کشف اهداف دریایی در تصاویر حرارتی نوفه‌ای با استفاده از یک الگوریتم بازشناسی ترکیبی

آذر محمودزاده

گروه مهندسی برق، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران

چکیده

سامانه‌های حمل و نقل دریایی بخش مهمی از ترابری جهانی را شامل می‌شوند. سامانه‌های نظارتی در صنایع دریانوردی و کشف اهداف دریایی از اهمیت به‌سزایی در کاربردهای نظامی و تجاری برخوردار است. افزایش روزافزون ترابری دریایی موجب علاقه پژوهش‌گران به توسعه روش‌های نظارتی هوشمند در زمینه ترابری دریایی شده است. به‌دلیل وجود کلاترها، مه و گرد و غبار در دریا، تصاویر حرارتی نسبت به تصاویر مرئی در این زمینه، از کارایی و دقت تشخیص بالاتری برخوردار هستند. در این مقاله، یک روش برای کشف اهداف دریایی در تصاویر نوفه‌ای حرارتی ارائه شده است. روش پیشنهادشده شامل دو مرحله آشکارسازی خط افق در تصویر و سپس کشف اهداف است. ابتدا خط افق با استفاده از روش بیشینه‌گیری از تصویر گرادیان و برازش خط آشکار، سپس یک ناحیه مشخص برای جستجوی اهداف دریایی حول خط افق انتخاب می‌شود. محدودکردن ناحیه جستجو باعث افزایش سرعت روش پیشنهادی و کاهش هشدارهای کاذب می‌شود. در مرحله دوم، ناحیه انتخابی بلوک‌بندی می‌شود و از هر بلوک تعدادی ویژگی استخراج می‌شود. این ویژگی‌ها به چندین دسته‌بند متعارف داده و نتایج آنها به یک تصمیم‌ساز فازی نوع دوم بازه‌ای داده می‌شود تا با ترکیب این نتایج در مورد تعلق بلوک به ناحیه هدف یا پس‌زمینه تصمیم‌گیری نهایی را انجام دهد؛ درنهایت اهداف مورد نظر از تجمیع این بلوک‌ها و حذف موارد ناخواسته کشف می‌شوند. مقادیر شاخصه‌های ارزیابی دقت، صحت و فراخوان سیستم پیشنهادی روی پایگاه داده به‌ترتیب ۹۷٪/۵۹، ۹۶٪/۱۹ و ۹۷/۹۲٪ بوده که نسبت به سایر روش‌های مقایسه شده، مقادیر بالاتری را گزارش داده است. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که در روش پیشنهادی، خط افق با حجم محاسباتی کم و با دقت خوبی آشکار شده و درنهایت اهداف دریایی مورد نظر با دقت بالایی کشف می‌شوند.

واژگان کلیدی: کشف اهداف، آشکارسازی خط افق، استخراج ویژگی، دسته‌بند، سیستم استنتاج فازی.

Marine Target Detection in Noisy Infrared Images using a Hybrid Recognition Algorithm

Azar Mahmoodzadeh

Department of Electrical Engineering, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran.

Abstract

Maritime transportation system is a vital part of the world conveyance. The surveillance in maritime industry and detecting marine targets have a great impact on military and commercial applications. Daily increase in maritime zone encourages the researchers to develop intelligent surveillance approaches in the maritime transportation. The sensing methods generally include visual and infrared cameras, sensors, and radars. Cameras are widely used since they capture high resolution images than sensors and traditional radars. Also, applying complex pattern recognition techniques and decision-making processes to the camera images provides more accurate detection results. Due to the clutters, dust, and weather changes in the sea including the rainfall, snowfall, and heavy fog, the image quality taken by the visual cameras is drastically deteriorated. Also, detecting the sea targets -specially the small

* نویسندهٔ عهده‌دار مکاتبات

* Corresponding author

● تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۸/۵/۲۷ ● تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۲/۲۰ ● تاریخ انتشار: ۱۴۰۰/۱۰/۲۷ ● نوع مطالعه: پژوهشی

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.52547/jsdp.18.3.147]

ones- and similarly the sea-sky horizon line becomes more challenging. In such situations, the infrared images reveal higher performance and accuracy in comparison with visible images. The sea-sky horizon line detection of noisy infrared images in small target detection algorithms with high intensity and low SNR is of great importance in maritime surveillance. Determining the horizon line simplifies the target detection by restricting the search area for the targets in the image. This task decreases the computation time and mistakes in the detection.

This paper presents a method for detecting marine targets in noisy infrared images. The proposed method includes two steps of detecting the sea-sky horizon line and finding the targets. In the first step, the two-dimensional gradient of the image is computed, from which it is observed that the most variations are appeared at the edge points. With respect to this remark, the maximum of each column of the gradient image is found and the obtained values for all columns and corresponding rows' numbers are kept in a set, namely the maximum pixels set. Then, to find the sea-sky horizon line, on the first and the last 75 pixels in the mentioned set, a straight line is fitted along the image width. Afterwards, to search for the objects, a region of interest is selected around the detected line. Restricting the search region increases the speed of the proposed method and decreases the number of false alarms. In the second step, this region is partitioned into some separate blocks; from each, multiple features are extracted. These features are fed into multiple classifiers whose outputs are given to a decision-making algorithm based on the interval type-II fuzzy fusion system. This system decides to which class (target or background) that block belongs. Finally, the objects are found by integrating the target blocks and removing the unwanted ones.

To evaluate the proposed method, first an image dataset was generated using an infrared camera with medium wavelength in different situations. This was done due to no access to a complete infrared sea image bank. Sea infrared images were commonly corrupted by a combination of noises including the salt-and-pepper, Gaussian noise or electronic noises due to the detector of camera image supply. In order to attenuate these noises, a 3×3 median filter was applied to the raw image. Afterwards, to increase the image contrast, the histogram equalization method was performed. Finally, the proposed approach was run to find the marine targets in the enhanced image. The results demonstrated that the sea-sky horizon line was detected with low computational complexity and high accuracy while targets were also found with desirable detection rates.

Keywords: Targets detection, Sea-sky horizon line detection, Feature extraction, Classifier, fuzzy inference system.

۱- مقدمه

تصویربرداری حرارتی از دریا به‌صورت گسترده‌ای برای کاربردهای مختلف مانند کشف هدف، تصدیق هدف و دیده‌بانی مورد استفاده قرار می‌گیرد. ناشی از تغییرات مختلف جوی از جمله بارش باران، برف، گرد و غبار و مه به‌نسبه غلیظ، کیفیت تصویر ضبط شده به‌وسیلهٔ دوربین حرارتی به شدت افت کرده و تصویری با کیفیت پایین از خط افق استخراج می‌شود. در این شرایط استخراج اهداف دریایی و به‌خصوص اهداف کوچک و نیز خط افق موضوعی چالش برانگیز است.

خط افق از به‌هم‌پیوستن دریا و آسمان طی یک تغییر تدریجی به‌وجود می‌آید. برای یافتن این مختصات خط می‌توان از الگوریتم‌های تشخیص لبه استفاده کرد. در [1] از روش هموارسازی گرادیان L0 و تحلیل هیستوگرام دو حالته برای بهبود قوام و دقت تشخیص خط افق استفاده شد. در این روش، با هموارسازی گرادیان تصویر، نوفه کاهش یافت و سطح روشنایی تصویر اصلاح و سپس با استفاده از روش آستانه‌گذاری در هیستوگرام دو حالته، محدوده خط افق شناسایی شد و این خط به روش برازش خطی کشف شد. در [2] خط افق با استفاده از تفاضل تغییر شدت روشنایی در دامنه زمانی کشف شد و قایق‌های بدون سرنشین شناسایی شدند. در این روش با هدف کاهش تداخل در کشف ویژگی‌های لبه، پیچیدگی سطح خاکستری در تصاویر با پس‌زمینه‌های مختلف کاهش یافت. در [3] یک روش تشخیص خط افق بر اساس محاسبه گرادیان برتری[1] برای شرایط تداخل ابرها با خط افق، درخشش نور خورشید در سطح دریا و سایر پدیده‌های جوّی که منجر به کاهش عملکرد سامانه می‌شود، پیشنهاد شده است. در این روش ویژگی‌های استخراج شده برای تشخیص خط افق، تقویت شده و اثر عوامل مزاحم تضعیف شده است. در [4] یک روش برای آشکارسازی خط افق مبتنی بر ترکیب یک تکنیک تشخیص لبه و تبدیل هُوو[2] ارائه شده است. در این روش بر اساس تابع توزیع احتمال، صفحه تصویر به دو بخش دریا و آسمان قطعه‌بندی شده است.

قبل از شناسایی و کشف هدف، کاهش نوفه، حذف و ازبین‌بردن پس‌زمینه پیچیده دریا مانند مه، غبار و امواج

[1] Saliency-gradient method
[2] Hough transform

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-01]
[DOI: 10.52547/jsdp.18.3.147]

دریا و همچنین بهینه‌سازی ناحیه هدف بسیار مهم و ضروری است. در کل به‌منظور دست‌یابی به یک تصویر فیلترشده با ناحیه هدف مشخص و پس‌زمینه هموارشده برای کاربردهای مختلف مانند آشکارسازی شکل و هدف و تصدیق این مسأله، ضروری است که نواحی مهم مانند لبه‌ها، شکل‌ها، گوشه‌ها و سایر ویژگی‌های هدف در خلال روند حذف نوفه حفظ شوند. تاکنون روش‌های بسیاری برای حذف نوفه با حفظ لبه‌ها توسعه یافته‌اند که می‌توان به فیلتر مدیان [5] ، فیلتر دفیوژن آنیستروپیک [6]، فیلتر بیلاترال[7]، فیلتر کواهارا [8] و فیلتر شیفت میانگین تطبیقی [9] اشاره کرد؛ اما برخی نوفه‌ها دارای مشخصات متفاوتی هستند که طراحی یک الگوریتم حذف نوفه و کشف هدف برای تمام حالات بسیار دشوار است. در [10] یک الگوریتم تشخیص هدف بر اساس مدل توجه بصری ارائه شد. برای این هدف، از پیش‌پردازش تفاضلی گوسی برای بهبود شدت روشنایی و کنتراست اهداف در تصاویر دارای نور پس‌زمینه امواج بزرگ اقیانوس استفاده شد. همچنین، در این روش خصوصیات تصویر دریایی حرارتی در محیط دارای نور پس‌زمینه به خصوص در شرایط تابش آفتاب شدید مورد مطالعه قرار گرفت. در [11] یک روش تشخیص خط افق برای شناسایی اهداف دریایی بدون سرنشین بر اساس مدل‌های مخلوط گوسی و ویژگی‌های بافتی تصویر ارائه شد. در این روش ابتدا تصویر به بخش‌های آسمان، محدوده مخلوط میانی و آب دریا قطعه‌بندی، سپس یک مدل مخلوط گوسی برای توصیف توزیع آماری اهداف در سه بخش یادشده در تصویر استفاده شد. بای و همکاران [12] روش مورفولوژی تطبیقی برای رفع کلاتر جهت بهینه‌سازی و کشف هدف کوچک در تصویر مادون قرمز ارائه کردند. چِن و وانگ [13] یک الگوریتم سریع برای کشف اهداف با کنتراست پایین با استفاده از فیلتر موجک ارائه کردند. مزیت این روش، مقاوم‌بودن در برابر نوفه است. در [14] از تبدیل top-hat برای کشف هدف کوچک کم‌نور استفاده شده است. کانگ و همکاران [15] به آشکارسازی خودکار خط افق دریا-آسمان و اهداف کوچک در تصاویر حرارتی دریایی پرداخته‌اند. در این مقاله از تبدیل موجک برای کشف خودکار اهداف کوچک تحت پس‌زمینه دریا استفاده شده است. مکان خط افق در ابتدا توسط تجزیه موجک‌ها از تصویر اصلی، به‌دست می‌آید؛ سپس الگوریتم ترکیب انرژی موجک متقابل اصلاح‌شده برای استخراج اهداف مشخص‌شده به‌وسیلهٔ پنجره قرمز رنگ اعمال می‌شود.

در [16] روش MFMM[1] معرفی شد که سعی داشت عملیات کشف هدف را به مسأله اندازه‌گیری خصوصیات همبستگی و وابستگی منتقل کند. نکته مهم این روش انتخاب پنجره بهینه برای جستجوی هدف و انتقال به فضای جستجوی تصویر شده بود. روش NRAM[2] در [17] ارائه شد که بر اساس کمینه‌سازی تخمین رتبه غیر محدب به‌دنبال کشف اهداف است؛ اما این روش در شرایط نوفه‌ای و پیچیده عملکرد مناسبی ندارد. در [18] روش STLDM[3] ارائه شد که در آن یک معیار تفاضل محلی فضایی-زمانی برای کشف اهداف کوچک دریایی پیشنهاد شد. بزرگ‌ترین نقیصه این روش این است که به نقاط با شدت نور بالا حساس است؛ درنتیجه تعداد اعلان اشتباه این روش زیاد است.

با توجه به مطالب بیان‌شده، در این مقاله یک روش ساده و سریع برای آشکارسازی خط افق و ردیابی اهداف گوناگون پیشنهاد و پس از بهینه‌سازی تصویر، گرادیان دو بعدی تصویر محاسبه و استخراج می‌شود. تصویر گرادیان نشان می‌دهد که بیشترین تغییرات شدت روشنایی در لبه‌ها رخ می‌دهد. با توجه به این موضوع، از ستون‌های تصویر گرادیان بیشینه گرفته و مقدار و موقعیت سطر و ستون هر یک از مقادیر بیشینه ذخیره می‌شود؛ سپس با برازش یک خط به بیست نقطه ابتدایی و انتهایی ذخیره‌شده، خط افق تخمین زده می‌شود. آن‌گاه به‌کمک موقعیت خط افق، محدوده مناسب برای جستجوی اهداف دریایی در اطراف خط افق مشخص می‌شود؛ سپس محدوده جستجوی معین‌شده برای استخراج ویژگی بلوک‌بندی می‌شود. ویژگی‌های استخراج‌شده به چهار دسته‌بند[4] پایه نزدیک‌ترین همسایگی[5]، ماشین بردار پشتیبان کرنل تقاطعی هیستوگرام[6]، شبکه عصبی پرسپترون چندلایه[7] و روش شیفت میانگین تطبیقی[8] داده می‌شود تا بلوک‌ها را به دو دسته هدف و پس‌زمینه دسته‌بندی کند. با هدف دست‌یابی به دقت دسته‌بندی بالاتر، خروجی‌های این چهار دسته‌بند به یک سامانه استنتاج فازی نوع دوم بازه‌ای داده می‌شود تا در مورد دسته‌ای که بلوک به آن تعلق دارد تصمیم‌گیری نماید. استفاده از سامانه فازی نوع دوم قوام سامانه تصمیم‌گیری در برابر نوفه‌ها و عوامل مزاحم را افزایش می‌دهد.

[1] Multiscale Fuzzy Metric Model
[2] Non-convex Rank Approximation Minimization
[3] Spatial–Temporal Local Difference Measure
[4] Classifier
[5] K-Nearest Neighbors (KNN)
[6] Histogram Intersection Kernel SVM (HIK-SVM)
[7] Multilayer Perceptron (MLP)
[8] Adaptive Mean Shift Method (AMS)

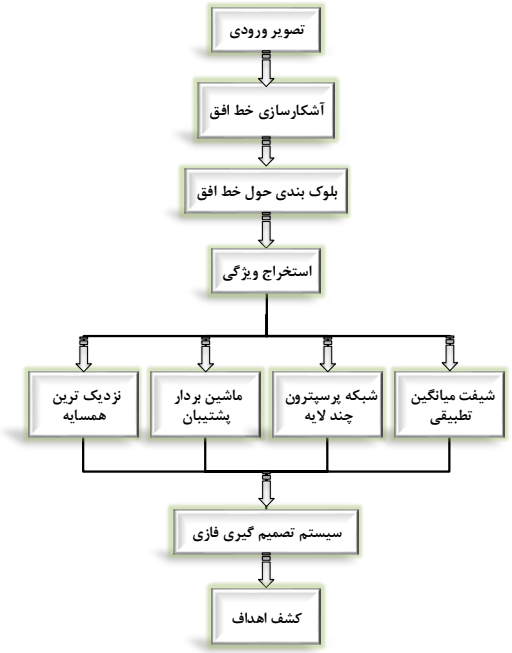
[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-01]
[DOI: 10.52547/jsdp.18.3.147]

همچنین بهره‌گیری از نوع بازه‌ای، ساده‌تر، سریع‌تر و دارای پیچیدگی تحلیلی و محاسباتی کمتر نسبت به سامانه فازی نوع عمومی است. درنهایت، برای کشف صحیح اهداف دریایی عملگرهای شکل‌شناسی بازکردن و بستن اعمال می‌شود و به‌کمک آنها، اشیای بسیار کوچک حذف می‌شوند و انفصال‌های کوچک نیز اصلاح می‌شوند. در مجموع، استخراج خط افق و محدودکردن منطقه جستجو به یک ناحیه اطراف این خط سبب افزایش سرعت کشف هدف می‌شود. همچنین، استخراج ویژگی‌های مؤثر و بهره‌گیری از دسته‌بندهای قدرتمند نتایج خوبی را به‌دست می‌دهد. درنهایت، ترکیب تصمیمات دسته‌بندها به‌کمک سامانه فازی نوع دو، منجر به افزایش دقت کشف اهداف به‌خصوص در شرایط وجود عوامل مزاحم مانند نویز و کلاتر می‌شود.

سازمان این مقاله به ترتیبی است که در بخش دوم به بررسی مراحل مختلف الگوریتم پیشنهادی می‌پردازیم. در بخش سوم نتایج شبیه‌سازی و مقایسه‌های کمی و کیفی ارائه می‌شود؛ درنهایت، در بخش چهارم، جمع‌بندی و نتیجه‌گیری ارائه شده است.

۲-الگوریتم پیشنهادی

در شکل (۱) نمودار جعبه‌ای روش پیشنهادی نمایش داده شده است. در ادامه به معرفی مراحل اصلی الگوریتم پیشنهادی می‌پردازیم.



(شکل-۱): نمودار جعبه‌ای الگوریتم پیشنهادی کشف اهداف

(Figure-1): The block diagram of the proposed algorithm for detecting the targets.

۲-۱- پیش‌پردازش

ابتدا به‌دلیل نوفه‌ای‌بودن و کیفیت پایین تصویر ورودی، در دو مرحله هموارسازی تصویر و حذف نوفه انجام می‌شود. برای یک‌نواخت‌کردن سطح دریا و نیز حذف نوفه‌های نمک و فلفل حاصل از دوربین حرارتی و نوفه‌های الکترونیکی، یک فیلتر میانه بر روی تصویر اعمال می‌شود [2]. سپس برای افزایش کنتراست تصویر، روش تعدیل هیستوگرام اعمال می‌گردد. در ادامه با عبور دادن تصویر از یک فیلتر گوسی، یک تصویر هموارتر به‌دست می‌آید. برای یافتن تصویر گرادیان، از تصویر هموارشده به‌وسیلهٔ فیلتر گوسی مشتق مرتبه اول در جهت x و y گرفته و درنهایت تصویر بهبودیافته برای آشکارسازی خط افق وارد مرحله بعدی می‌شود.

۲-۲- آشکارسازی خط افق با استفاده از روش بیشینه‌گیری از تصویر گرادیان

در این قسمت، ابتدا با استفاده از یک فیلتر گوسی، تصویر هموارتر می‌شود. انحراف معیار این فیلتر با توجه به نوع تصاویر به‌طور تجربی مقدار چهار انتخاب شده است. از آنجا که در تصاویر، لبه‌های اصلی بیشتر مورد توجه است و از قسمت‌های جزئی چشم‌پوشی می‌شود، مقدار بزرگ این پارامتر قابل توجیه است. هر چه خط افق در تصاویر واضح‌تر باشد، این پارامتر می‌تواند بزرگتر انتخاب شود تا لبه‌های ایجادشده در اثر تغییرات دریا و آسمان حذف شود. با اعمال مشتق دوبعدی مرتبه اول در جهت‌های x و y، گرادیان تصویر به‌دست می‌آید. همان‌گونه که توضیح داده شد این روش اثر نوفه را کاهش می‌دهد.

در تصویر گرادیان بیشترین تغییرات در خط افق و لبه‌های زیر اهداف است. بنابراین می‌توان با محاسبه بیشینه هر ستون از تصویر گرادیان، بردار مقدار بیشینه ستون‌ها و موقعیت پیکسل بیشینه را محاسبه کرد. سپس یک خط بین بیست پیکسل ابتدایی و بیست پیکسل انتهایی در مجموعه پیکسل‌های بیشینه در راستای عرض تصویر برازش می‌شود. خط به‌دست‌آمده، خط افق مورد نظر است.

۲-۳- بلوک‌بندی حول خط افق

در این مقاله خط افق به‌عنوان خط مبنا قرار می‌گیرد و یک کانال موازی و به مرکزیت این خط به شکل یک متوازی الاضلاع طویل برای ناحیه جستجوی اهداف

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.52547/jsdp.18.3.147]

انتخاب می‌شود. براساس تصاویر مختلف پایگاه داده، ارتفاع این کانال ۱۵۰ پیکسل (۷۵ پیکسل بالا و ۷۵ پیکسل پایین خط افق) در نظر گرفته می‌شود.

پس از اینکه نقاط نامزد ابتدا و انتهای خط افق مشخص شد، می‌توان به‌کمک شماره سطر پیکسل ابتدای خط افق، ناحیه جستجو برای هدف را مشخص نمود و با یافتن این محدوده می‌توان حجم محاسبات اضافی را کم کرد. به‌طورمعمول قسمتی از آسمان و دریا از تصویر اصلی حذف می‌شوند.

۲-۴- استخراج ویژگی

در این مرحله با توجه به استخراج خط افق و محدوده جستجو ویژگی‌هایی که شامل اطلاعات مفید از اهداف دریایی هستند، از تصویر استخراج می‌شود. تصاویر اهداف دریایی حرارتی همراه با پس‌زمینه دریا و آسمان هستند. در ابتدا محدوده جستجو در تصویر ورودی به تعداد $m\times n$ بلوک با ابعاد $s\times s$، بدون اینکه بلوک‌ها هم‌پوشانی داشته باشند، تقسیم می‌شود.

$$\begin{bmatrix} B_{1,1} & B_{1,2} & \cdots & B_{1,n} \\ B_{2,1} & B_{2,2} & \cdots & B_{2,n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ B_{m,1} & B_{m,2} & \cdots & B_{m,n} \end{bmatrix} \quad (۱)$$

در ادامه ویژگی‌های محاسبه‌شده برای هر بلوک معرفی می‌شود [19-21,9].

• **اختلاف میانگین:** برای هر بلوک $B_{i,j}$، میانگین شدت روشنایی $M_{i,j}$ محاسبه می‌شود؛ سپس اختلاف میانگین هر بلوک با بلوک سمت راست و زیرین محاسبه شده و مینیمم اختلاف طبق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$mdf\ (B_{i,j})= \min\left\{\left(M_{i,j}-M_{i,j+1}\right),\left(M_{i,j}-M_{i+1,j}\right)\right\} \quad (۲)$$

• **انحراف معیار:** انحراف معیار سطح روشنایی برای بلوک مورد نظر مطابق رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$S_{i,j}=\sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{N}\left(I(k)-M_{i,j}\right)^2}{N}} \quad (۳)$$

که در این رابطه $I(k)$ شدت روشنایی پیکسل kام در بلوک $B_{i,j}$ و $N = s^2$ تعداد پیکسل‌های بلوک است.

• **اختلاف انحراف معیار:** در این ویژگی اختلاف انحراف معیار هر بلوک با بلوک سمت راست و زیرین محاسبه و بیشینه اختلاف طبق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$sdf\ (B_{i,j})= \max\left\{\left(S_{i,j}-S_{i,j+1}\right),\left(S_{i,j}-S_{i+1,j}\right)\right\} \quad (۴)$$

• **نسبت اکثریت مرتب**[1]: سطح روشنایی اهداف به‌طورمعمول از کلاترها بالاتر است و درنتیجه هدف، یک نقطه داغ در یک پس‌زمینه سرد به‌شمار می‌آیند؛ بنابراین در هر بلوک، نسبت روشنایی تعداد K پیکسل درخشان‌تر به روشنایی کل یکی دیگر از ویژگی‌های مفید برای کشف اهداف دریایی به‌شمار می‌رود که به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$I' = sort\{I\} \quad s.t. \quad I'(j)\geq I'(j+1) \quad j=1,2,\cdots,N-1 \quad (۵)$$

$$\eta=\sum_{j=1}^{K} I'(j)\Big/\sum_{j=1}^{N} I'(j) \quad (۶)$$

• **گشتاور مرکزی مرتبه دوم:** در این ویژگی ابتدا مشخصات مرکز ثقل بلوک طبق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\bar{i}=\frac{\sum_{i=1}^{s}\sum_{j=1}^{s} i.I(i,j)}{\sum_{i=1}^{s}\sum_{j=1}^{s} I(i,j)},\ \bar{j}=\frac{\sum_{i=1}^{s}\sum_{j=1}^{s} j.I(i,j)}{\sum_{i=1}^{s}\sum_{j=1}^{s} I(i,j)} \quad (۷)$$

سپس گشتاور مرکزی مرتبه دوم به‌صورت زیر معین می‌شود:

$$\mu_2=\sum_{i=1}^{s}\sum_{j=1}^{s}(i-\bar{i}).(j-\bar{j}).I(i,j) \quad (۸)$$

• **مساحت:** در این ویژگی با توجه به تصویر خاکستری بلوک، یک تصویر باینری R با استفاده از روش اُوتسو به‌دست می‌آید. در این روش با هدف به کمینه‌رساندن واریانس درون‌دسته‌ای، یک حد آستانه انتخاب می‌شود. ویژگی مساحت با توجه به رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$a=\sum_{i=1}^{N} R(i) \quad (۹)$$

• **نسبت اندازه:** در این ویژگی نسبت طول هدف به عرض هدف مطابق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$S_{ratio}=l_H/l_w \quad (۱۰)$$

[1] Ranked-fill-ratio

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.52547/jsdp.18.3.147]

• **تغییرات اندازه چرخش:** در این ویژگی ابتدا با استفاده از روش اوتسو منطقه هدف استخراج می‌شود؛ سپس با چرخاندن منطقه هدف به‌اندازه زاویه θ رادیان برای $\theta = 0:\phi:\pi-\phi$ با پرش $\phi = \pi/n$، عرض ناحیه هدف ($L(\theta)$) محاسبه، سپس میانگین عرض ناحیه پرش به‌صورت $\mu_L = \sum_{i=0}^{n-1} L(i\phi)/n$ محاسبه و درنهایت ویژگی اندازه چرخشی با توجه به رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\sigma_L = \sqrt{\sum_{i=0}^{n-1} (L(i\phi) - \mu_L)^2 / n} \qquad (۱۱)$$

• **انرژی فرکانسی:** با گرفتن تبدیل فوریه سریع از ویژگی اندازه چرخش و با توجه به رابطه زیر این ویژگی محاسبه می‌شود:

$$M(k) = FFT\left(L(\theta) - \mu_L\right),$$
$$f_{Energy} = \sum_{k=1}^{m} |M(k)|^2 / m \qquad (۱۲)$$

۲-۵- دسته‌بندی

دسته‌بندی فرآیند اختصاص یک دسته به یک نمونه آزمایشی با استفاده از مجموعه‌ای از داده‌های آموزشی است که به‌صورت صحیح برچسب‌گذاری شده است. در این مرحله با استفاده از ویژگی‌های استخراج‌شده و با به‌کارگیری چهار دسته‌بند پایه نزدیک‌ترین همسایگی، ماشین بردار پشتیبان کرنل تقاطعی هیستوگرام، شبکه عصبی پرسپترون چندلایه و روش شیفت میانگین تطبیقی، بلوک‌ها به دو دسته هدف و پس‌زمینه دسته‌بندی می‌شود. مهم‌ترین دلیل برای انتخاب این دسته‌بندها، کارایی بالا و سادگی در مسائل دسته‌بندی است؛ علاوه‌براین، روش دسته‌بندی نزدیک‌ترین همسایه برای جستجو در فضاهای پیچیده مناسب است؛ درحالی‌که شبکه عصبی و ماشین بردار پشتیبان در ترکیب دسته‌بندها تنوع ایجاد می‌کنند. همچنین روش شیفت میانگین تطبیقی یک روش قدرتمند برای کاربردهای کشف هدف است. گفتنی است که در فازهای آموزش و آزمایش، این مدل‌ها بردارهای ویژگی متناظر هر بلوک را دریافت می‌کنند و برچسب دسته را باز می‌گرداند. در ادامه، چهار مدل دسته‌بندی بیان شده است. سه مدل نخست از همه نه ویژگی یادشده در بخش ۲-۴ استفاده می‌کنند؛ درحالی‌که مدل شیفت میانگین تطبیقی فقط از یک ویژگی مخصوص به خود استفاده می‌کند.

• روش دسته‌بندی نزدیک‌ترین همسایه

یکی از ساده‌ترین روش‌های دسته‌بندی غیرپارامتری، روش دسته‌بندی نزدیک‌ترین همسایه است. در فاز آموزش داده‌های دارای برچسب به سامانه داده می‌شود؛ سپس در فاز آزمایش یک نقطه به دسته‌بند داده می‌شود که برای آن روش نزدیک‌ترین همسایه، تعداد k نزدیک‌ترین نقاط دارای برچسب را بر اساس فاصله اقلیدسی پیدا می‌کند. درنهایت برچسب دسته با توجه به اکثریت اعضا در نزدیک‌ترین k همسایه آن داده مورد سؤال انتخاب می‌شود [22].

• دسته‌بند HIK-SVM

یک مشخصه مهم ماشین‌های بردار پشتیبان، قابلیت آنها برای تعمیم به مسأله‌هایی است که بُعد فضای ویژگی بالا است. دومین دسته‌بند این مقاله، ماشین بردار پشتیبانی است که از کرنل تقاطعی هیستوگرام استفاده می‌کند. تقاطع هیستوگرام یک روش مناسب به‌خصوص در کاربردهای بازشناسی است که اندازه اشیا تغییر می‌کند. این روش، درجه شباهت بین دو هیستوگرام سطح خاکستری را اندازه‌گیری می‌کند. فرض کنیم $\boldsymbol{x},\boldsymbol{y}$ دو هیستوگرام سطح خاکستری هستند که تعداد خوشه‌های آنها برابر است (تعداد m خوشه) و همچنین دارای تعداد برابری از اعضا است. خوشه i_ام از هیستوگرام‌ها را با x_i, y_i نشان می‌دهیم. کرنل تقاطعی هیستوگرام به‌صورت زیر معرفی می‌شود [23]:

$$\kappa_{HIK}(\boldsymbol{x},\boldsymbol{y}) = \sum_{i=1}^{m} \min(x_i, y_i) \qquad (۱۳)$$

• دسته‌بندی شبکه عصبی

شبکه‌های عصبی مصنوعی به‌صورت گسترده در کاربردهای یادگیری ماشین به کار گرفته شده‌اند. یک شبکه پرسپترون چندلایه یک نمونه مشهور از شبکه‌های عصبی مصنوعی است. این شبکه شامل یک لایه ورودی برای دریافت داده (در اینجا بردار ویژگی)، یک لایه خروجی برای تصمیم‌گیری (در اینجا برچسب‌گذاری دسته متناظر با داده) و یک یا چندلایه مخفی بین لایه‌های ابتدایی و انتهایی است. به‌کمک روش پس‌انتشار خطا وزن‌های نورون‌ها به‌نحوی تنظیم می‌شود که خروجی شبکه نزدیک به خروجی مطلوب باشد [24].

• روش شیفت میانگین تطبیقی

ابتدا برای برجسته‌کردن مناطق با اختلاف بالاتر در مقایسه با همسایگی‌های آن، دو مقدار اختلاف به‌دست‌آمده در

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-01]
[DOI: 10.52547/jsdp.18.3.147]

روابط (۲) و (۴) در رابطه زیر قرار داده می‌شود [25-26,9]:

$$I_c(B_{i,j}) = \sqrt{\left(mdf\ (B_{i,j})\right)^2 + \left(sdf\ (B_{i,j})\right)^2} \qquad (۱۴)$$

برای بهبود ساختار تشخیص اهداف دریایی، یک روش تفریق میانگین ستون بر روی تصویر ورودی I و تصویر I_c طبق روابط زیر اعمال می‌شود:

$$\boldsymbol{R}_m(i) = \begin{cases} \boldsymbol{R}_i - R_i^m, & if\ I(i,j) > R_i^m \\ 0 & otherwise \end{cases} \qquad (۱۵)$$

$$\boldsymbol{R}_{cm}(i) = \begin{cases} \boldsymbol{R}_i^c - R_i^{cm}, & if\ I_c(i,j) > R_i^{cm} \\ 0 & otherwise \end{cases} \qquad (۱۶)$$

که در آن $\boldsymbol{R}_i$ بردار مقادیر پیکسل سطر i تصویر I، $I(i,j)$ مقدار پیکسل در موقعیت (i,j) و R_i^m مقدار میانگین بردار $\boldsymbol{R}_i$ است؛ همچنین $\boldsymbol{R}_i^c$ بردار مقادیر پیکسل سطر i تصویر I_c و R_i^{cm} مقدار میانگین $\boldsymbol{R}_i^c$ است. با درنظرگرفتن همه $\boldsymbol{R}_m(i)$ برای همه سطرها یک ماتریس به‌صورت زیر ایجاد می‌شود:

$$R_m = \left[\boldsymbol{R}_m(1); \boldsymbol{R}_m(2); \boldsymbol{R}_m(s)\right]_{s\times s} \qquad (۱۷)$$

ماتریس R_{cm} نیز به روش مشابه R_m ساخته می‌شود. ماتریس حاصل‌جمع ماتریس‌های R_m و R_{cm} بعد از اعمال تبدیل لگاریتمی تشکیل و ماتریس Sal نامیده می‌شود:

$$Sal(i,j) = R_m(i,j) + \log R_{cm}(i,j) \qquad (۱۸)$$

آنگاه برای آشکارسازی و برجسته‌کردن ناحیه هدف یک روش آستانه گذاری برای استخراج تصویر باینری به‌صورت زیر در نظر گرفته می‌شود:

$$M_{Sal}(i,j) = \begin{cases} 1, & if\ \left[Sal(i,j) - T_s\right] \geq 0 \\ 0, & otherwise \end{cases} \qquad (۱۹)$$

که در این رابطه T_s به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$T_s = \mu_s + \gamma \sigma_s \qquad (۲۰)$$

در (۲۰)، μ_s میانگین و σ_s انحراف معیار استاندارد تصویر Sal بوده و γ نیز یک پارامتر کنترلی است.

۲-۶- دسته‌بندی بلوک‌ها با استفاده از سامانه استنتاج فازی

منطق فازی نوعی از منطق چندمقداره برای توصیف درستی نسبی متغیرها است. یک سامانه منطق فازی از تئوری مجموعه‌های فازی و ساختار استنتاجی آن برای نگاشت ورودی‌ها به خروجی‌ها استفاده می‌کند. در این سامانه متغیرهای ورودی و خروجی بر اساس تعلق نسبی فازی در نظر گرفته می‌شوند. مجموعه‌ها و سامانه‌های فازی نوع دوم درحقیقت سامانه‌های فازی نوع اول را به‌نحوی تعمیم داده‌اند که بتوانند در مواجهه با عدم قطعیت بیشتر، کارایی مناسب‌تری داشته باشند؛ درواقع، مهم‌ترین ضعف توابع تعلق نوع یک، عدم وجود قطعیت در این توابع است که جنبه فازی‌بودن را کاهش می‌دهد. یک مجموعه فازی نوع دو به تابع تعلق اجازه می‌دهد که خود دارای عدم قطعیت باشد. این تابع تعلق در سامانه منطق فازی نوع دو بازه‌ای به‌صورت یک نمودار دوبعدی نشان داده می‌شود که به‌وسیله دو منحنی با نام‌های تابع تعلق پایین‌تر[1] و تابع تعلق بالاتر[2] محدود شده است (شکل ۲). در نتیجه میزان تعلق هر متغیر به یک تابع تعلق نوع دوم نَه یک مقدار معین، بلکه یک مقدار غیرقطعی در یک بازه مشخص است.

پس از تصمیم‌گیری به‌وسیلهٔ چهار دسته‌بند، برای دسته‌بندی نهایی هر بلوک از سامانه منطق فازی نوع دو بازه‌ای استفاده شده است. سامانه فازی ممدانی دارای چهار متغیر ورودی است. برای روش نزدیک‌ترین همسایگی، فاصله اقلیدسی بردار ویژگی بلوک تحت بررسی تا بردار ویژگی نزدیک‌ترین نقطه در دسته انتخاب شده، به‌عنوان متغیر منتقل شده به سامانه فازی مشخص شده است. برای HIK-SVM فاصله اقلیدسی بردار ویژگی بلوک تا آبرصفحه جداساز به‌عنوان متغیر انتخاب شده است. برای شبکه عصبی، خروجی تابع سیگموید نورون لایه خروجی که مقدار آن یک عدد حقیقی در بازه ۱- و ۱+ است به‌عنوان متغیر استفاده شده است. همچنین در روش شیفت میانگین تطبیقی، مقدار کمیت $\left[Sal - T_s\right]$ در (۱۹) به‌عنوان متغیر داده شده به سامانه فازی انتخاب شده است. برای فازی‌کردن از روش نوفه‌ای غیر ایستا استفاده شده است. در صورت انتخاب دسته هدف (دسته پس‌زمینه) توسط مدل دسته‌بندی، به مقدار متغیر متناظر آن علامت مثبت (منفی) داده می‌شود. برای هر متغیر، سه تابع تعلق تعریف شده است. شکل (۲) توابع تعلق در نظر گرفته‌شده برای این چهار متغیر را نشان می‌دهد. در هنگام انتخاب هر تابع تعلق سعی شده که گروه‌ها با هم، هم‌پوشانی داشته باشند و همچنین پارامترها با استفاده از چندین مرتبه آزمایش تنظیم شده‌اند؛ سپس، قوانین فازی ارتباط‌دهنده ورودی‌ها (متغیرهای متناظر خروجی چهار

[1] Lower Membership Function (LMF)
[2] Upper Membership Function (UMF)

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-01]
[DOI: 10.52547/jsdp.18.3.147]

دسته‌بند) به خروجی (تشخیص هدف از پس زمینه) طراحی می‌شود. فرم کلی قواعد فازی مورد استفاده در مقاله به‌صورت زیر است:

" **اگر** v_1 متعلق به $MF_{1,i}$ باشد و v_2 متعلق به $MF_{2,i}$ باشد و v_3 متعلق به $MF_{3,i}$ باشد و v_4 متعلق به $MF_{4,i}$ باشد؛ **آنگاه** o متعلق به دسته C_i است."

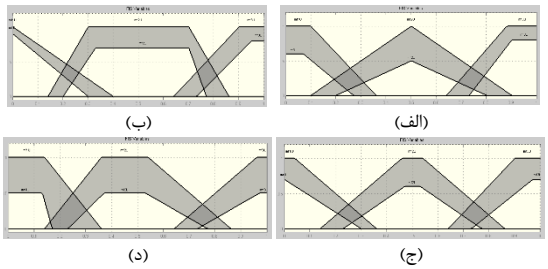
متغیر v_j نشان دهنده خروجی گرفته‌شده از دسته‌بند j-ام است که یک عدد حقیقی است. همچنین MF بیان‌گر یکی از توابع تعلق برای متغیر مربوطه است. متغیر o نشان‌گر متغیر خروجی سامانه فازی است که می‌تواند به دسته‌های "پس‌زمینه" و "هدف" تعلق داشته باشد. برای کاهش پیچیدگی و حجم محاسبات غیر-فازی‌سازی[1]، از روش فازی نوع دوم بازه‌ای مندل[2] استفاده شده است [27]. با توجه به تعداد متغیرهای ورودی و درنظرگرفتن سه تابع تعلق برای هر متغیر، تعداد قوانین در پایگاه قواعد فازی کامل برابر با 3^4=۸۱ است. از این تعداد، ۳۲ قانون به‌صورت مفید مورد استفاده قرار گرفته شده است و مابقی، به‌دلیل کاربردی‌نبودن در این مسأله، حذف شده‌اند.

۲-۷- انتخاب هدف

پس از دسته‌بندی هر بلوک به‌وسیلهٔ سامانه منطق فازی ممکن است در تصویر انفصال‌هایی بین اهداف ایجادشده باشد و یا اشیایی از فیلترهای مراحل قبل عبور کرده باشند. از معرفی این‌گونه موارد به‌عنوان هدف باید تا حد امکان جلوگیری شود. به همین دلیل در این مرحله با اعمال دو عمل‌گر شکل‌شناسی بازکردن و اتساع [28]، به‌ترتیب اشیای کوچک‌تر از عنصر ساختاری حذف می‌شوند و انفصال‌های کوچک‌تر از عنصر ساختاری نیز اصلاح می‌شوند؛ سپس براساس موقعیت مرکز و مساحت هر یک از اهداف، آن هدفی که کوچکترین مساحت را داشته باشد و در محدوده نوار جستجو قرار داشته باشد به‌عنوان هدف کوچک نهایی انتخاب می‌شود. در سناریوی انتخاب هدف با درنظرگرفتن شرط‌های مختلف می‌توان هدف‌های دیگری را نیز استخراج کرد.

۳- نتایج شبیه سازی

برای ارزیابی روش پیشنهادی، یک بانک تصویری از شرایط مختلف جوّی توسط یک دوربین حرارتی با طول موج متوسط تهیه شده است. این دوربین قابلیت نصب بر روی یک سرومکانیزم با دو درجه آزادی را دارد. حساسیت دمایی دوربین[3]، ۵۰ میلی کلوین[4] با نورشناسی f/1 و اندازه آرایه[5] نیز ۷۶۸×۱۰۲۴ است. همچنین قابلیت چرخش ۱۸۰± درجه در سمت و ۱۰± درجه در ارتفاع را دارد.



(شکل-۲): توابع تعلق فازی مرتبه دو برای خروجی چهار دسته‌بند. در هر شکل، نمودار بالا و پایین به‌ترتیب تابع تعلق بالاتر و پایین‌تر را نشان می‌دهند. الف) روش نزدیک‌ترین همسایگی، ب) HIK-SVM، ج) شبکه عصبی، د) روش شیفت میانگین تطبیقی.

(Figure-2): The type-II fuzzy membership functions for outputs of the four classifiers. In each sub-figure, the upper and lower curves show the UMF and LMF respectively. a) KNN, b) HIK-SVM, c) MLP, and d) AMS.

(جدول-۱): اطلاعات پایگاه داده تصاویر حرارتی تهیه‌شده

(Table-1): Detailed information of the gathered infrared images dataset

نوع تصویر	شرایط	داده آموزش	داده آزمایش	تعداد کل
تصاویر با خط افق	روز	۴۰۲	۱۷۲	۵۷۴
	شب	۲۷۲	۱۱۷	۳۸۹
	مه‌آلودگی	۳۲۰	۱۳۸	۴۵۸
تصاویر با اهداف	یک هدف	۴۷۰	۲۰۱	۶۷۱
	چند هدف	۵۹۴	۲۵۴	۸۴۸

این سامانه وظیفه دیده‌بانی دریایی را برعهده داشته و اهداف دریایی را در محدوده اطراف خود به شعاع ۱۵ کیلومتری رصد می‌کند. میدان دید دوربین حرارتی باریک و بزرگ‌نمایی آن بر روی بی‌نهایت است به‌صورتی که فقط اهداف اطراف خط افق نمایان است. این تصاویر در شرایط مختلف از دریا در شب و روز و مه‌آلودگی تهیه شد. اطلاعات پایگاه داده تصاویر در جدول (۱) ارائه شده است. همچنین از نسبت‌بندی ٪۷۰ تصاویر برای آموزش و ارزیابی و ٪۳۰ تصاویر برای آزمون سامانه استفاده شده است. تصاویر حرارتی دریایی به‌طورمعمول به‌وسیلهٔ نوفه‌های مختلف مانند نوفه ضربه‌ای، نوفه گوسی و نوفه‌های الکترونیکی ناشی از دتکتور منبع تغذیه دوربین تخریب شده است.

[1] Defuzzification
[2] Mendel

[3] Noise Equivalent Temperature Difference (NETD)
[4] mK
[5] Array Size

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-01]
[DOI: 10.52547/jsdp.18.3.147]

ابتدا یک مجموعه‌عملیات پیش‌پردازش به‌ترتیب شامل فیلتر میانه، تعدیل هیستوگرام، فیلتر گوسی و یافتن تصویر گرادیان برای یک‌نواخت‌کردن سطح دریا، حذف نوفه‌های نمک و فلفل و گوسی بر روی تصویر اعمال می‌شود. ابعاد پنجره فیلتر میانه ۳×۳ انتخاب شده و انحراف استاندارد فیلتر گوسی پنج در نظر گرفته شده است. مقادیر این پارامترها با توجه به نوع تصاویر به‌طور تجربی انتخاب شده است. نتیجه اعمال این عملیات پیش‌پردازش در شکل (۳) نشان داده شده است.

پس از عملیات بهسازی تصویر، برای آشکارسازی خط افق مقادیر بیشینه ستون‌های تصویر گرادیان مشخص می‌شود (شکل (۴-الف)). در شکل (۴-ب)، نمودار موقعیت مقادیر بیشینه هر ستون برحسب سطر و ستون تصویر گرادیان نمایش داده شده است. در شکل (۵) خط افق به‌دست‌آمده با استفاده از روش پیشنهادی نشان داده شده است. شکل (۶) محدوده به‌دست‌آمده برای جستجوی اهداف در بازه ۷۵ پیکسل بالا و پایین خط افق آشکارسازی‌شده را نمایش می‌دهد.

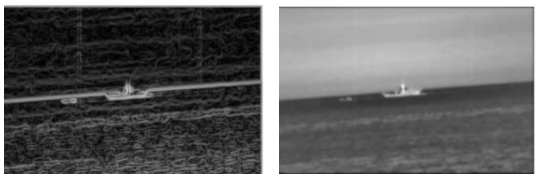
پس از مشخص‌کردن ناحیه جستجو، این ناحیه به بلوک‌های ۱۵×۱۵ تقسیم و از آنها ویژگی‌های بخش ۲-۴ استخراج می‌شود؛ آن‌گاه برای هر بلوک، این ویژگی‌ها به شیوه بخش ۲-۵ به چهار دسته‌بند داده می‌شود تا هر یک به‌صورت جداگانه تصمیم بگیرند که آن بلوک شامل هدف یا پس‌زمینه است. برای دسته‌بند نزدیک‌ترین همسایه پارامتر $k=3$ انتخاب شده است. برای هیستوگرام سطوح خاکستری در ماشین بردار پشتیبان، ده خوشه لحاظ شده است. همچنین، برای شبکه عصبی، بیست نورون در یک لایه مخفی در نظر گرفته شده است. در روش شیفت میانگین تطبیقی، پارامتر کنترلی γ برابر پنج انتخاب شده است. مبنای تنظیم این پارامترها روی مقادیر یادشده، دست‌یابی به نتایج کارایی مناسب برای سامانه پیشنهادی بوده است.



(الف)



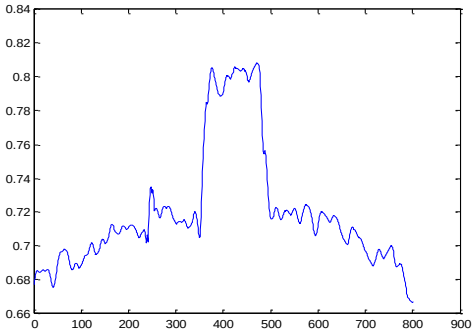
(ب) (ج)



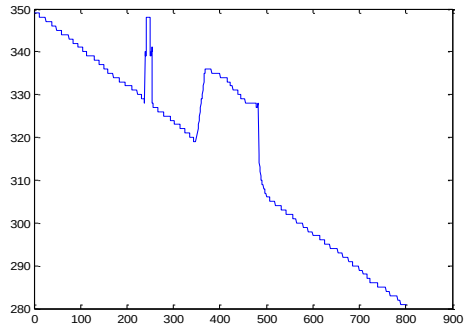
(د) (ه)

(شکل-۳): اعمال عملیات پیش‌پردازش. الف: تصویر اصلی. ب: اعمال فیلتر میانه. ج: اعمال روش تعدیل هیستوگرام. د: اعمال فیلتر گوسی. ه: گرادیان تصویر هموارشده در دو جهت افقی و عمودی

(Figure-3): Applying the pre-processing operations. (a) the original image, (b) the image filtered by a median, (c) applying the histogram equalization, (d) smoothing the image by applying a Gaussian filter, and (e) computing the gradient of the smoothed image in two directions (horizontal and vertical)



(الف)



(ب)

(شکل-۴): الف- نمودار تغییرات مقادیر بیشینه در هر ستون تصویر گرادیان. ب- نمودار موقعیت مقادیر بیشینه هر ستون برحسب سطر و ستون تصویر گرادیان. شماره‌گذاری سطرها از بالا به پایین و ستون‌ها از چپ به راست است.

(Figure-4): (a) the variation curve of maximums in each column of gradient image, and (b) the curve of position of maximum in each coloumn with respect to the rows and coloumns of the gradient image. Rows are numbered from top to bottom and the columns from left to right.



(شکل-۵): آشکارسازی خط افق با استفاده از روش بیشینه‌گیری از تصویر گرادیان

(Figure-5): The detection of sea-sky horizon line using the maximization of the gradient image

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.52547/jsdp.18.3.147]



(شکل-۶): ناحیه انتخاب شده برای جستجو از شکل (۵).

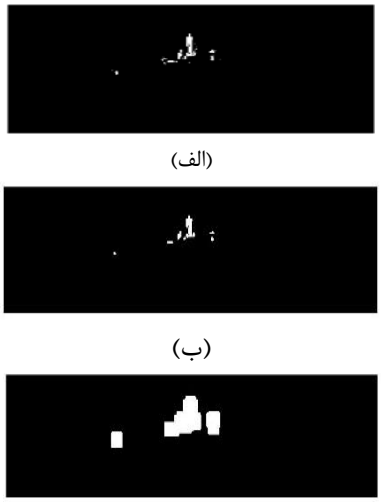
(Figure-6): The region selected for the search in Figure-5.

پس از مشخص‌کردن ناحیه جستجو، این ناحیه به بلوک‌های ۱۵×۱۵ تقسیم و از این بلوک‌ها ویژگی‌های ذکر شده در بخش ۲-۴ استخراج می‌شود. آن‌گاه برای هر بلوک، این ویژگی‌ها به شیوه بیان‌شده در بخش ۲-۵ به چهار دسته‌بند داده می‌شود تا هر یک به‌صورت جداگانه تصمیم بگیرند که آن بلوک شامل هدف یا پس‌زمینه است. برای دسته‌بند نزدیک‌ترین همسایه پارامتر $k=3$ انتخاب شده است. برای هیستوگرام سطوح خاکستری در ماشین بردار پشتیبان، ده خوشه لحاظ شده است. همچنین، برای شبکه عصبی، بیست نورون در یک لایه مخفی در نظر گرفته شده است. در روش شیفت میانگین تطبیقی، پارامتر کنترلی γ برابر پنج انتخاب شده است. مبنای تنظیم این پارامترها روی مقادیر یادشده، دست‌یابی به نتایج کارایی مناسب برای سامانه پیشنهادی بوده است.

گفتنی است این دسته‌بندها ابتدا بر روی مجموعه‌ای از بلوک‌ها با برچسب معین، آموزش داده می‌شوند و سپس دقت آنها بر روی بلوک‌های آزمایشی ارزیابی می‌شود. آن‌گاه خروجی‌های مشخص‌شده از این دسته‌بندها در بخش ۶-۲، به سامانه استنتاج فازی نهایی داده می‌شود تا با ترکیب اطلاعات همه دسته‌بندها، به دقت دسته‌بندی بالاتری دست یابد. برای طراحی قوانین فازی نیز از داده‌های آموزشی استفاده شده است. در ادامه، با به‌کارگیری دو عملگر شکل‌شناسی بازکردن و اتساع[1]، به‌ترتیب اشیای بسیار کوچک حذف و انفصال‌های کوچک به اشیای بزرگتر متصل می‌شوند.

در شکل (۷) نتایج اعمال این عملگرها نشان داده شده است؛ درنهایت، اهداف برچسب‌گذاری‌شده و مساحت هر یک محاسبه شده و اهداف نهایی انتخاب می‌شوند (شکل ۸). نتایج اعمال روش پیشنهادی بر روی تصاویر در شرایط مختلف شب، روز و مه‌آلودگی در شکل (۹) نشان داده شده است.

[1] Dilation



(الف)

(ب)

(ج)

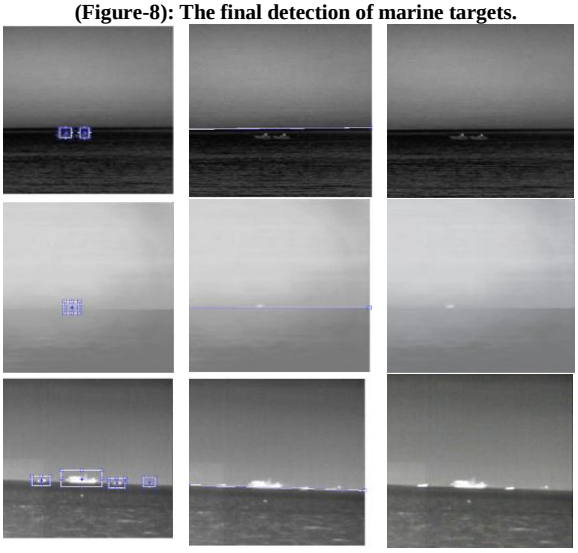
(شکل-۷): الف- خروجی سامانه استنتاج فازی برای تصویر شکل (۶). ب- تأثیر عملگر بازکردن. ج- تأثیر عملگر بستن

(Figure-7): (a) the output of the FIS for image in Figure-6, (b) the effect of opening operation, and (c) the effect of closing operation.



(شکل-۸): کشف نهایی اهداف دریایی

(Figure-8): The final detection of marine targets.



(ج) (ب) (الف)

(شکل-۹): اعمال الگوریتم ارائه‌شده بر روی تصاویر مختلف الف: تصاویر اصلی. ب: آشکارسازی خط افق در تصاویر اصلی ج: کشف اهداف در تصاویر اصلی. از بالا به پایین به‌ترتیب برای شب، مه‌آلودگی و روز

(Figure-9): Applying the proposed algorithm on different images. (a) the original images, (b) detection of the sea-sky horizon line in the original mages, (c) detection of targets in original images for the night, fog and day scenes from top to the bottom rows respectively.

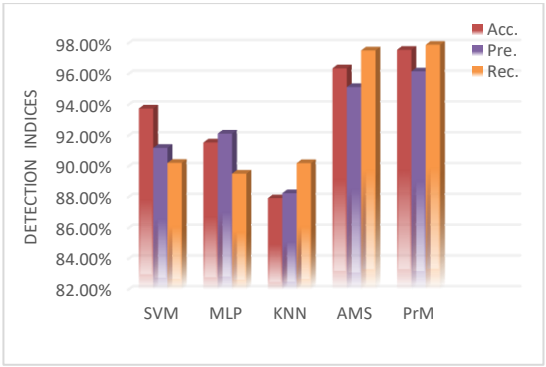
[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.52547/jsdp.18.3.147]

به‌عنوان معیار مقایسه از نرخ تشخیص[1] (DR) که بر اساس رابطه زیر تعریف شده است، استفاده می‌شود:

$$DR\,(\%) = \frac{\#\text{correctly detected targets}}{\#\text{true targets}} \times 100 \qquad (۲۱)$$

اگر هدف در تصویر اصلی با هدف کشف شده ۹۰٪ هم‌پوشانی داشته باشد، آن‌گاه نتیجه تشخیص "صحیح" ارزیابی می‌شود. شاخص نرخ تشخیص نشان می‌دهد که از بین اهداف واقعی چه تعداد به‌درستی کشف شده‌اند. به‌منظور مقایسه روش پیشنهادی با دسته‌بندهای پایه آن، قابلیت تشخیص برای یک مجموعه از تصاویر ارزیابی‌شده است. نمودار شکل (۱۰) نتایج تشخیص هدف را برای روش‌های یادشده نشان می‌دهد.



(شکل-۱۰): مقایسه نرخ تشخیص روش‌های دسته‌بندی پایه و روش پیشنهادی در این مقاله. در شکل از عبارات مخفف روبه‌رو استفاده شده است: ماشین بردار پشتیبان: SVM، شبکه عصبی مصنوعی: MLP، نزدیک‌ترین همسایگی: KNN، شیفت میانگین تطبیقی: AMS و روش پیشنهادی: PrM. همچنین شاخصه‌های کارایی شامل صحت: ACC.، دقت: Pre. و فراخوانی: Rec. هستند.

(Figure-10): The comparison between detection rates of the proposed (PRM) and some famous methods, i.e., SVM, MLP, KNN and AMS. The following performance indices are used: Accuracy (Acc.), Precision (Pre.) and Recall (Rec.).

شکل‌های (۹) و (۱۰) به خوبی نشان می‌دهند که اهداف در محدوده جستجو حول خط افق به‌خوبی و با دقت بسیار بالا کشف شده‌اند؛ همچنین روش ترکیبی مبتنی بر فازی نسبت به دسته‌بندهای پایه آن نتایج بهتری را ارائه داده است. در مورد دسته‌بندهای پایه به‌ترتیب روش شیفت میانگین تطبیقی، HIK-SVM، شبکه عصبی و دسته‌بندی نزدیک‌ترین همسایه عملکرد مناسبی داشته‌اند.

برای مقایسه عملکرد روش پیشنهادی با پژوهش‌های مرتبط، دو معیار بهره نسبت سیگنال به کلاتر (SCRG)[2] و فاکتور حذف پس‌زمینه (BSF)[3] به کار گرفته شده که این معیارها به‌صورت روابط زیر محاسبه می‌شود [15]:

$$SCRG = \frac{scr_{in}}{scr_{out}} \qquad (۲۲)$$

$$BSF = \frac{\sigma_{in}}{\sigma_{out}} \qquad (۲۳)$$

که در (۲۲) scr از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$scr = \frac{|\mu_t - \mu_b|}{\sigma_b} \qquad (۲۴)$$

در این روابط μ_t میانگین شدت هدف، μ_b و σ_b به‌ترتیب میانگین شدت و انحراف استاندارد پیکسل‌های مناطق همسایگی اطراف هدف، σ_{in} و σ_{out} به‌ترتیب انحراف استاندارد پس‌زمینه در تصویر ورودی و تصویر اندازه‌گیری شده است. SCRG بیانگر تقویت سیگنال هدف نسبت به پس‌زمینه قبل و بعد از پردازش است، درحالی‌که BSF بیان‌کننده سطح حذف پس‌زمینه بدون داشتن هیچ نوع اطلاعاتی از هدف است. هرچه مقادیر این دو معیار بیشتر باشد، نتایج تشخیص بهتر است. به‌دلیل وجود نوفه و کلاتر در تصاویر دریایی، پیش پردازش موفق نقش بسیار مهمی در کشف صحیح اهداف دارد.

در شکل (۱۱) روش پیشنهادی بر روی دو نمونه تصویر (یک تصویر از پایگاه داده مورد استفاده در [15] و یک تصویر از پایگاه داده جمع‌آوری شده) با دو هدف کوچک کم نور اعمال شده است. تصاویر ردیف نخست، تصاویر اصلی هستند. در تصاویر ردیف دوم قابل مشاهده است که خط افق با وجود مات بودن تصاویر به‌خوبی توسط روش پیشنهادی آشکارسازی شده است. در تصاویر ردیف سوم محدوده جستجو حول خط افق انتخاب و سپس بلوک‌ها به‌وسیلهٔ دسته‌بندها، دسته‌بندی شده و خروجی‌ها به سامانه فازی داده شده است. نتایج نهایی این دسته‌بندی در ردیف چهارم نشان داده شده است. درنهایت در شکل‌های ردیف آخر، اهداف با وجود کوچک و مات بودن در تصاویر با دقت خوبی کشف شده‌اند.

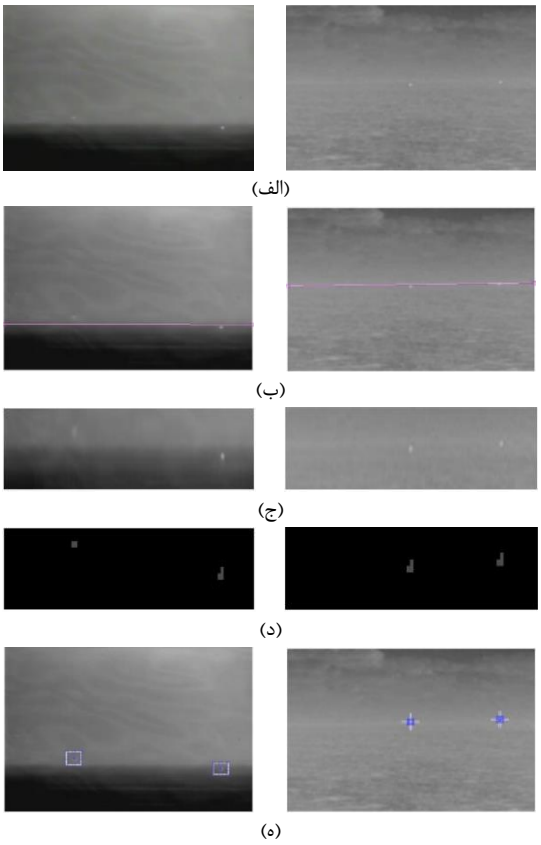
به‌کمک تصاویر مرجع [15]، روش پیشنهادی با چهار روش THF[4] [14]، LWT[5] [13]، VAM[6] [29] و MWEC[7] [15] مقایسه شده است. در جدول (۲) مقادیر SCRG وBSF به‌دست‌آمده برای این چهار روش و روش

[1] Detection Rate

[2] Signal-to-Clutter Ratio Gain
[3] Background Suppression Factor
[4] Top-Hat Filtering
[5] Lifting Wavelet Transform
[6] Visual Attention Model
[7] Mutual Wavelet Energy Combination

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-01]
[DOI: 10.52547/jsdp.18.3.147]

پیشنهادی بر روی تصویر سمت راست شکل (۱۱) نشان داده شده است. همان‌طور که از نتایج به‌دست‌آمده در جدول (۲) مشاهده می‌شود با وجود کیفیت پایین تصویر و مات‌بودن هدف، مقدار SCRG برای هر دو هدف با استفاده از روش پیشنهادی بهتر از هر چهار روش مورد مقایسه است. این برتری برای معیار BSF نیز به‌صورت مشابه وجود دارد. مهم‌ترین دلایل کارایی بالای روش پیشنهادی، انتخاب مناسب خط افق، جستجو در محدوده اطراف این خط، استخراج ویژگی‌های با قابلیت جداسازی بالا، بهره گیری از دسته‌بندهای کارآمد و درنهایت سامانه تصمیم‌گیری فازی به‌عنوان یک ساختار ترکیب‌کننده دسته‌بندها با قوام بالا در برابر عوامل مزاحم است؛ درنتیجه اعمال این روش، پس‌زمینه به‌خوبی سرکوب شده و اهداف برجسته می‌شوند.



(الف)

(ب)

(ج)

(د)

(ه)

(شکل-۱۱): مراحل پردازش الگوریتم پیشنهادی برای کشف هدف. تصویر سمت راست از پایگاه داده مورد استفاده در [15] گرفته شده و تصویر سمت چپ از پایگاه داده این مقاله آورده شده است. الف- تصاویر اصلی. ب- آشکارسازی خط افق. ج- مشخص کردن ناحیه جستجو. د- دسته‌بندی بلوک‌ها توسط سیستم فازی. ه- کشف اهداف تصویر

(Figure-11): The procedure of the proposed algorithm for the target detection. The left image is taken from the database of this paper and the right one from the dataset of [15] (a) the original images, (b) the sky-sea horizon line detection, (c) specifying the ROI, (d) classifying the blocks using the FIS, and (e) the image targets detection.

به‌کمک تصاویر حرارتی پایگاه داده تهیه شده، عملکرد روش پیشنهادی با سه روش MFMM [16]، NRAM [17] و STLDM [18] بر اساس معیارهای دقت و فراخوانی در جدول (۳) مقایسه شده است. مقادیر گزارش‌شده در این جدول به‌خوبی نشان می‌دهد که عملکرد روش پیشنهادی در مقایسه با این سه روش جدید قابل قبول بوده است.

(جدول-۲): مقادیر SCRG و BSF به‌دست‌آمده برای روش پیشنهادی و چهار روش THF، LWT، VAM و MWEC

(Table-2): The SCRG and BSF indices obtained from the proposed method and the THF, LWT, VAM and MWEC methods.

روش‌های کشف هدف	SCRG		BSF
	هدف ۲	هدف ۱	
روش THF	2.48	3.26	8.30
روش LWT	1.39	1.25	1.89
روش VAM	3.38	0.78	0.71
روش MWEC	21.11	21.29	14.97
روش پیشنهادی	23.01	23.89	18.04

(جدول-۳): مقایسه مقادیر معیارهای دقت و فرخوانی برای روش پیشنهادی و سه روش MFMM، NRAM و STLDM

(Table-3): Comparison of Precision and Recall of the proposed and three existing algorithms

روش‌های کشف هدف	دقت	فراخوانی
روش MFMM	73.6	64.7
روش NRAM	68.6	84.1
روش STLDM	92.3	94.5
روش پیشنهادی	**96.3**	**97.9**

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله یک الگوریتم برای آشکارسازی خط افق و کشف اهداف مختلف در تصاویر حرارتی نوفه‌ای پیشنهاد شد. در ابتدا تصویر حرارتی نویزی با استفاده از فیلتر میانه، روش تعدیل هیستوگرام و فیلتر گوسی بهبود یافت؛ سپس با استفاده از روش بیشینه‌گیری از گرادیان تصویر، خط افق آشکارسازی شد. در ادامه، محدوده جستجو حول خط افق تعیین شد تا بازه جستجو محدود شود و سرعت و دقت افزایش یابد؛ سپس برای کشف اهداف، محدوده مورد نظر بلوک‌بندی و از هر بلوک چندین ویژگی استخراج شد. اگرچه به‌کمک این ویژگی‌ها، هر دسته‌بند به تنهایی می‌تواند بلوک‌ها را به دو دسته هدف و پس‌زمینه دسته‌بندی کند؛ استفاده از ایده ترکیب طبقه‌بندها می‌تواند به دقت بیشتر منجر شود. برای این منظور از سامانه استنتاج فازی نوع دوم بازه‌ای استفاده شد که هم

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.52547/jsdp.18.3.147]

طراحی توابع تعلق و قوانین فازی آن ساده است و هم در برابر عوامل مزاحم، قوام بالایی دارد؛ درنهایت، بلوک‌های مشخص شده به‌عنوان هدف تجمیع شدند و به‌کمک عمل‌گرهای شکل‌شناسی، تقریب بهتری از محل و شکل اهداف کشف‌شده به‌دست آمد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده مشاهده شد که در الگوریتم پیشنهادی احتمال آشکارسازی خط افق اشتباه به جای خط افق اصلی و نیز تشخیص نادرست اهداف نقطه‌ای و بزرگ در حد چشم‌گیری کاهش یافته‌اند. مقایسه این روش با سایر روش‌های موجود در این زمینه، کارایی مؤثر الگوریتم پیشنهادی را نشان می‌دهد. مهمترین نقطه ضعف این روش حجم بالای محاسبات در فاز آموزش برای طراحی چندین دسته‌بند است. در مقابل محدودکردن منطقه جستجو به ناحیه اطراف خط افق، سرعت کشف هدف را افزایش می‌دهد و این نقیصه را تا حدود زیادی جبران می‌کند. بهره‌گیری از سایر روش‌های ترکیب دسته‌بندها، تنظیم توابع تعلق به‌کمک الگوریتم‌های بهینه‌سازی و بهره‌گیری از سامانه فازی نوع دو عمومی مبتنی بر برُش z[1] می‌تواند در دست‌یابی به دقت تشخیص بالاتر مؤثر باشد.

۵- مراجع 5-References

[1] Jiao J, Lu H, Wang Z, Zhang W, Qi L. "L0 Gradient Smoothing and Bimodal Histogram Analysis: A Robust Method for Sea-sky-line Detection", *InProceedings of the ACM Multimedia Asia*, 2019 Dec 15, pp. 1-6

[2] Li F, Zhang J, Sun W, Jin J, Li L, Dai Y, "Sea–sky line detection using gray variation differences in the time domain for unmanned surface vehicles", *Signal, Image and Video Processing*, no.8, pp.1-8, 2020.

[3] B. Wang, Y. Su and L. Wan, "A sea-sky line detection method for unmanned surface vehicles based on gradient saliency," *Sensors*, vol. 16, no. 4, pp. 543, 2016.

[4] I. Lipschutz, E. Gershikov and B. Milgrom, "New methods for horizon line detection in infrared and visible sea images," *Int. J. Comput. Eng. Res*, vol. 3, no. 3, pp. 1197-1215, 2013.

[5] Zhu M, Liu B, Wang M, Lu Y. Design and Analysis of Switch Median Filters for Salt and Pepper Noise. InAdvances in Graphic Communication, Printing and Packaging 2019 (pp. 220-226). Springer, Singapore.

[6] Abdallah MB, Malek J, Azar AT, Belmabrouk H, Monreal JE, Krissian K, "Adaptive noise-reducing anisotropic diffusion filter", *Neural Computing and Applications*, vol.1;27(5), pp.1273-300. 2016

[7] Z. C. Wang, "A bilateral filtering based image de-noising algorithm for night time infrared monitoring images," in *International Conference on Computational Science and Computational Intelligence*, pp. 199-203, 2014.

[8] Bartyzel K. Adaptive kuwahara filter. Signal, Image and Video Processing. 2016 Apr 1;10(4):663-70.

[9] Z. Liu, C. Sun, X. Bai and F. Zhou, "Infrared ship target image smoothing based on adaptive mean shift," *International Conference on Digital lmage Computing: Techniques and Applications*, Nov201, pp.425-27.

[10] L. Dong, D. Ma, G. Qin, T. Zhang,W. Xu, "Infrared target detection in backlighting maritime environment based on visual attention model", *Infrared Physics & Technology*, no,1, pp. 193-200, 2019.

[11] W.Yang, H. Li, J. Liu, S. Xie, J. Luo , "A sea-sky-line detection method based on Gaussian mixture models and image texture features", *International Journal of Advanced Robotic Systems*,2019 Dec ;16(6):1729881419892116.

[12] X. Bai, F. Zhou, Y. Xie, T. Jin, "Adaptive morphological method for clutter elimination to enhance and detect infrared small target," *International Conference on Internet Computing in Science and Engineering*, pp. 47 – 52, 2008.

[13] X. Chen and Y. Wang, "Detection of low contrast targets based on lifting scheme wavelet transform," *International Conference on Mechatronics and Automation*, pp. 4349 – 4354, 2009.

[14] X. Bai and F. Zhou, "Analysis of new top-hat transformation and the application for infrared dim small target detection," *Pattern Recognition*, pp. 2145–2156, 2010.

[15] X. Kong, L. Liu, Y. Qian and M. Cui, "Automatic detection of sea-sky horizon line and small targets in maritime infrared imagery," *Infrared Physics & Technology*, pp. 185–199, 2016.

[16] H. Deng, X. Sun, and X. Zhou, "A multiscale fuzzy metric for detectingsmall infrared targets against chaotic cloudy/sea-sky backgrounds," IEEE Trans. Cybern., vol. 49, no. 5, pp. 1694–1707, May 2019.

[17] L. Zhang, L. Peng, T. Zhang, S. Cao, and Z. Peng, "Infrared small tar-get detection via non-convex rank approximation minimization jointl2,1norm," Remote Sens., vol. 10, no. 11, p. 1821, 2018.

[18] P. Du and A. Hamdulla, "Infrared moving small-target detection usingspatial–temporal local difference measure," *IEEE Geosci.*

[1] Z-slice

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.52547/jsdp.18.3.147]

Remote Sens.Lett., vol. 17, no. 10, pp. 1817–1821, Oct. 2020

[19] S. Kim, "Analysis of small infrared target features and learning-based false detection removal for infrared search and track," *Pattern Analysis and Applications*, vol. 17, no. 4, pp. 883-900, 2014.

[20] Scherreik MD, Rigling BD. Open set recognition for automatic target classification with rejection. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems. 2016 May 26;52(2):632-42.

[21] R.O. Duda, P.E. Hart, and D.G. Stork, Pattern classification, John Wiley & Sons, 2012.

[22] J. Gou, H. Ma, w. Ou, S. Zeng, Y. Rao, H. Yang , A generalized mean distance-based k-nearest neighbor classifier. Expert Systems with Applications. 2019 Jan 1;115:356-72.

[23] M. Bilal, MS. Hanif, "High performance real-time pedestrian detection using light weight features and fast cascaded kernel SVM classification", *Journal of Signal Processing Systems*, vol.19, pp.117-29, 2019.

[24] M. Khishe, A. Safari , "Classification of sonar targets using an MLP neural network trained by dragonfly algorithm", *Wireless Personal Communication*, vol.1, pp.2241-60, 2019.

[25] Z. Liu, X. Bai, C. Sun, F. Zhou, Y. Li , "Multi-modal ship target image smoothing based on adaptive mean shift", *IEEE Access*, vol. 18;6, pp. 12573-86, 2018.

[26] W. Xiao, A. Zaforemska, M. Smigaj, Y. Wang, R. Gaulton, "Mean shift segmentation assessment for individual forest tree delineation from airborne lidar data", *Remote Sensing*, vol. 11(11), pp.1263, 2019.

[27] P. Melin , E.Ontiveros-Robles ,CI. Gonzalez, JR. Castro, O. Castillo, "An approach for parameterized shadowed type-2 fuzzy membership functions applied in control applications", *Soft Computing*, vol.1, no-.23(11), pp.3887-901, 2019.

[28] V. Gandhi, V. Mendiratta, S. Thakur, Ms. Choudhry, "Morphological Operations For denoising of White Gaussian Noise Corrupted MR Images", *In2020 International Conference on Electronics and Sustainable Communication Systems (ICESC), 2020* Jul 2 ,pp. 228-234.

[29] L. Ltti, C. Koch and E. Niebur, "A model of saliency-based visual attention for rapid scene analysis," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 11, pp. 1254 – 1259, 1998.



آذر محمودزاده مدرک کارشناسی را از دانشگاه شیراز در رشته مهندسی برق-مخابرات، کارشناسی ارشد و دکترای تخصصی را در رشته مهندسی برق-مخابرات به‌ترتیب از دانشگاه‌های شاهد و یزد دریافت کرد. ایشان در حال حاضر استادیار گروه مهندسی برق در دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز است. زمینه‌های پژوهشی اصلی مورد علاقه نامبرده پردازش تصویر، شبکه عصبی و بازشناسی آماری الگو است.

نشانی رایانامه ایشان عبارت است از:

mahmoodzadeh@iaushiraz.ac.ir

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.52547/jsdp.18.3.147]