نشریه علمی پژوهشی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

سال دوم، شماره نخست، بهار ۱۳۹۳

Vol.2, No.1, Spring 2014

۴۱-۵۳

# ارزیابی میزان داده‌های هیدرو گرافی مورد نیاز در عمق‌یابی ماهواره‌ای

مژده ابراهیمی کیا[1*]، محمد سعادت سرشت[2]

۱- کارشناس ارشد فتوگرامتری، گروه مهندسی نقشه برداری، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران

۳- استادیار فتوگرامتری، گروه مهندسی نقشه برداری، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۲/۰۶/۱۴ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۰۲/۳۰

## چکیده

عملیات عمق‌سنجی در نواحی ساحلی وسیع به روش مستقیم آبنگاری (عمق‌سنجی با اکوساندر) بسیار هزینه‌بر بوده و زمان زیادی را به خود اختصاص می‌دهد. بنابراین سنجش از دور با توجه به توانایی بالا در جمع آوری اطلاعات در زمان کوتاه و در محدوده‌ای وسیع، راهکاری بسیار مناسب و مؤثر می‌تواند باشد. در تحقیق پیشرو به دو روش عمق یابی ماهواره ای یکی بر مبنای اصول فیزیکی و دیگری بر مبنای نگاشت عددی ( روش شبکه عصبی) اشاره می‌شود و در داده‌ایی یکسان با هم مقایسه می‌شوند سپس با توجه به سادگی و بهینه‌تر بودن نتایج روش دوم، تاثیر میزان اندازه‌گیری های مستقیم برای کالیبره کردن یا آموزش این روش با مقایسه اختلاف میانمقادیر خروجی با مقادیر عمق اندازه‌گیری شده ارزیابی می‌شود. در واقع هدف از انجام آزمونهای این قسمت پاسخ به این پرسش است که تا چه حد روشهای عمق‌یابی سنجش از دور به داده‌های صحرایی نیاز دارند و به بیان دیگر رابطه تغییر دقت عمق‌سنجی با تغییر تعداد و پراکندگی نقاط کنترل چگونه است و آیا می‌توان با تعداد محدودی از خطوط عمق‌یابی به دقت معقولی رسید؟ بررسی‌ها نشان می‌دهد که علاوه بر کارایی روش شبکه عصبی در برآورد عمق تنها یک مسیر هیدروگرافی از ساحل تا میانه دریا می‌تواند نتایج رضایت بخشی(RMSE حدود ۱/۶ و ضریب همبستگی ۹۲٪) را ارائه دهد.

**کلیدواژه‌ها**: عمق یابی، فیزیک تضعیف نور، تصاویر ماهواره ای

* نویسنده مکاتبه‌کننده: مژده ابراهیمی کیا، تهران، خیابان شریعتی خیابان معلم سازمان جغرافیایی، ۸۸۴۰۰۱۱۱-۰۲۱

Email: moj_ebrahimikia@yahoo.com

[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-07 ]

[ DOI: 10.29252/jgit.2.1.41 ]

## ۱- مقدمه

بطور کلی عملیات عمق‌سنجی در نواحی ساحلی برای طلاع از اجزای زیر آب به منظور انجام فعالیتهایی نظیر کشتیرانی، لایروبی، قراردهی خطوط لوله و کابل، تعیین نقاط پر خطر ساحلی، مطالعات هیدرولوژیکی، تهیه نقشه‌های جنس بستر، اطلاع از زیستگاه‌های دریایی، جهت کاربرد در امور محیط زیست، نظامی و مهندسی و نظایر آن ضرورت دارد. اندازه‌گیریهای دوره‌ای از مناطق ساحلی وسیع به روش مستقیم آبنگاری (عمق‌سنجی با اکوساندر) بسیار هزینه‌بر بوده و زمان زیادی را به خود اختصاص می‌دهد. بنابراین سنجش از دور با توجه به توانایی بالا در جمع‌آوری اطلاعات در زمان کوتاه و در محدوده‌ای وسیع، راهکاری بسیار مناسب و مؤثر می‌تواند باشد. و یا زمانی که منطقه مورد مطالعه پر خطر بوده و یا امکان تردد و انجام اندازه گیری‌های مستقیم در آن نباشد که هر دو این موارد شامل کشور ما با نواحی ساحلی وسیع می‌شود بنابراین نیاز به استفاده از روش‌های غیر مستقیم عمق‌یابی که بتواند با تعداد نقاط کنترل محدود مقادیر عمق را بطور مطلوبی ارائه دهد حقیقتی انکار ناپذیر می‌باشد. اساس روش عمق‌یابی از روی تصاویر ماهواره‌ای، بر مبنای وابستگی طیفی تصویر با عمق آب می‌باشد. به بیان دیگر هرچه آب عمیق‌تر باشد تصویر تیره‌تر بوده که علت اصلی آن جذب و پراکندگی انرژی نور در آب است. البته عکس این عبارت همیشه صحیح نمی‌باشد یعنی همیشه نمی‌توان گفت هرچه تصویر تیره‌تر باشد، عمق آب بیشتر است.

همین مساله باعث شده است که دقت و بکارگیری روش عمق‌سنجی سنجش از دور با محدودیتهای قابل توجهی همراه باشد. علت این امر آن است که شدت درجات روشنایی تصویر علاوه بر میزان عمق آب به عوامل متعدد دیگری نیز وابسته است که مهمترین آنها عبارتند از طول موج نور، کالیبراسیون طیفی سنجنده، توان تفکیک طیفی و مکانی سنجنده، پدیده اختلاط طیفی، اثرات زمین مرجع سازی تصویر، اثرات اتمسفری و فرا اتمسفری، برق خورشیدی روی سطح آب، تلاطم آب، زاویه میل اخذ تصویر، میزان شفافیت ستون آب، مواد محلول و شناور در آب، جنس بستر آب و میزان بازتابش آن و در نهایت حداکثر عمق آب. هرچه این عوامل با دقت و صحت بیشتری مدلسازی شوند، اثرات آنها بصورت ترمهای تصحیحی از روی درجات روشنایی تصویر برداشته شده و عمق آب با صحت بالاتری بدست می‌آید.

مهمترین این عوامل میزان شفافیت و حداکثر عمق آب است که بطور مستقیم روی نفوذپذیری نور در آب تاثیر می‌گذارد. بطور کلی روش عمق‌یابی سنجش از دور (بخصوص تعیین عمق از روی تصاویر سنجنده‌های غیر فعال) تنها در نواحی آبی شفاف و کم عمق (عمق کمتر از حداکثر ۳۰ متر) قابل بکارگیری است که معمولا این شرایط در دریاچه‌ها و سواحل دریایی کم عمق وجود دارد. همچنین عدم آگاهی از تغییرات جنس بستر که به‌طور مستقیم روی شدت نور بازتاب یافته و در نتیجه درجات روشنایی تصویر تاثیر می‌گذارد باعث می‌شود که تخمین عمق آب با خطاهای شدیدی همراه شود.

به این ترتیب دقت توپوگرافی بستر بدست آمده از روش عمق‌یابی سنجش از دور را نمی‌توان در حد روشهای مستقیم اندازه‌گیری در هیدروگرافی دانست ولذا نمی‌توان برای کاربردهای دقیق مانند ناوبری کشتی‌ها به آن اطمینان نمود. اما خروجی این روش برای انجام مطالعات کم هزینه و سریع در پهنه‌های آبی گسترده و البته کم عمق و شفاف قابل استفاده است که تمرکز اصلی در آنها بررسی ساختار ژئومورفولوژی بستر آب و نحوه تغییرات آن یا ارائه یک زون‌بندی کلی از تغییرات عمق آب می‌باشد. البته اخیرا با معرفی سنجنده‌های با توان تفکیک طیفی و مکانی بالا امکان بکارگیری



[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-07 ]

[ DOI: 10.29252/jgit.2.1.41 ]

این روش در نواحی کوچک مانند اسکله‌ها یا رودخانه‌ها (کم عمق و شفاف) برای انجام کاربردهایی نظیر تخمین حجم لایروبی بستر آب نیز فراهم آمده است. در زمینه استفاده از سنجش از دور برای تهیه نقشه بستر آبهای کم عمق روشهای مختلفی ارائه شده است. اکثر و نه تمام این روشها را می‌توان به دو دسته کلی تقسیم‌بندی نمود:

۱) روشهای مبتنی برمدلسازی فیزیکی تعامل نور با آب و محیط: که در آن سعی شده مسیر نور با توجه به رفتار آن در تعامل با محیط مدل‌سازی شود.

این روشها گاه بر مبنای ثابت بودن شرایط محیطی از جمله جنس بستر و ستون آب جاپ[1][۱] و یا دارای بررسی‌های آزمایشگاهی و یا میدانی هستند پلکاین [2][۲] درالگوریتم بیان شده فرض شده است که دو باند موجود است به قسمی که نسبت بازتابندگی‌های کف در این باندها بدون توجه به تغییر نوع بستر ثابت باقی می‌ماند.)

۲) روشهای مبتنی بر برازش تابع بین فضای ورودی وخروجی: این روشها بر مبنای ایجاد نگاشت یک تابع بین فضای ورودی که همان درجات روشنایی و فضای خروجی که همان عمق است می‌باشند.

از روش‌های دسته اول علاوه بر روش‌های مذکور می‌توان روش تعیین عمق مبتنی بر ترکیب باندها [۲] را نام برد که به تفصیل بیشتری بدان پرداخته می‌شود. این روش بر این اساس است که مقادیر رادیانس یا روشنایی تصحیح شده هر باند بعد از اعمال لگاریتم، ارتباط خطی با عمق داشته باشند و این امر زمانی مهیاست که تصحیحات مربوط به اثرات جوی و ستون آب بخوبی بر روی رادیانس انجام گیرد. که در این روش بطور کلی از مقدار رادیانس بدست آمده از آب عمیق جهت تصحیح استفاده می شود که این مقدار نمی‌تواند برای تمام نقاط تصویر قابل بکارگیری باشد یا به عبارتی تاثیرات جو و ستون آب در تمامی نقاط تصویر یکسان نیست.

از روش‌های دسته دوم می‌توان به روش شبکه عصبی اشاره کرد که از طریق آموزش قادر به برقراری ارتباط میان درجات روشنایی با مقادیر عمق بوده و با توجه به پارامترهای مجهول گسترده (از جمله تنوع در جنس بستر و ستون آب) می تواند راه حل ساده‌تری باشد.

در ادامه سعی گردیده است تا علاوه بر شناسایی بهینه‌ترین روش عمق‌یابی ماهواره‌ای، تاثیر کمترین مقدار خطوط عمق‌یابی اندازه‌گیری شده بر نتایج حاصل از آن ارزیابی شود.

## ۲- داده‌ها و منطقه مورد مطالعه

تصویر ماهواره‌ای مورد استفاده، تصویر آیکونوس از منطقه شمالشرقی جزیره کیش در چهار باند می‌باشد که بصورت پن-شارپن[3] خریداری شده است و دارای رزولوشن یک متر می‌باشد.

علاوه بر تصویر داده‌های هیدروگرافی به تعداد ۳۵۵۰ نقطه نیز برای کالیبراسیون و ارزیابی از این منطقه تهیه گردیده است. این نقاط توسط جهاد دانشگاهی در سال ۱۳۷۶ برای این منطقه تهیه شده است. تعیین موقعیت مسطحاتی این نقاط به روش ماهواره‌ای تفاضلی و با دقت حدود ۳-۲ متر و تعیین عمق توسط اکوساندر نسبت به چارت دیتوم هیدروگرافی و با دقت ۳۰-۱۰ سانتی متر بوده و تصحیحات جزر و مدی روی آن انجام شده است. جزیره کیش یکی از مناطقی است که به دلیل سرمایه‌گذاری زیاد به مقاصد مختلف دارای اطلاعات مکانی فراوان مانند نقشه‌های هیدروگرافی و نقشه‌های بزرگ مقیاس می‌باشد. همچنین

1 Jupp
2 Polcyn
3 Pan-Sharpen



[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-07 ]
[ DOI: 10.29252/jgit.2.1.41 ]

نواحی ساحلی این جزیره از عمق تقریباً کم و شفافیت نسبتاً خوب برخوردار بوده و بستر آن در نواحی کم عمق از کلاسهای محدودی از جمله مرجانها، جلبکها و ماسه تشکیل یافته است.

**شکل۱: منطقه و تصویر مورد مطالعه**

## ۳- تئوری

بطور کلی فیزیکی تضعیف نور در آب و قوانین مورد استفاده آن و همچنین چگونگی روش‌های عمق‌یابی غیر مستقیم در این بخش بررسی می‌شوند.

### ۳-۱- فیزیک تضعیف نور در آب

در این بخش به نحوه و میزان تضعیف نور هنگام گذر از ستون آب تحت عنوان مدل انتقال انرژی تابشی و همچنین مفهوم و چگونگی محاسبه بازتابندگی زیر سطح آب در دو زیر بخش جداگانه پرداخته می‌شود.

### ۳-۱-۱-مدل انتقال انرژی تابشی

مدل انتقال انرژی تابشی به توصیف ریاضی تضعیف نور هنگام گذر از جسم آب می‌پردازد. هنگامی که فتون‌ها از داخل آب عبور می‌کنند، دستخوش پراکنش و جذب توسط ذرات و مولکول‌های آب می‌شوند. این امر، جریان انرژی را که از حاصلضرب انرژی هر فتون در تعداد فتون‌ها در واحد سطح و در واحد زمان بدست می‌آید را تضعیف می‌کند. جریان انرژی هنگام گذر به سمت پایین بتدریج کاهش می‌یابد و سرانجام در عمقی بسته به خصوصیات آب به صفر می‌رسد. این فرآیند تضعیف نور را می‌توان با قانون بیر[1] مدلسازی نمود[۳].

از آنجا که انرژی درهر فتون (حاصلضرب $h$ و $v$ که $h$ ثابت پلانک و $v$ فرکانس نور است) برای یک طیف خاص ثابت است تغییر در جریان انرژی به سوی پایین با تغییر در تعداد فتون‌ها متناسب خواهد بود. همچنین شانس تضعیف با ضخامت جسمی که نور از آن عبور می‌کند افزایش می‌یابد. با معلوم بودن $N$ فتون بالای یک رسانا مثل آب با ضخامت $\Delta r$، کاهش تعداد فتون ها $\Delta N$ برابر با حاصلضرب $N$ در $\Delta r$ خواهد بود که در فرمول دیده می‌شود در این فرمول ثابت تناسب $\alpha$ ضریب تضعیف می‌باشد.

$$\Delta N = -\alpha N \Delta r$$ رابطه (۱)

با گرفتن حد زمانی که هر دو $\Delta N$ و $\Delta r$ به صفر نزدیک می‌شوند معادله زیر یا قانون بیر را می‌سازد:

$$\frac{dN}{N} = -\alpha dr$$ رابطه (۲)

و

$$N(r) = N_0 e^{-\alpha r}$$ رابطه (۳)

با توجه به ارتباط نسبی میان جریان انرژی و $N$، معادله بالا را می‌توان به فرم زیر نوشت که در آن $\Phi$ جریان انرژی است. این معادله، کاهش نمایی جریان انرژی را زمانی که از رسانا می‌گذرد نمایش می‌دهد که در آن $a$ به‌عنوان ضریب تضعیف استفاده شده است[۳]:

$$\Phi(r,\lambda) = \Phi(0,\lambda) e^{-a(\lambda) r}$$

### ۳-۱-۲-بازتابندگی زیر سطح آب(λ)rrs

بازتابندگی زیر سطح آب $r_{rs}(\lambda)$ با نسبت میان انرژی

1 Beer



[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-07 ]
[ DOI: 10.29252/jgit.2.1.41 ]

بازتابیده از آب به انرژی فرودی در آب درست در زیر فصل مشترک آب و هوا $(0^-)$ تعریف می‌شود[۴]. چنانچه بازتابندگی نور آسمان درفصل مشترک در نظر گرفته نشود:

رابطه (۴) $r_{rs}(\lambda) = E_u(0^-,\lambda) \ / \ E_d(0^-,\lambda)$

جریان به سمت پایین $E_d(0-,\lambda)$ از تشعشع خورشید و روشنایی آسمان نشأت می‌گیرد. ترکیب طیفی آن به زاویه زنیت خورشید و خصوصیات جوی(هواریزه)[1] بستگی دارد. مقدار جریان به سمت بالا در جسم آب، $E_u(0-,\lambda)$ به دو عامل پس‌پراکنش که سبب می‌شود تا فتون‌های به سمت پایین در حرکت، به سمت عقب برگردند و عامل جذب که فتون‌ها را نابود می‌کند و شانس برگشت به سمت عقب را از آنها می‌گیرد برمی‌گردد. این بحث را می‌توان به فرم زیر بیان کرد:

رابطه (۵) $r_{rs}(\lambda) = f\left[b_b(\lambda) \ / \ a(\lambda)\right]$

که شامل ضرایب پس پراکنش $b_b$ و جذب از جسم آب $a$ می‌شود. این ضرایب با واحد $m^{-1}$ احتمال پس پراکنش و جذب در واحد طول را در امتداد مسیر پرتو نشان می‌دهند. همچنین فاکتور بدون بعد $f$ و تغییراتش به طول موج $\lambda$ بستگی دارد و بین 0.3-0.5 تغییر می‌کند و اساساً به زاویه خورشید بستگی دارد. برای بیان دقیقتر این بازتابندگی بهتر است تا سهم هر یک از عناصر ستون آب و بستر آب روی بازتابش خروجی مورد بحث قرار گیرند. بنابراین برای اثر ستون آب می‌توان گفت سهم آن از جمع عمودی سهم لایه‌های بسیار باریک آب $\delta z$ از سطح تا کف به عمق $H$ حاصل می‌شود[۵]. در لایه $\delta z$ در عمق $z$، قسمتی از تابش به سوی پایین به علت پس پراکنش[2] تغییر جهت می‌دهد:

رابطه (۶) $E_{uw}(Z) = b_{bd}(Z)E_d(Z)$

$B_{bd}(z)$ ضریب پس پراکنش برای تابش بسوی پایین در عمق $z$ است. انرژی فرودی در عمق $z$، تابش خورشیدی $Ed(0-)$ تضعیف شده است (در اینجا به اختصار با $(0)$ نشان داده می‌شود) که بنابر قانون بیر برابر است با:

رابطه (۷) $\left[E_d(Z) = E_d(0)\exp\left[-\int_0^z K_d(z)dz\right]\right]$

$K_d(z)$ ضریب تضعیف پخش[3] وابسته به عمق برای انرژی فرودی است. همچنین انرژی بازتابیده از عمق $z$ تا سطح آب بتدریج تضعیف شده و وقتی به سطح آب می‌رسد میزان این انرژی برابر است با:

رابطه (۸) $E_{uw}(Z \to 0) = E_{uw}(Z)\exp\left[-\int_z^0 K_u(z)dz\right]$

که $K_u(z)$ ضریب تضعیف پخش وابسته به عمق برای تابش به سوی بالاست. با انتگرالگیری روی کل $z$ از سطح تا عمق $H$، کل انرژی بازتابیده ناشی از ستون آب بدست می‌آید.

(رابطه ۹) $E_{uw}(0) = E_d(0)\int_0^H b_{bd}(Z)\exp\left[-\int_0^z (K_d(z)+K_u(z))dz\right]dz$

انرژی بازتابیده از سطح بستر ناشی از انرژی فرودی و منعکس شده از آن در عمق $H$ می‌باشد:

رابطه (۱۰) $E_{ub}(H) = AE_d(0)\exp\left[-\int_0^H K_d(z)dz\right]$

که در آن $A$ بازتابندگی عمق است. این تابش هنگام انتشار به سمت سطح تضعیف می‌شود:

رابطه (۱۱) $E_{ub}(0) = AE_d(0)\exp\left[-\int_0^H (K_d(z)+K_u(z))dz\right]$

1Aerosol

2Backscatter
3Diffuseattenuationcoefficient



[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-07 ]
[ DOI: 10.29252/jgit.2.1.41 ]

مجموع معادلات (۹) و (۱۱) انرژی به سمت بالا را تشکیل می‌دهد. با فرض آنکه ضرایب تضعیف پخش و $b_{bd}$ وابسته به تغییر عمق نباشند و $K_{u=}K_d$ باشد، یک راه حل تحلیلی ساده برای میدان نوری به سمت بالا در سطح بدست می‌آید:

رابطه (۱۲)

$$E_u(0) = E_d(0)\left[\frac{b_{bd}}{2K_d}(1-\exp(-2K_dH)) + A\exp(-2K_dH)\right]$$

برای آب عمیق نسبت انرژی بازتابیده به انرژی فرودی وقتی $H$ بینهایت شود، بازتابندگی زیر سطح آب برای آب عمیق تعریف می‌شود ($r_{rs}^{dp}$). اگر این شرط مرزی به معادله (۱۲) اعمال شود $b_{bd}$ به $2K_d$ معادل $r_{rs}^{dp}$ می‌شود. بنابراین بازتابندگی زیر سطحی، نسبت $E_u(0)$ به $E_d(0)$ است زمانی که درست زیر سطح آب کم ژرف به عمق $H$ اندازه‌گیری می‌شوند :

رابطه (۱۳)

$$r_{rs} = r_{rs}^{dp}\left(1 - \exp(-2KH)\right) + A\exp(-2KH)$$

یا

رابطه (۱۴)

$$r_{rs} = r_{rs}^{dp} + (A - r_{rs}^{dp})\exp(-2KH)$$

ترم اول سمت راست فرمول (۱۳) مربوط به سهم ستون آب و ترم دوم مربوط به سهم کف آب است[۵].

### ۳-۲-روش‌های عمق سنجی مورد آزمون

در این بخش برای هر یک از روش های فیزیکی و نگاشت عددی عمق سنجی نمونه ای آورده شده و توضیح داده می‌شوند.

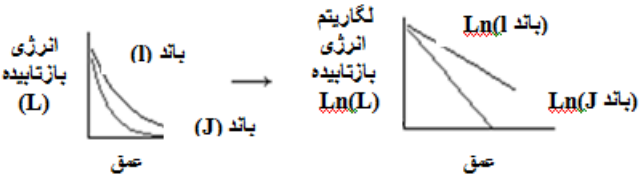
### ۳-۲-۱-روش تعیین عمق مبتنی بر ترکیب باندها Lyzenga(1978)

Lyzenga [۲] روشی مستقل از تغییر عمق برای تهیه نقشه جنس بستر دریا پیشنهاد کرده است که تنها برای آبهای شفاف نوع یک یا دو مناسب است. در این روش تصحیح جوی براساس اهداف تیره است.

رابطه (۱۵)

$$X_i = \ln\left(L_i - L_{si}\right)$$

در این رابطه $Li$ انرژی بازتابیده پیکسل در باند $i$ و $L_{si}$ انرژی بازتابیده میانگین آب عمیق در باند $i$ است. بنابراین $L_i - L_{si}$ برابر انرژی بازتابیده تصحیح جوی شده می‌باشد. همانطور که قبلاً ذکر شد شدت نور به صورت نمایی با افزایش عمق در آب کاهش می‌یابد و در نتیجه لگاریتم انرژی‌های تصحیح جوی شده به‌طور خطی با افزایش عمق کاهش می‌یابند.




**شکل۲: نحوه ارتباط انرژی بازتابیده و لگاریتم آن با عمق[۶]**

با توجه به ارتباط خطی میان Xi با مقادیر $z$، در روش استفاده از $n$ باند، متغیر دیگر به فرم $Yi$ به صورت زیر تعریف می‌شود:

رابطه (۱۶)

$$Y_i = \sum_{j=1}^{N} A_{ij} X_j$$

که از دوران سیستم مختصات مربوط به $n$ متغیر $Xi$ بدست می‌آید. در نتیجه از $n$ متغیر $Yi$ یک متغیر $Yn$ وابسته به عمق بدست می‌آید که دارای فرمول زیر خواهد بود:

رابطه (۱۷)

$$Y_n = B_m - Cz$$

$n-1$ متغیر دیگر غیر وابسته به عمق و تابعی از بازتابندگی‌های بستر هستند. در معادله(۱۷) $B_m$ تابعی از ترکیبات بستر و $C$ تنها به ضرایب تضعیف آب وابسته است. ضرایب $A_{nj}$ برای متغیر $Y_n$ از شرایط متعامد بودن سیستم مختصات جدید و ضرایب تضعیف آب بدست می‌آیند. فرمول(۱۷) را می‌توان به فرم ساده‌تری مطابق زیر نوشت:

رابطه (۱۸)

$$\sum_{j=1}^{N} A_{nj} X_j = B_m - Cz$$

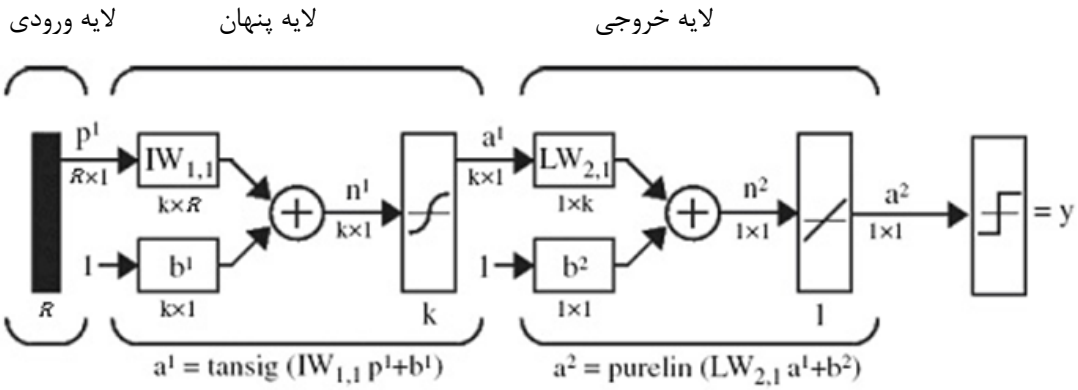


[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-07 ]
[ DOI: 10.29252/jgit.2.1.41 ]

یا $z = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + \ldots + a_nX_n$ ضرایب $a_0$ تا $a_n$ را می‌توان از طریق رگرسیون با داشتن چند نقطه با عمق معلوم بدست آورد.

### ۳-۲-۲-روش مبتنی بر شبکه‌های عصبی مصنوعی ANN

شبکه‌های عصبی مصنوعی از اتصال وزندار عناصر ساده‌ایی به نام نورون تشکیل شده‌اند. وزنها از طریق ارتباط میان جفت مقادیر ورودی و خروجی معلوم در فرآیند آموزش شبکه بدست می‌آیند. جزئیات مربوط به شبکه‌های عصبی مصنوعی و چگونگی آموزش این شبکه‌ها را در کتب مرجع مانند [۷] مطالعه نمایید. با توجه به اینکه اثبات شده است که شبکه پرسپترون با لایه پنهان سیگموئید و لایه خروجی خطی یک تقریبگر عمومی مسائل غیرخطی می‌باشد، در این تحقیق مسأله تقریب عمق بوسیله شبکه عصبی از روی مقادیر رادیانس در هر باند برای هر نقطه توسط این شبکه انجام گرفته است.




**شکل۳: شبکه مورد استفاده درتقریب تابع تعیین عمق[۱۰]**

در این شبکه $R$ ورودی‌ها یا مقادیر رادیانس برای هر نقطه در هر باند و $k$ تعداد نورون‌های لایه پنهان و یا لایه سیگموئید می‌باشدکه دراین تحقیق با آزمایش مقدار بهینه آن بدست آمده است. بدین‌منظور با استفاده از نقاط عمق‌یابی شده معلوم به‌عنوان داده آموزشی و مشخص بودن ورودی (درجات خاکستری) و خروجی (عمق های متناظر)، شبکه آموزش داده می‌شود و دریک فرآیند بهینه‌سازی، وزن‌ها بدست می‌آیند. سپس درمرحله ارزیابی، مقادیرعمق نقاط چک که در آموزش شرکت نکرده‌اند با استفاده از این شبکه بدست می‌آید و با مقادیر واقعی آنها مقایسه می‌شود.

## ۴- پیاده سازی

این بخش شامل آماده سازی داده‌ها، ارزیابی روشهای عمق‌یابی، بررسی رابطه وابستگی عمق با مقادیر طیفی و مکانی نقاط کنترل با توجه به تراکم آنها می‌شود.

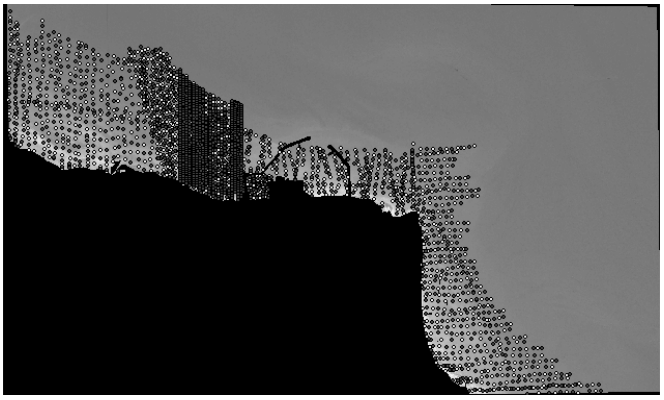
### ۴-۱- آماده‌سازی داده‌ها

جهت استخراج واقعی‌تر اطلاعات عمق از روشهای عمق‌یابی لازم است تا پیش پردازش‌هایی بر روی تصاویر و داده‌های هیدروگرافی صورت گیرد این تصحیحات شامل تصحیح هندسی و رادیومتریک تصویر و تصحیح جزر و مدی نقاط هیدروگرافی می‌باشد. جهت تصحیح هندسی از نقشه بزرگ مقیاس جزیره کیش استفاده شد و تصویر نسبت به آن با انتخاب نقاط مشترک و استفاده از معادلات رشنال هم مرجع شد سپس با تهیه ماسکی باینری نواحی آبی از نواحی خشکی جداسازی شد. مقادیر عمق‌یابی شده هیدروگرافی نیز با استفاده از جدول تصحیحات جزر و مدی نسبت به زمان تصویر برداری تصحیح شد



[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-07 ]
[ DOI: 10.29252/jgit.2.1.41 ]

و مقادیر درجات خاکستری متناظر نقاط در هر باند بدست آمد و بصورت یک در میان جداشد و تحت عنوان مقادیر چک و کنترل در دو جدول مورد استفاده قرار گرفت. همچنین با اعمال ضرایب کالیبراسیون سنجنده این درجات خاکستری به مقادیر رادیانس مربوطه تبدیل گردید.



**شکل۴: پراکندگی نقاط چک وکنترل. نقاط تیره کنترل و نقاط روشن چک هستند**

### ۴-۲-ارزیابی روشهای عمق‌یابی

نتایج حاصل از این دو روش بر روی نقاط چک مطابق جدول زیر با مقادیر RMSE، حداکثر خطای قدرمطلق[1]، مقدار ضریب همبستگی(R) و متوسط قدرمطلق ده خطای حداکثر[2] بدست آمده است. در تمامی نمودارهای نتایج (شکل۵ و ۶ سمت چپ)، خطوط نوسان‌دار ناشی از محاسبات عمق‌یابی و خط ممتد مقادیر اندازه‌گیری‌شده می‌باشد.

همچنین در شکل‌های ۷ و ۸ ناحیه مورد بررسی و DSM حاصل از عمق یابی هیدروگرافی و در شکل ۹ قدرمطلق اختلاف مقدار عمق محاسباتی با مقدار این DSM به همراه هیستوگرام خطا برای هر دو روش نشان داده شده است.

### ۴-۳-بررسی رابطه وابستگی عمق با مقادیر طیفی و مکانی نقاط کنترل با توجه به تراکم آنها

در این آزمون بررسی می‌شود که برای عمق یابی به روش غیرمستقیم هیدروگرافی از جمله روش شبکه عصبی به چه تعداد و با چه فواصلی خطوط عمق‌یابی نیاز است. بدین منظور تعداد و تراکم این خطوط به تدریج کاهش داده می شود.

لازم به ذکر است که تعداد نقاط چک ثابت بوده و مقدار عمق نقاط چک توسط داده‌های مکانی و طیفی نقاط کنترل محاسبه شده‌است و تنها نقاط کنترل کاهش یافته‌اند. و خطای RMSEch در نقاط چک، حداکثر خطای قدرمطلق، میزان همبستگی میان عمق در نقاط چک بدست آمده با مقادیر واقعی (R) و متوسط قدر مطلق ده خطای حداکثر ارائه شده است:

این آزمونها در شش مرحله بصورت زیر انجام پذیرفت:

در حالت اول ۱۷۸۳ نقطه کنترل بطور تقریبا یکنواخت با تراکم متوسط ۸۵ متر بکار گرفته شده است.

در حالت دوم ۳۲۹ نقطه کنترل در ۲۵ مسیر عمق یابی بکار گرفته شده است که در آن فاصله متوسط مسیرهای عمق‌سنجی ۳۷۰ متر است.

در حالت سوم ۱۷۹ نقطه کنترل در ۱۵ مسیر عمق یابی بکار گرفته شده است که در آن فاصله متوسط مسیرهای عمق‌سنجی ۶۰۰ متر است.

در حالت چهارم ۱۰۴ نقطه کنترل در هفت مسیر عمق‌یابی بکار گرفته شده است که در آن فاصله متوسط مسیرهای عمق‌سنجی ۱۴۰۰ متر است.

در حالت پنجم ۷۳ نقطه کنترل در سه مسیر عمق یابی بکار گرفته شده است که در آن فاصله متوسط مسیرهای عمق‌سنجی ۳۰۰۰ متر است.

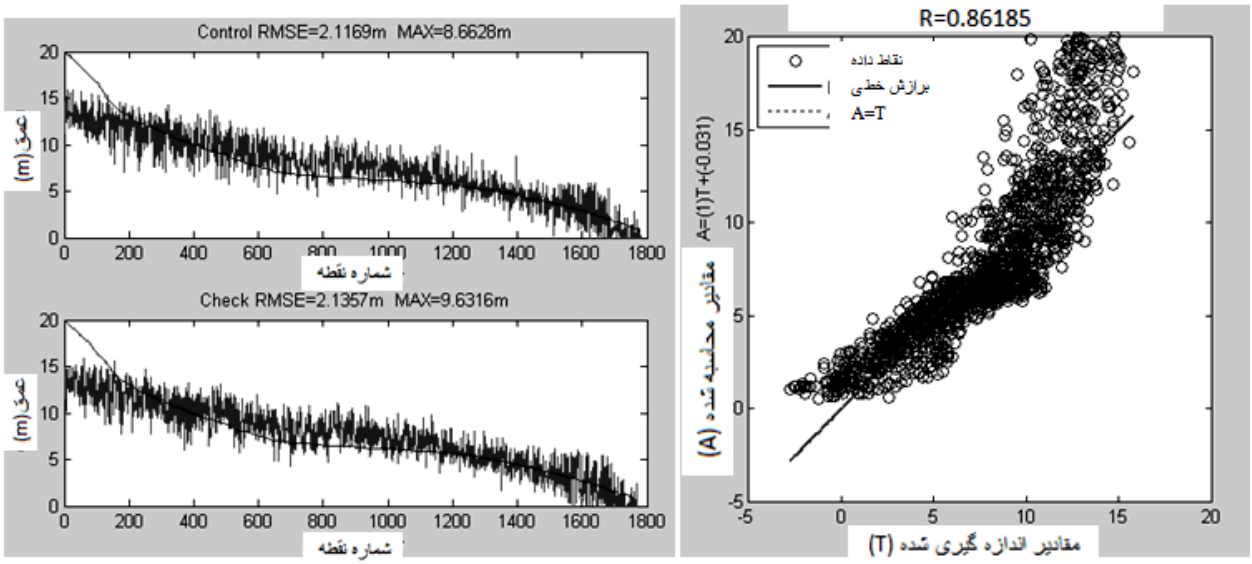
1 MaxError
2 MATE



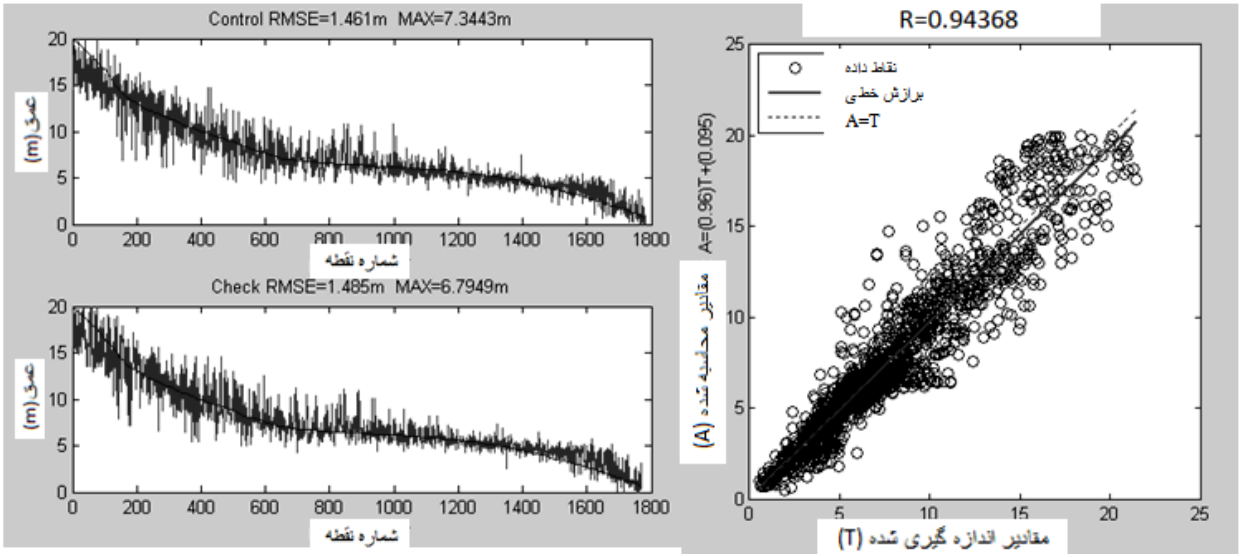
[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-07 ]
[ DOI: 10.29252/jgit.2.1.41 ]

در حالت ششم ۳۴ نقطـه کنتـرل در تنهـا یـک مسـیر عمق یابی بکار گرفته شده است.

جدول۲ نتایج آزمونهـا و شـکل ۱۰تعـداد و پراکنـدگی نقاط کنترل را نشان میدهد. همچنین شکل۱۱ تعداد و پراکندگی نقاط چک را نشان می‌دهد.




**شکل۵: نتایج روش Lyzenga روی داده‌های رادیانس**



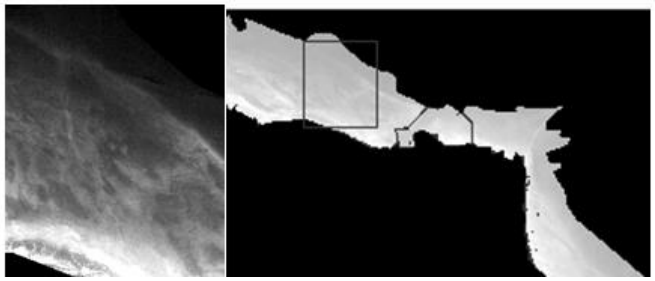

**شکل۶: نتایج اعمال روش ANN روی درجات روشنایی چهار باند**

**جدول۱: نتایج اعمال روش ANN و روش Lyzenga**

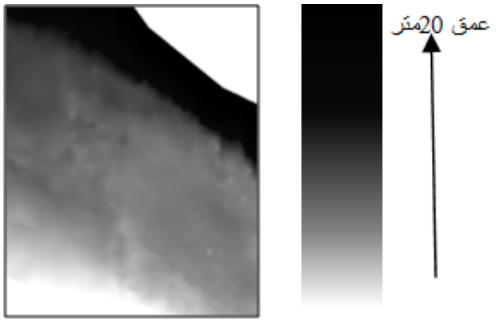
| روشهای عمق یابی سنجش از دور مورد آزمون | | | RMSE | حداکثر خطای قدرمطلق | مقدار ضریب همبستگی | متوسط قدرمطلق ده خطای حداکثر |
|---|---|---|---|---|---|---|
| روش Lyzenga | ۱ | روی مقادیر رادیانس | ۲.۱۴ | ۹.۶۳ | ۰.۸۶ | ۷.۵۹ |
| روش ANN | ۲ | روی مقادیر درجات خاکستری چهار باند | ۱.۴۸ | ۶.۷۹ | ۰.۹۴ | ۵.۵۳ |



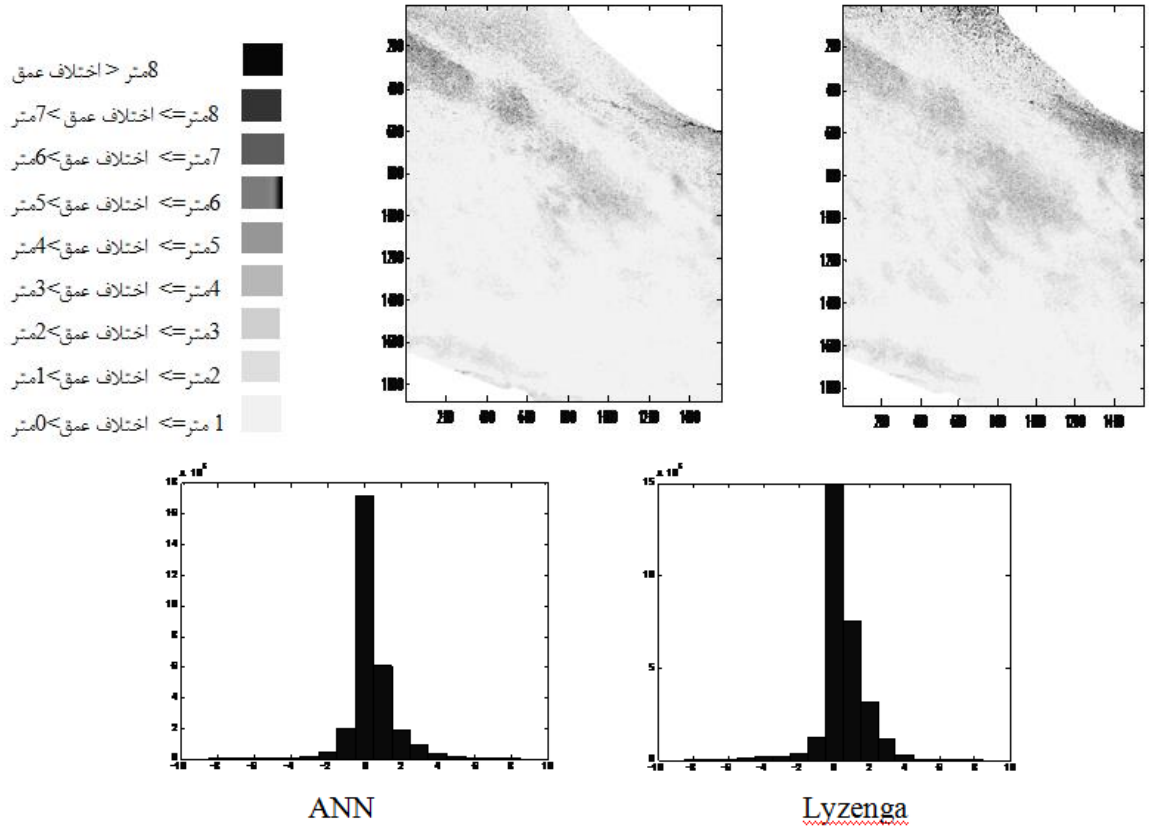
[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-07 ]
[ DOI: 10.29252/jgit.2.1.41 ]



شکل۷:نمایش ناحیه مورد بررسی
(۱۶۵۵ ستون در ۱۸۸۰ سطر)




شکل۸: نمایش DSM بدست آمده
از نقاط هیدروگرافی در ناحیه مورد بررسی




شکل ۹: نمایش توزیع مکانی و هیستوگرام خطاهای روشهای عمق یابی

جدول ۲: آزمونهای کاهش تدریجی مسیرهای عمق یابی هیدروگرافی (واحد به متر)

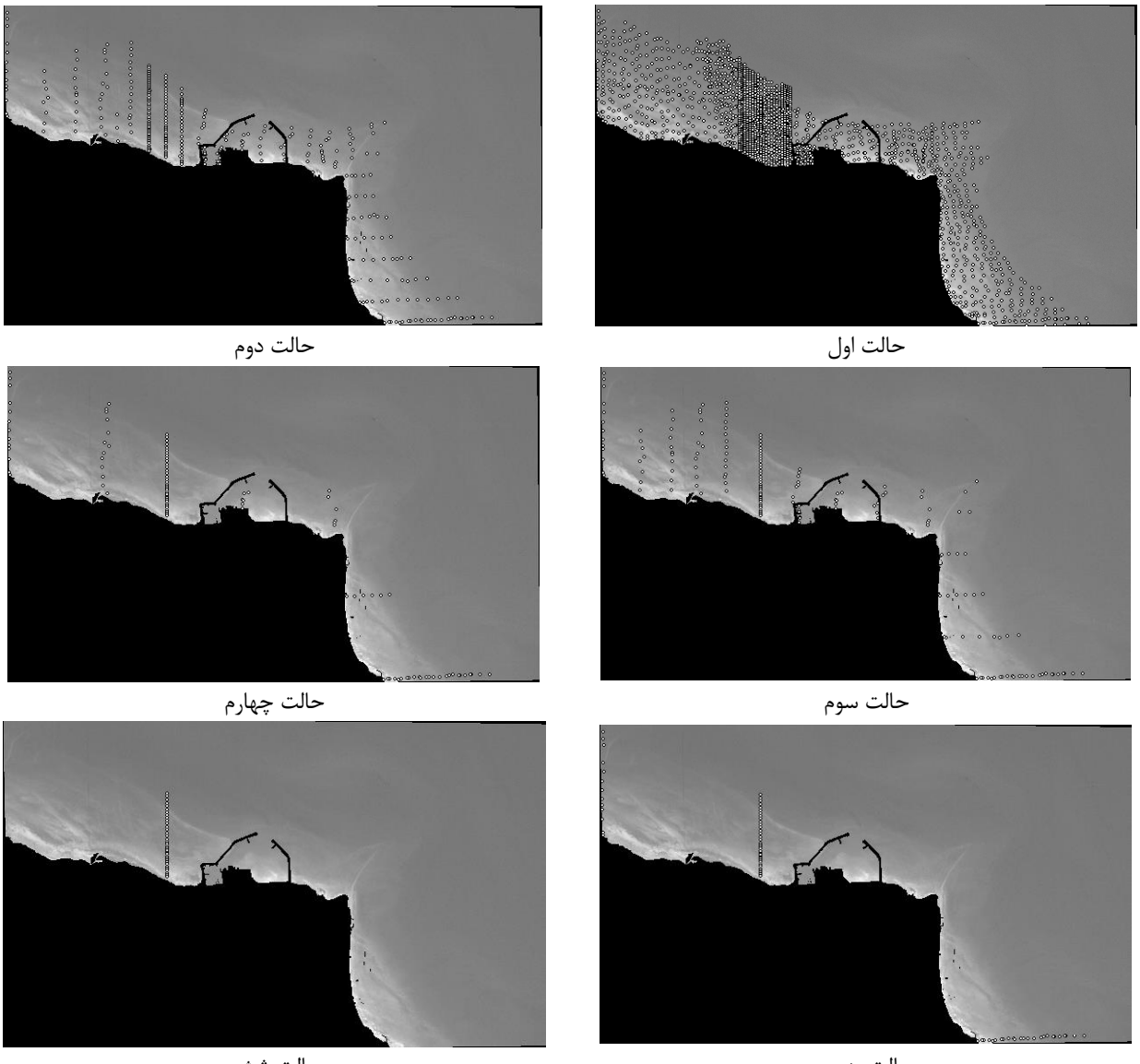
| روش تخمین عمق | حالت | RMSEch | حداکثر خطای قدرمطلق | R | متوسط قدرمطلق ده خطای حداکثر |
|---|---|---|---|---|---|
| روش عمق یابی بر مبنـای آموزش شبکه عصبی | اول | ۱.۴۷ | ۶.۳۲ | ۰.۹۴ | ۵.۴ |
| | دوم | ۱.۴۸ | ۶.۹۷ | ۰.۹۴ | ۵.۹۹ |
| | سوم | ۱.۴۹ | ۶.۴۶ | ۰.۹۴ | ۵.۶۵ |
| | چهارم | ۱.۴۹ | ۶.۵۵ | ۰.۹۳ | ۵.۷۴ |
| | پنجم | ۱.۶۵ | ۷.۷۹ | ۰.۹۴ | ۶.۸۳ |
| | ششم | ۱.۶۶ | ۵.۸۷ | ۰.۹۲ | ۵.۴۴ |



[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-07 ]
[ DOI: 10.29252/jgit.2.1.41 ]

## ۵- نتایج

روش Lyzenga با بکاربردن چندین طیف در محاسبات عمق، اثر تغییر جنس بستر را به حداقل می‌رساند اما بواسطه باقی‌ماندن بعضی خطاهای جوی و ستون آب در مقادیر ورودی خطای آن از روش ANN بیشتر است. همچنین این روش در ناحیه‌ای که دارای پوشش تیره و متراکم باشد و مقدار رادیانس آن از مقدار آب عمیق کمتر باشد جوابی نخواهد داشت. روش عمق‌سنجی مبتنی به ANN روشی کاملا عددی است و یک تابع نگاشت ضمنی را از درون داده‌های کنترل استخراج می‌کند، توانسته است مدل فیزیکی تضعیف نور در آب را بخوبی مدلسازی نماید و خود را به دقت روش‌های فیزیکی برساند این مساله توانایی روشهای عددی در هوش مصنوعی را نشان می‌دهد.

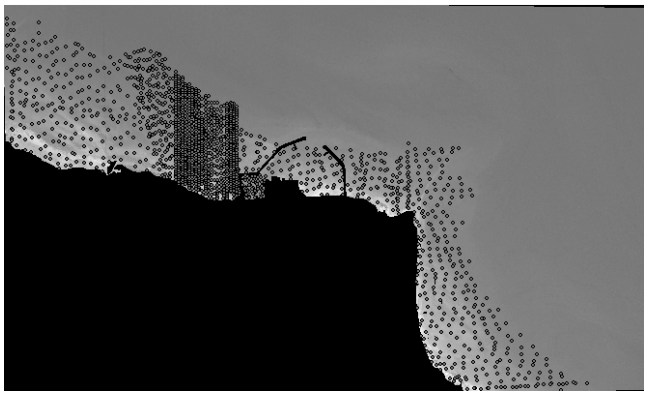



**شکل۱۰ : تعداد و پراکندگی نقاط کنترل با کاهش مسیرهای عمق‌یابی هیدروگرافی**

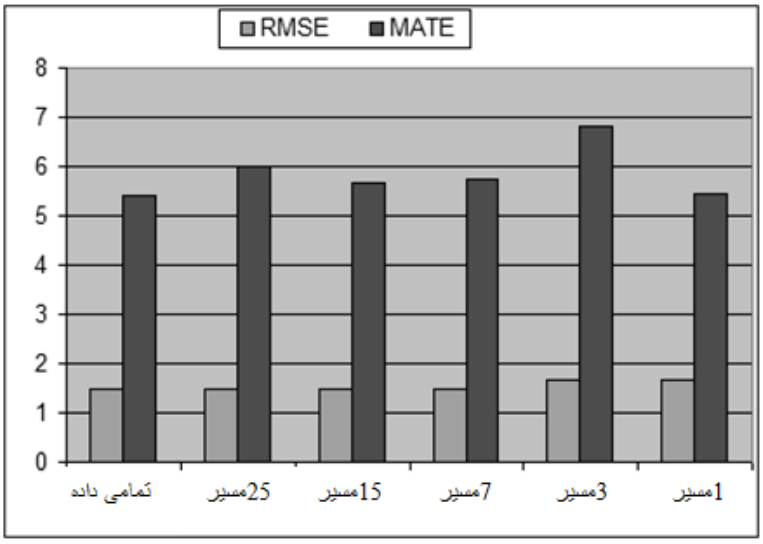


[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-07 ]

[ DOI: 10.29252/jgit.2.1.41 ]



شکل ۱۱: نمایش پراکندگی نقاط چک به تعداد ۱۷۶۹ نقطه




شکل۱۲: تاثیر تعداد مسیرهای عمق‌سنجی بر کیفیت نتیجه نهایی

اما بزرگترین ضعف این روش ناپایداری آن است و اینکه در هر بار تکرار آموزش شبکه امکان عدم همگرایی وجود دارد و حتی در صورت همگرایی، مقدار تابع مطلوبیت متفاوت بوده و عمق‌های محاسباتی مقادیر متفاوتی در هر تکرار هستند

با بررسی شکل ۱۲ که از جدول۲ بدست آمده است، این نتیجه مهم و جالب بدست آمد که نمی‌توان گفت افزایش تعداد مسیرهای عمق‌سنجی موجب افزایش دقت نتیجه نهایی می‌شود و بنابراین یک مسیر عمق‌سنجی برای جمع‌آوری نقاط کنترل کافی است. تنها نکته مهم این است که مسیر یا مسیرهای عمق‌سنجی بگونه‌ای طراحی شوند که اعماق مختلف آب را پوشش دهند که به معنی حرکت از ساحل به میانه دریا است.

با بررسی دقیقتر شکل مشاهده می‌شود که گاهی افزایش مسیرهای عمق‌سنجی حتی موجب کاهش جزئی دقت نتیجه نهایی می‌شود. یک علت این امر در ماهیت اتفاقی روش عمق‌سنجی بکار رفته در این آزمونها یعنی روش عمق‌سنجی مبتنی بر ANN است. علت مهم دیگر به نظر مولف وجود الگوی مکانی خطا در منطقه است که ناشی از تغییرات شرایط نوری آب و جنس بستر می‌تواند باشد. بکارگیری



[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-07 ]
[ DOI: 10.29252/jgit.2.1.41 ]

نقـاط کنتـرل در نـواحی خطـادار میتوانـد موجـب ورود خطاهـای بیشـتری بـه بـرآورد پارامترهـای مـدل عمق سنجی شود و دقت نتیجه نهایی را کاهش جزئـی دهد. اما آنچه قابل توجه است آن است که با بکارگیری از روش ساده آموزش شبکه عصـبی و اسـتفاده از تنهـا یک مسیر عمق یابی به دقت نسبتاً خوبی دسـت یـابیم که این امر می تواند برای مطالعات حوزه آبی و منـاطق پر خطر و وسیع مفید و موثر باشد.

## ۸- منابع

[1] Edwards, A.j., Crude bathymetric mapping using Landsat TM Satellite imagery . Application of satellite and airborne image data to coastal management.Thematic modules and lessons.http://www.noc.soton.ac.uk/bilko/ Access:12/1/2009

[2] Lyzenga, D. R.1978. Passive remote sensing techniques for mapping water depth and bottom features. Applied Optics. Vol. 17, No. 3

[3] Bukata, R.P., Jerome, J.H., Kondratyev, K.Y.and et al, 1995, Optical Properties and Remote Sensing of Inland and Coastal Waters. Florida, CRC Press, Boca Raton.

[4] Edwards, M,P.,A.Environment and development in coastal regions and in small islands. Coastal management sourcebooks 3. Part 2 The Acquisition, Correction and Calibration of Remotely Sensed Data.http://www.unesco.org/csi/pub/source/rs10.htm .Access:4/8/2008

[5] [Werdell, P. J., Roesler, C. S. 2003. Remote assessment of benthic substrate composition in shallow waters using multispectral reflectance. Limnol.Oceanogr., 48(1, part 2), 557–567

[6] Jerlov, N.G., 1951, Optical Studies of Ocean Water. Report of Swedish Deep-Sea Expeditions 3, 73–97.

[7] Bill, R., Jackson, T., Translator: Alborzi, M., Familiarity with neural networks. Sanati Sharif University Science publication Ins (Persian).

[8] Edwards, A.j.,1998, Crude bathymetric mapping using Landsat TM Satellite imagery. Application of satellite and airborne image data to coastal management. France: Unesco's workshops, 103-120

[9] Alpers, W., Campbell, G., Wensink, H., and et al.1997. Chapter 10. Underwater Topography. Graduate college of Marine studies, University of Delaware, Newark, DE, USA. 245-262

[10] Matlab Microsoft 2007.mathworks inc.

[11] Jupp, D.L.B., 1988, Background and extensions to depth of penetration (DOP) mapping in shallow coastal waters. In: Symposium on Remote Sensing of the Coastal Zone. Gold Coast, Queensland, IV.2.1-IV.2.19.

[12] Antoine, Q., 2005, Chapter 3 depth determination. Manual on Hydrography., International Hydrographic Bureau4. 119-198.

[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-07 ]

[ DOI: 10.29252/jgit.2.1.41 ]

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

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

# The Assessment of Required Hydrographic Data for Remote Sensing Bathymetry

Ebrahimi kia, M. *[1], Saadat Seresht, M. [2]

1-Ms.c of Photogrammetry in Department of Geomatics, College of Engineering, University of Tehran
2- Assistant professor in Department of Geomatics, College of Engineering, University of Tehran

**Abstract**

Today, depth mapping of coastal and waterfront areas is necessary for various aims such as shipping, dredging, underwater piping, hazardous area detection, hydrological studies, material mapping of water bed, information collection from marine settlements for environment preservation, military and engineering applications. Periodical depth mapping of wide water areas by classic hydrographic method (via ecosounder) is expensive and time consuming. Therefore, due to high capability of remote sensing in rapid data collection from wide area, it can be an effective and proper complementary method for this purpose. Attention to this issue is more important for our country which has long shorelines. At this paper two physical and mathematical bathymetric methods are evaluated. The first method is based on physical behaviour of light attenuation in water column while the second method is a numerical fitting between image gray levels and according water depths by means of artificial neural network (ANN). Our initial experiments show that although the first method has physical meaning but the second method is more accurate and simpler too. Both methods require a set of known hydrographic depthes as calibration data. Therefore, our next experiments try to answer two principal questions: how much can reduce the hydrographic filed operations in remote sensing bathymetry and how much is the accuracy of waterbed topography extracting from satelite images? The result of our experiments showes that introducing of only one hydrographic line perpendicular to coastline as calibration data to ANN method is able to produce satisfied result with depth accuracy RMSE 1.6m and correlation coefficient 92%.

**Key words:** Bathymetry, light attenuation physic, Satellite images.

Correspondence Address: Shariyati st, moalem st, National geographic organization(NGO), Tehran, Iran. Tel: +98 21 88400111
Tel: +98 21 61114256
Email: moj_ebrahimikia @yahoo.com

[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-07 ]

[ DOI: 10.29252/jgit.2.1.41 ]