ۶۲ درجه و در شکل پایین نتایج اعمال روش تطبیق هیستوگرام[1] بر آنها ارائه شده است که در واقع بیانگر نزدیکی آنهاست هرچند انطباق نداریم.

1 Histogram matching

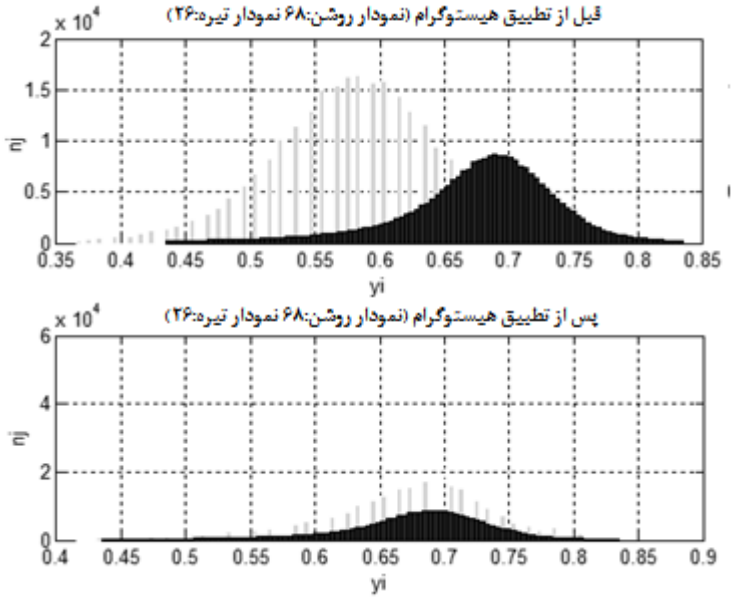
[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-15]

[DOI: 10.29252/jgit.2.1.55]

همانطور که از این شکل درمی‌یابیم، تنها میانگین داده‌های زاویه ۶۲ درجه جابجا شده است و تغییری در واریانس آنها دیده نمی‌شود. این روش بر روی داده‌های تست (۶۸ درجه) نیز اعمال شده و به نتایج مشابهی دست یافتیم (شکل (۱۴)). در جدول (۵) اختلاف مقادیر گشتاورهای داده مرجع و داده ۶۲ درجه و داده تست (۶۸ درجه) در دو مرحله انطباق گزارش شده‌است.



شکل ۱۳: نتایج اعمال histogram matching بر داده‌های زاویه ۶۲ و ۲۶ درجه. نمودارهای تیره برای زاویه ۲۶ درجه و نمودارهای روشن برای زاویه ۶۲ درجه



شکل ۱۴: نتایج اعمال histogram matching بر داده‌های زاویه ۶۸ و ۲۶ درجه. نمودارهای تیره برای زاویه ۲۶ درجه و نمودارهای روشن برای زاویه ۶۸ درجه

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-15]

[DOI: 10.29252/jgit.2.1.55]

جدول۵: اختلاف مقادیرگشتاورهای داده‌های ۲۶ درجه (مرجع) و داده‌های ۶۲ و ۶۸ درجه

قبل و پس از انطباق با روش histogram matching

	داده‌های زاویه ۶۲ درجه		داده‌های زاویه ۶۸ درجه	
	داده های اولیه	داده‌های تصحیح شده	داده های اولیه	داده های تصحیح شده
اختلاف گشتاورهای مرتبه ۱	۰/۰۶۴۱	۰/۰۰۳۸	۰/۰۹۵۱	۰/۰۰۲۵
اختلاف گشتاورهای مرتبه ۲	۰/۰۸۱۸	۰/۰۰۵۵	۰/۱۱۹۲	۰/۰۰۳۳
اختلاف گشتاورهای مرتبه ۳	۰/۰۷۹۱	۰/۰۰۵۹	۰/۱۱۳۲	۰/۰۰۳۴
اختلاف گشتاورهای مرتبه ۴	۰/۰۶۸۷	۰/۰۰۵۷	۰/۰۹۶۵	۰/۰۰۳۰
اختلاف گشتاورهای مرتبه ۵	۰/۰۵۶۴	۰/۰۰۵۱	۰/۰۷۷۸	۰/۰۰۲۵

۵- نتیجه‌گیری

یکی از روش‌های برداشت اطلاعات بستر آبها برای بهره‌برداری از منابع آنها، استفاده از سیستم‌های اکوساندر چندپرتویی است. این سیستم‌ها می‌توانند با برداشت پیوسته از بستر آب اطلاعات مفیدی در اختیار ما قرار دهند. تغییرات موج برگشتی نسبت به زاویه می‌تواند در کلاسه‌بندی انواع رسوبات کف دریا مفید واقع شود. تاکنون روشهایی برای حل وابستگی زاویه‌ای ارائه شده است اما مشکل اینجاست که اگر نوع رسوبات در طول یک نوار متفاوت باشد نمی‌توان بین تغییرات زاویه‌ای و تفاوت واقعی در نوع رسوبات تفکیک قائل شد. همچنین این روشها بر روی داده-های زاویه تلاقی باز (نزدیک به نادیر) پاسخ گو نیست، زیرا شکل تابع توزیع احتمال مربوط به داده‌های اکوساندر چندپرتویی در زوایای مختلف تغییر می‌کند و رفتار آماری هیستوگرام‌ها به شدت وابسته به زاویه می‌باشد. با تکیه بر ساختار برداشت اکوساندر چند پرتویی، داده‌های زوایای پایین‌تر (دور از نادیر) برای کلاسه‌بندی قابل اطمینان‌تر و شکل هیستوگرام آنها بیانگر شدت موج برگشتی دقیق‌تری از نقاط بستر است، بنابراین می‌بایست نحوه توزیع داده-های زوایای نزدیک به نادیر با هیستوگرام داده‌های دور از نادیر مقایسه گردد.

در این مقاله دو روش برای کاهش اثر وابستگی زاویه‌ای داده‌های اکوساندر چندپرتویی در زوایای دور ارائه گردید. در هر دو روش داده‌ها همچنان شامل این وابستگی هستند ولی اثر این وابستگی بر روی کلاسه‌بندی از بین می‌رود و این داده‌ها رسوبات بستر را با صحت بیشتری نمایش خواهند داد. پس از این تصحیحات، هیستوگرام داده‌های زوایای مختلف به هیستوگرام زاویه مرجع تا حدی منطبق می‌شود و بدین‌ترتیب اندازه‌گیری در یک زاویه خاص مبنای شناسایی رسوب قرار می‌گیرد. با مقایسه‌ی نتایج می‌توان گفت روش اول که با استفاده از گشتاورهای مرتبه بالا انجام گردید نسبت به روش دوم که یکی از روشهای پردازش تصویر است، جواب بهتری داده است.
با پیاده‌سازی این روشها بر روی دو دسته داده یکسان، بررسی نمایش هیستوگرام‌ها و اختلاف میانگین‌ها به این نتیجه می‌رسیم که انطباق هیستوگرام با اصول پردازش تصویر در واقع همان تصحیح مرتبه ۱ داده‌ها با استفاده از گشتاورهاست. همچنین با افزایش مرتبه گشتاورها هیستوگرام‌ها با دقت بیشتری برهم منطبق می‌شوند و پارامترهای بیشتری از دو هیستوگرام به یکدیگر نزدیک می‌شوند اما روش دوم تنها طی یک مرحله بر داده‌ها اعمال می‌گردد. بهتر است بگوییم که برای تطبیق هیستوگرام تصویر که

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-15]

[DOI: 10.29252/jgit.2.1.55]

حجم کمتری نسبت به این داده‌ها دارند، روش‌های مبتنی بر اصول پردازش تصویر روش مناسبی بوده و با افزایش حجم داده از کارایی آن کاسته می‌شود. بنابراین با توجه به حجم بالای داده‌های اکوساندر چند پرتویی، برای تصحیح داده‌های زاویه نزدیک به نادیر، روش تطبیق هیستوگرام‌ها با استفاده از گشتاورهای مرتبه بالا روش مناسبی می‌باشد و برای کلاسه‌بندی رسوبات بستر آبها این تصحیحات بر روی داده‌ها باید اعمال گردند.

۷- منابع

[1] Simons, D.G. and Snellen, M., 2009. A Bayesian Approach to Seafloor Classification using Multi-beam Echo-sounder Backscatter Data. Applied Acoustics, vol. 70, p. 11.

[2] AmiriSimkooei, A.R., Snellen, M., and Simons, D.G., 2009. Riverbed Sediment Classification using Multi beam Echo-sounder Backscatter Data. the Acoustical Society of America vol. 126, p. 15.

[3] Alexandrou, D. and Pantzartzis, D., 1993. A Methodology for Acoustic Seafloor Classification. IEEE J. Ocean. Eng. 18, p. 81–86.

[4] Michalopoulou, Z.H., Alexandrou, D. and Moustier, C.de., 1995. Application of Neural and Statistical Classifiers to the Problem of Seafloor Characterization. IEEE J. Ocean. Eng. 20, p. 190–197.

[5] [5] Chakraborty, B., Mahale, V., Sousa, C. and Das, P., 2004. Seafloor Classification using Echo-Waveforms: A Method Employing Hybrid Neural Network Architecture. IEEE Geoscience and remote sensing letters, vol. 1, p. 5.

[6] Mignotte, M., Collet, C., Pérez, P. and Bouthemy, P., 2000. Sonar Image Segmentation using an Unsupervised Hierarchical MRF Model. IEEE Transactions on Image Processing, vol. 9, p. 16.

[7] Chakraborty, B., Schenke, H.W., Kodagali, V. and Hagen, R., 2000. Seabottom Characterization using Multibeam Echosounder Angular Backscatter: An Application of the Composite Roughness Theory. IEEE, vol. 38, p. 4.

[8] Allen1, Y.C., Wilson, C.A., Roberts, H.H. and Supan, J., 2005. High Resolution Mapping and Classification of Oyster Habitats in Nearshore Louisiana using Sidescan Sonar. Estuarine Research Federation, vol. 28, p. 12.

[9] Lubniewski, Z. and Chybicki, A., 2008. Seabed Classification using Multibeam Echosounder. IEEE/ Information Technology, 2008, IT. 1st International Conference on Gdansk, p. 4.

[10] Chenadec, G.Le. and Boucher, J.M., 2005. Sonar Image Segmentation using the Angular Dependence of Backscattering Distributions. IEEE/Oceans 2005, Europe, vol. 1, p. 6.

[11] Chenadec, G.Le., Bouchert, J.M., Lurton, X. and Augustin, J.M., 2004. Angular Dependence of Statistical Distributions for Backscattered Signals: Modelling and Application to Multibeam Echosounder Data. IEEE, vol. 2, p. 7.

[12] AmiriSimkooei, A.R., Snellen, M. and Simons, D.G., 2008. Using the MBES for Classification of Riverbed Sediments. the Acoustical Society of America, vol. 123, p. 6.

[13] Lurton, X., 2002. An Introduction to Underwater Acoustics: Principles and Applications. Springer, New York, p. 90–91.

[14] Hovem, J.M., 2006. Underwater Acoustics: Propagation, devices and systems. Polecer International Conference, Springer, Ed. Hafjell ,Lillehammer-Norway, p. 9.

[15] Simons, D.G., 2010. Seafloor Mapping: Underwater Acoustics Group. (TNO-FEL), the Netherlands, lecture notes.

[16] Mishra, DR., Narumalani, S., Rundquist, D., Lawson, M., 2005. High-resolution

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-15]

[DOI: 10.29252/jgit.2.1.55]

ocean color remote sensing of benthic habitats: a case study at the Roatan Island, Honduras. IEEE Trans Geosci Remote Sensing, vol. 43, p. 1592–1604.

[17] Purkis, SJ., 2005. A reef-up approach to classifying coral habitats from IKONOS imagery. IEEE Trans Geosci Remote Sensing, vol. 43, p. 1375–1390.

[18] Brouwer, P.A.I., 2008. Seafloor Classification Using a Single Beam Echosounder. Department of Earth Observation & Space Systems chair of Acoustic Remote Sensing. vol. Master: Delft, The Netherlands.

[19] Hsu, C.w. and Lee, L.s., 2004. Higher Order Cepstral Moment Normalization (HOCMN) for Robust Speech Recognition. IEEE, p. 4.

[20] Suk, Y.H., Choi, S.H., and Lee, H.S., 1999. Cepstrum Third-order Normalisation Method for Noisy Speech Recognition. IEEE, vol. 35, p. 2.

[21] Montgomery, D.C., Runger, G.C., 2002. Applied Statistics and Probability for Engineers. John Wiley & Sons, 3rd edition, the United States of America.

[22] Perry, S.W., 2000. Applications of Image Processing to Mine Warfare Sonar. DSTO Aeronautical and Maritime Research Laboratory PO Box 4331 Melbourne Victoria 3001 Australia.

[23] Cervenka, P., and Moustier, C.de., 1993. Sidescan SonarImage Processing Techniques. IEEE, vol. 18, p 15.

[24] Gonzales, R.C. and Woods, R.E., 2002. Digital Image Processing. Prentice Hall, second edition.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-15]

[DOI: 10.29252/jgit.2.1.55]

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

Journal of Geospatial Information Technology
Vol.1, No.4, Spring 2014

Comparison between Two Statistical Processing Methods of Multi-Beam Echo-Sounder Data on Histogram Matching

Samane Lesani-Gooya[1], Alireza Amiri-Simkooei[2], Mehdi Momeni-Shahraki[3], Nafise Kakhani[4]

1- M.Sc student of RS, University of Isfahan
2- Assistant Prof. in Dept. of Surveying and Geomatics Eng., University of Isfahan
3- Assistant Prof. in Dept. of Surveying and Geomatics Eng., University of Isfahan
4- M.Sc student of RS, K. N. Toosi University of Technology

Abstract

At present, applying the acoustic approaches and equipments has been increasingly used for gathering information from seafloor to produce maps with numerous applications. Multi-beam echo-sounder (MBES) is an acoustic system that measures both the depth and the backscatter strength, simultaneously. Such systems transmit a series of beams to the seafloor and receive their backscatter strengths (BS). They can be described as a function of the incident angle based on the Lambert law. Seafloor sediment classification is an important application of these data. In different studies, angular dependence has been used for this purpose. A complication occurs when the sediment types change along the swath, because it is difficult to separate from the beam angular dependence and the true backscatter strength variations. Therefore, these data should become independence of the angle. In this paper, two statistical methods based on the histogram matching are compared for removing the angular dependence: 1) histogram matching using the statistical moments, and 2) histogram matching using the image processing technique. These methods will register the BS data of large grazing angles (close to nadir) to the reference low grazing angle. Finally we will apply the two methods to a MBES data set of the Waal river, the Netherlands and compare the results.

Key words: Multi-Beam Echo-Sounder (MBES), Backscatter Strength, Angular Dependence, Histogram Matching, Statistical Moment

Correspondence Address: Faculty of Engineering, Isfahan University, Hezar Jarib Str., Azadi Squ., Isfahan. Tel:+989126337589
Email: sl_lesani@yahoo.com

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-15]

[DOI: 10.29252/jgit.2.1.55]