نشریه پژوهش‌های ماهی‌شناسی کاربردی
Journal homepage: http://jair.gonbad.ac.ir
ISSN: 2423-6349
دوره 14، شماره 2، صفحات 65–55

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه گنبد کاووس

کاربردهای سنجش از دور و سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی در شناسایی مناطق مستعد صید ماهیان دریایی: یک مرور نظام‌مند

کمیل رکنی[1*]، شریفه حزینی[2]، محمد قلی زاده[3]

[1]استادیار گروه نقشه برداری، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس
[2]گروه صنایع غذائی، آموزش و پرورش شهرستان آزادشهر، آزادشهر
[3]دانشیار گروه شیلات، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس

نوع مقاله:
پژوهشی اصیل

تاریخچه مقاله
دریافت: 1405/03/26
پذیرش: 1405/06/12

نویسنده مسئول مکاتبه:
کمیل رکنی
استادیار گروه نقشه برداری، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس

ایمیل:
rokni@gonbad.ac.ir

چکیده:
مکانیابی کارآمد مناطق صید اقتصادی، یکی از چالش‌های اساسی شیلات دریایی است که به طور مستقیم بر مصرف سوخت و پایداری ذخایر تأثیر می‌گذارد. روش‌های سنتی یافتن ماهی مبتنی بر شناسایی از طریق کشتی و تجربه صیادان است که زمان‌بر، مصرف کننده سوخت زیاد و از نظر مکانی محدود می‌باشند. سنجش از دور ماهواره‌ای و سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی، با ارائه مشاهدات همگام و بلادرنگ از شرایط اقیانوس‌شناختی که موجب تجمع ماهی می‌شوند، انقلابی در شناسایی مناطق مستعد صید ایجاد کرده‌اند. این مرور نظام‌مند، مطالعات گذشته را درباره کاربرد سنجش از دور و سامانه های اطلاعات جغرافیایی در شناسایی مناطق مستعد صید در شیلات دریایی تحلیل می‌کند. دمای سطح دریا (SST) و غلظت کلروفیل a (Chl-a) به عنوان دو پیش‌بینی‌کننده محیطی قوی شناسایی می‌شوند، به‌گونه‌ای که نواحی جبهه‌ای و چرخاب‌های میان‌مقیاس به طور پیوسته کانون‌های تجمع گونه‌های آبزی را تشکیل می‌دهند. رویکردهای یادگیری ماشین، به ویژه جنگل تصادفی و مدل‌های گروهی، دقت پیش‌بینی بالاتری نسبت به روش‌های آماری سنتی نشان می‌دهند و در مطالعات تأییدشده به مقادیر سطح زیر منحنی بین ۸۵ تا ۹۴ درصد دست می‌یابند. سامانه اطلاعات جغرافیایی مشارکتی نیز به عنوان رویکردی مکمل شناخته می‌شود که دانش بومی را در چارچوب‌های مدیریت شیلات ادغام می‌کند. محدودیت‌های اصلی عبارتند از: شکاف‌های داده ناشی از پوشش ابر در سنجنده‌های اپتیکی، ناهماهنگی زمانی بین زمان عبور ماهواره‌ها و فعالیت صید، و ناتوانی مدل‌ها در لحاظ کردن تلاش صید یا محدودیت‌های نظارتی. این مرور نتیجه می‌گیرد که اگرچه تلفیق سنجش از دور و GIS یک پیشرفت اساسی به سمت مدیریت داده‌محور شیلات محسوب می‌شود، پژوهش‌های آینده باید بر الگوریتم‌های نافذ ابر، انتقال عملیاتی مدل‌های یادگیری ماشین به مناطق کم‌داده و یکپارچه‌سازی با سناریوهای پیش‌بینی اقلیم متمرکز شوند.

واژگان کلیدی: سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS)، سنجش از دور، مناطق مستعد صید (PFZ)، دمای سطح دریا (SST)، کلروفیل a، سامانه اطلاعات جغرافیایی مشارکتی (PGIS)

1- مقدمه

پایداری شیلات دریایی یک دغدغه جهانی فوری است. صید بی‌رویه، تغییرپذیری اقلیم و شیوه‌های ناکارآمد صید همچنان به ذخایر ماهیان و معیشت میلیون‌ها نفر که به آن وابسته هستند آسیب می‌زند (Pauly & Zeller, 2016; Hilborn et al., 2020). یکی از دیرپاترین چالش‌ها در مدیریت شیلات، شناسایی دقیق و به‌موقع مناطق مستعد صید ماهیان دریایی است که معمولا از آن با عنوان مناطق مستعد صید (Preferential Fishing Zones (PFZ) یاد می‌شود. به طور تاریخی، صیادان به دانش بومی،

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/jair.14.2.41]

الگوهای آب و هوا و جستجوی فرصت‌طلبانه برای یافتن مناطق پربازده متکی بوده‌اند. شیوه‌هایی که اغلب به هدررفت سوخت، افزایش زمان عملیات و صید ضمنی ناخواسته منجر می‌شود (Klemas, 2013).

منطقه مستعد صید به منطقه‌ای جغرافیایی گفته می‌شود که در آن ارتباط معنی داری بین احتمال حضور ماهی در آن منطقه و نرخ صید آن با شرایط محیطی وجود دارد (Solanki et al., 2001). نقشه‌های مناطق مستعد صید معمولا به صورت توصیه‌های روزانه یا هفتگی شامل خطوط هم‌دما، هم‌کلروفیل یا ویژگی‌های جبهه‌ای به صیادان تحویل داده می‌شوند. استفاده عملیاتی از بولتن‌های مناطق مستعد صید از اواخر دهه ۱۹۹۰ در هند آغاز شد و از آن زمان به ژاپن، ایالات متحده، اتحادیه اروپا، اندونزی و چندین کشور آفریقایی گسترش یافته است (Nair et al., 2022).

ناوگان صیادی جهانی تخمین میزند که حدود ۵۰ تا ۷۰ درصد از زمان عملیاتی خود را صرف جستجوی ماهی می‌کند تا صید فعال (FAO, 2024). این جستجو سالانه حدود ۱۵ تا ۲۰ میلیارد لیتر سوخت مصرف می‌کند که سهم عمده‌ای در انتشار گازهای گلخانه‌ای و هزینه‌های عملیاتی دارد. برای یک شناور، جستجو حدود ۴۰ تا ۶۰ درصد از کل زمان سفر را تشکیل می‌دهد و مستقیما صید در واحد تلاش و سودآوری را کاهش می‌دهد (Miller et al., 2023). روش‌های سنتی یافتن ماهی شامل مشاهده پرندگان، ردیابی اشیاء شناور، اکوسوندها و تجربه صیادان ارزشمند هستند اما به طور ذاتی در پوشش مکانی و قدرت پیش‌بینی محدود می‌باشند.

ظهور سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) و فناوری‌های سنجش از دور این وضعیت را به طور قابل توجهی دگرگون کرده است. این ابزارها نقشه‌برداری و پیش‌بینی نظام‌مند مناطق تجمع ماهی را بر اساس پارامترهای قابل سنجش اقیانوس‌شناختی و محیطی ممکن می‌سازند (Chassot et al., 2011). ماهواره‌های سنجش از دور، از جمله سنجنده طیف‌نگار تصویربردار با قدرت تفکیک متوسط (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS))، لندست (Landsat)، سنتینل-3 (Sentinel-3) و رادیومتر پیشرفته با قدرت تفکیک بسیار بالا (AVHRR)، داده‌های پیوسته ای از دمای سطح دریا (Sea Surface Temprature (SST)) و غلظت کلروفیل-a (که نمادی از زیست‌تودهٔ فیتوپلانکتون است)، ناهنجاری‌های ارتفاع سطح دریا و رنگ اقیانوس فراهم می‌کنند (Solanki et al., 2001; Zainuddin et al., 2006; Mao et al., 2016). هنگامی که این مجموعه‌داده‌ها در یک محیط GISتلفیق می‌شوند، پژوهشگران و مدیران شیلات می‌توانند الگوهای مکانی و زمانی پراکنش ماهی را به ویژه برای گونه‌های آبزی با ارزش تجاری مانند تن، ساردین، ماهی خال‌خالی و آنچوی شناسایی کنند (Kimura et al., 2004; Yen et al., 2012).

این مرور به سه دلیل انجام گرفت. نخست، با وجود حجم رو به رشد مقالات در زمینه کاربردهای GIS و سنجش از دور برای نقشه‌برداری PFZ، یک ترکیب جامع و به‌روز از روش‌شناسی‌ها، منابع داده و یافته‌ها وجود ندارد. دوم، تکامل سریع یادگیری ماشین و تکنیک‌های مدل‌سازی گروهی، ارزیابی انتقادی اثربخشی آن‌ها را نسبت به رویکردهای سنتی ضروری می‌سازد. سوم، یکپارچه‌سازی رو به رشد سامانه اطلاعات جغرافیایی مشارکتی با روش‌های ماهواره‌ای نیاز به ارزیابی نظام‌مند دارد. بنابراین هدف این مقاله، مرور نظام‌مند مطالعات منتشر شده در سال های اخیر است که از GIS و سنجش از دور برای شناسایی مناطق مستعد صید ماهیان دریایی استفاده کرده‌اند. اهداف پژوهش عبارتند از: (۱) شناسایی پرکاربردترین منابع داده سنجش از دور و تکنیک‌های تحلیلی مبتنی برGIS ؛ (۲) ترکیب شاخص‌های کلیدی اقیانوس‌شناختی مرتبط با تجمع ماهیان؛ (۳) مقایسه عملکرد پیش‌بینی رویکردهای مختلف مدل‌سازی؛ و (۴) برجسته‌سازی نقش سامانه اطلاعات جغرافیایی مشارکتی و یکپارچه‌سازی دانش بومی.

2- بررسی منابع داده و تکنیک‌ها و روش های تحلیلی

2-1 داده‌های سنجش از دور استفاده‌شده در تحقیقات گذشته

در مطالعات بررسی شده، داده‌های سنجش از دور عمدتا از بسترهای ماهواره‌ای در دسترس عموم به دست آمده‌اند. دمای سطح دریا (SST) پرکاربردترین متغیر بود. داده‌های SSTاز سنجنده‌های MODIS سوار بر ماهواره‌های آکوا و ترا (Solanki et al., 2001; Zainuddin et al., 2006)، و AVHRR (Santos, 2000; Kimura et

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/jair.14.2.41]

al., 2004) و باندهای حرارتی ماهواره‌های لندست (Klemas, 2013) به دست آمدند. تفکیک مکانی محصولات SST از ۱ کیلومتر تا ۹ کیلومتر و تفکیک زمانی از روزانه تا هفتگی متغیر بود.

غلظت کلروفیل-a دومین متغیر پرکاربرد بود. داده‌های Chl-aعمدتا از محصولات رنگ اقیانوس MODIS و سنجنده SeaWiFS تأمین شدند. محصولات معمول-Chl aدارای تفکیک مکانی ۱ تا ۴ کیلومتر و تفکیک زمانی ۱ تا ۸ روز بودند (Chassot et al., 2011; Yen et al., 2012; Eriksson et al., 2016).

ناهنجاری‌های ارتفاع سطح دریا (SSHA) و داده‌های ارتفاع‌سنجی از ماهواره‌های Jason-1 Jason-2 و Jason-3 و همچنین ارتفاع‌سنجی Sentinel-3 به دست آمدند. این داده‌ها برای شناسایی چرخاب‌های میان‌مقیاس و ساختارهای جبهه‌ای استفاده شدند و دارای تفکیک مکانی تقریبی ۲۵ کیلومتر و تفکیک زمانی ۱۰ تا ۳۵ روز بودند (Saitoh et al., 2011).

سرعت و جهت باد سطح اقیانوس از پراکنده‌سنج‌هایی مانند QuikSCAT و ASCAT استخراج شدند (Nurdin et al., 2017). داده‌های ژرفاسنجی از پایگاه‌های GEBCO و ETOPO1 و معمولاً با تفکیک مکانی ۱ دقیقه قوسی (حدود 1/8کیلومتر) تا ۵ دقیقه قوسی تأمین شدند (Moore et al., 2010). داده‌های موقعیت شناورهای صیادی شامل گزارش‌های سامانه نظارت بر شناورها (VMS)و سامانه شناسایی خودکار (AIS) به عنوان حقیقت زمینی برای حضور ماهی و تلاش صید استفاده شدند (Hilborn et al., 2020; Russo et al., 2016).

2-2 داده‌های برجا و کمکی استفاده‌شده در تحقیقات گذشته

علاوه بر داده‌های ماهواره‌ای، چندین مطالعه اندازه‌گیری‌های برجا را نیز در بر گرفتند. این موارد شامل نیمرخ‌های رسانندگی دما-ژرفا (CTD)، داده‌های ترموسالینوگراف و رکوردهای مستقیم صید ماهی از ناوگان صیادی تجاری و سنتی بودند (Andrade & Garcia, 1999). داده‌های صید معمولاً به صورت صید به ازای واحد تلاش (CPUE) یا وزن کل تخلیه‌شده در هر عملیات صید گزارش شدند. شاخص‌های اقلیمی مانند نوسان جنوبی ال نینو (ENSO) و نوسان دهه‌ای اقیانوس آرام (PDO) نیز در پیش‌بینی‌های چندساله استفاده شدند (Chassot et al., 2011; Lehodey et al., 2008).

2-3 تکنیک‌های GIS و تحلیل مکانی استفاده‌شده در تحقیقات بررسی‌شده

در محیط GIS چندین تکنیک تحلیل مکانی در سراسر مطالعات بررسی‌شده به کار گرفته شد. برآورد چگالی کرنل برای شناسایی کانون‌های صید از داده‌های VMS و AIS استفاده شد (Russo et al., 2016). وزن‌دهی عکس فاصله (IDW) و زمین‌آمار (کریجینگ) برای درون‌یابی داده‌های پراکنده صید بر روی سطوح پیوسته به کار گرفته شدند (Nurdin et al., 2017). تحلیل مجاورت (فاصله اقلیدسی) برای محاسبه فواصل مکان‌های صید تا جبهه‌های اقیانوسی، مراکز چرخاب‌ها و عوارض ژرفاسنجی مانند لبه فلات قاره و کوه‌های دریایی استفاده شد (Saitoh et al., 2011). تحلیل رویهم‌گذاری معمولا برای تلفیق چندین لایه محیطی (مانندSST ، Chl-a، و ژرفاسنجی) در یک شاخص مناسبیت PFZ واحد انجام شد (Solanki et al., 2001; Klemas, 2013).

2-4 تکنیک‌های مدل‌سازی آماری و تجربی استفاده‌شده در تحقیقات بررسی‌شده

روش‌های تجربی و آماری به طور گسترده به کار گرفته شدند. تحلیل‌های همبستگی و رگرسیون برای بررسی روابط خطی بین داده‌های صید ماهی و متغیرهای محیطی منفرد استفاده شدند (Santos, 2000; Kimura et al., 2004). مدل‌های افزایشی تعمیم‌یافته (GAM) برای مدل‌سازی روابط غیرخطی بین پراکنش ماهی و چندین پیش‌بینی‌کننده به کار گرفته شدند (Yen et al., 2012; Zainuddin et al., 2006). مدل‌های خطی تعمیم‌یافته (GLM)برای داده‌های حضور-عدم حضور دودویی استفاده شدند (Chassot et al., 2011). مدل‌های شاخص مناسبیت زیستگاه (HSI) که متغیرهای محیطی را بر اساس منحنی‌های ترجیح گونه-ویژه در یک شاخص واحد ترکیب می‌کنند نیز گزارش شدند (Chen et al., 2010).

2-5 تکنیک‌های یادگیری ماشین و هوش مصنوعی استفاده‌شده در تحقیقات بررسی‌شده

رویکردهای یادگیری ماشین به طور برجسته در ادبیات جدیدتر ظاهر شدند. مدل‌های جنگل تصادفی برای وظایف طبقه‌بندی و رگرسیون استفاده شدند و مزایای گزارش‌شده

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/jair.14.2.41]

آن‌ها عبارت بود از توانایی در مدیریت هم‌خطی و غیرخطی بودن. ماشین‌های بردار پشتیبان (SVM) با هسته تابع پایه شعاعی برای مسائل طبقه‌بندی PFZ با حجم نمونه کوچک به کار گرفته شدند (Moore et al., 2010). شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) از جمله پرسپترون چندلایه، برای مدل‌سازی روابط پیچیده و غیرخطی بین ورودی‌های محیطی و حضور ماهی استفاده شدند. مدل‌سازی حداکثر آنتروپی (MaxEnt) برای پیش‌بینی مناسب بودن زیستگاه با استفاده از داده‌های صرفا حضور به کار گرفته شد (Moore et al., 2010). روش‌های گروهی و ترکیبی، که چندین الگوریتم را ترکیب می‌کنند (مانند GAM + جنگل تصادفی)، برای بهبود دقت پیش‌بینی و کاهش بیش‌برازش استفاده شدند (Yen et al., 2012; Wang & Chen, 2017).

2-6 تکنیک‌های سامانه اطلاعات جغرافیایی مشارکتی استفاده‌شده در تحقیقات بررسی‌شده

سامانه اطلاعات جغرافیایی مشارکتی (PGIS) در زیرمجموعه‌ای از مطالعات، عمدتا در مناطق کم‌داده، استفاده شد. در این رویکردها، دانش بومی (مانند مناطق صید سنتی، الگوهای مهاجرت فصلی) از طریق کارگاه‌های نقشه‌برداری مشارکتی با صیادان دیجیتالی شد. این لایه‌های دیجیتالی‌شده سپس با داده‌های محیطی حاصل از سنجش از دور رویهم‌گذاری و با استفاده از رکوردهای تاریخی صید اعتبارسنجی شدند (Hilborn et al., 2020; Ochiewo, 2004). سامانه اطلاعات جغرافیایی مشارکتی به طور پیوسته به عنوان یک تکنیک مکمل و نه جایگزین برای تحلیل سنجش از دور گزارش شد.

3- مزایا و محدودیت‌های تکنیک‌ها و روش‌های تحلیلی شناسایی مناطق مستعد صید

این بخش مزایا و محدودیت‌های تکنیک‌ها و روش‌های تحلیلی شناسایی مناطق مستعد صید در مطالعات گذشته را ارائه می‌دهد که در سه زیربخش موضوعی سازماندهی شده است. هر زیربخش یافته‌های متعدد را ترکیب می‌کند و مزایا و محدودیت‌های مرتبط با آن‌ها را همان‌طور که در ادبیات گزارش شده است مورد بحث قرار می‌دهد.

3-1 پیش‌بینی‌کننده‌های محیطی تجمع ماهیان و کاربرد عملیاتی آن‌ها

3-1-1 بررسی نتایج

در تمام مطالعات بررسی شده، دمای سطح دریا (SST) و غلظت کلروفیل-a (Chl-a) دو متغیر محیطی بودند که بیشترین فراوانی و قوی‌ترین ارتباط را با تجمع ماهیان نشان دادند. در بیش از 90 درصد مطالعات بررسی شده، دمای سطح آب رابطه آماری معنی‌داری با صید به ازای واحد تلاش (CPUE) یا حضور ماهی نشان داد. مناطق جبهه‌ای (جایی که توده‌های آب گرم و سرد با شیب دمایی بیش از 0/5 درجه سانتی‌گراد بر کیلومتر همگرا می‌شوند) به عنوان کانون‌های تجمع برای گونه‌های آبزی شامل تن و شمشیرماهی شناسایی شدند (Santos, 2000; Zainuddin et al., 2006; Kimura et al., 2004). در مطالعه Zainuddin و همکاران (2006) گزارش شد که ۷۸ درصد صید تن در چنین جبهه‌های SST رخ داده است. غلظت کلروفیل-a، به عنوان نمادی از بهره‌وری اولیه، با ماهیانی مانند ساردین و آنچوی همبستگی قوی داشت (Chassot et al., 2011; Solanki et al., 2001; Ginannoulaki et al., 2006). دامنه‌های بهینه Chl-a بر اساس گونه متفاوت بود: تن با 0/2–0/5 میلی‌گرم بر مترمکعب همراه بود (Yen et al., 2012)، در حالی که ساردین 0/5–2/1 میلی‌گرم بر مترمکعب را ترجیح می‌داد (Nurdin et al., 2017). درمطالعاتی که ناهنجاری‌های ارتفاع سطح دریا (SSHA) و انرژی جنبشی چرخابی را بررسی کردند، چرخاب‌های چرخندی (هسته سرد) به طور معنی‌داری با افزایش صید ماهی به دلیل بالاآمدگی مواد مغذی همراه بودند (Saitoh et al., 2011). عوارض ژرفاسنجی، به ویژه لبه‌های فلات قاره (اعماق ۱۰۰–۲۰۰ متر) و کوه‌های دریایی، در برخی مطالعه به عنوان پیش‌بینی‌کننده‌های مهم، عمدتا برای گونه‌های کفزی و وابسته به صخره‌های مرجانی شناسایی شدند (Moore et al., 2010; Brown et al., 2011). برنامه‌های عملیاتی PFZ مانند برنامه‌های مرکز ملی اطلاعات اقیانوس هند (INCOIS)، توصیه‌نامه‌های روزانه را با استفاده از SST و Chl-a با تفکیک ۴ کیلومتر صادر می‌کنند که کاهش زمان جستجوی گزارش‌شده بین ۳۰ تا ۵۰ درصد را به دست می‌آورد (Solanki et al., 2001; Ochiewo, 2004).

3-1-2 مزایا

ارتباط قوی و تکراری SST و Chl-a با تجمع ماهیان مزایای عملی متعددی ارائه می‌دهد. اول، هر دو متغیر به طور معمول و رایگان از چندین بستر ماهواره‌ای (MODIS,

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/jair.14.2.41]

AVHRR, SeaWiFS, Sentinel-3) با تحویل نزدیک در دسترس هستند و پیش‌بینی عملیاتی PFZ را امکان‌پذیر می‌سازند (Klemas, 2013). دوم، SST و Chl-a از نظر زیستی معنی‌دار هستند. SST مستقیما بر متابولیسم ماهی، تولیدمثل و مهاجرت تأثیر می‌گذارد، در حالی که Chl-a در دسترس بودن غذا را از طریق زنجیره غذایی فیتوپلانکتون-زئوپلانکتون-ماهی نشان می‌دهد. سوم، سازگاری این پیش‌بینی‌کننده‌ها در مناطق گرمسیری، معتدل و قطبی نشان می‌دهد که مدل‌های PFZ مبتنی بر SSTو Chl-a به طور گسترده قابل انتقال هستند (Chassot et al., 2011; Belkin, 2009). چهارم، موفقیت اثبات‌شده توصیه‌نامه‌های عملیاتی PFZ در مقیاس ملی شواهدی ارائه می‌دهد که این پیش‌بینی‌کننده‌های محیطی را می‌توان با زیرساخت ماهواره‌ای موجود پیاده‌سازی کرد (Saitoh et al., 2011). پنجم، برای پیش‌بینی عملیاتی کوتاه‌مدت (روزانه تا هفتگی)، تفکیک مکانی ۱ تا ۴ کیلومتر برای شناسایی ویژگی‌های میان‌مقیاس (چرخاب‌ها، جبهه‌ها) که ماهی را تجمیع می‌کنند کافی است و دقت و در دسترس بودن داده را متعادل می‌کند (Solanki et al., 2001; Klemas, 2013).

3-1-3 محدودیت‌ها

با وجود کاربرد آن‌ها، محدودیت‌های متعددی به طور پیوسته گزارش شده است. اول، SST و Chl-a پیش‌بینی‌کننده‌های جایگزین (غیرمستقیم) هستند؛ آن‌ها حضور بالقوه را به جای حضور واقعی ماهی نشان می‌دهند. یک وضعیت مطلوب SST و Chl-a تجمع ماهی را تضمین نمی‌کند، زیرا تلاش صید، نوع ادوات صید و محدودیت‌های نظارتی لحاظ نمی‌شوند (Russo et al., 2016; Zhou & Smith, 2017). دوم، دامنه‌های بهینه گونه-ویژه و منطقه-ویژه هستند، به این معنی که یک مدل کالیبره‌شده برای تن در اقیانوس آرام ممکن است برای ساردین در اقیانوس اطلس عملکرد ضعیفی داشته باشد (Yen et al., 2012; Nurdin et al., 2017). سوم، پوشش ابر به طور مکرر سنجنده‌های اپتیکی را مسدود می‌کند و منجر به شکاف‌های داده می‌شود که می‌تواند هفته‌ها طول بکشد، به ویژه در مناطق گرمسیری (Klemas, 2013). چهارم، Chl-a مشتق‌شده از ماهواره به سطح اقیانوس (عمق نوری اول) محدود است، در حالی که ماهی ممکن است در لایه‌های عمیق‌تری تجمع کند که توسط سنجنده‌های رنگ اقیانوس قابل تشخیص نیست. پنجم، ناهماهنگی‌های زمانی بین زمان عبور ماهواره (معمولاً ۱۰:۰۰ تا ۱۳:۳۰ به وقت محلی) و اوج فعالیت صید (سپیده‌دم و غروب) باعث سوگیری می‌شود، زیرا ماهی ممکن است از ویژگی‌های سطحی که در نیمروز تشخیص داده می‌شوند دور شود (Santos, 2000). ششم، محصولات SST و Chl-a با قدرت تفکیک بالا (≤۱ کیلومتر) برای بسیاری از مناطق به دلیل تأخیر پردازش و محدودیت‌های پهنای باند در دسترس نیستند (Klemas, 2013).

3-2 عملکرد مقایسه‌ای رویکردهای مدل‌سازی و نقش سامانه اطلاعات جغرافیایی مشارکتی

3-2-1 بررسی نتایج

تقریبا در همه مطالعات مقایسه‌ای، مدل‌های یادگیری ماشین به طور پیوسته به دقت پیش‌بینی بالاتری نسبت به روش‌های آماری سنتی دست یافتند. ماشین‌های بردار پشتیبان (SVM) با حجم نمونه کوچک عملکرد خوبی داشتند و به مقادیر AUC بین ۸۰ تا ۸۸ درصد دست یافتند (Moore at al., 2010; Wang & Chen, 2017). در مقابل، مدل‌های افزایشی تعمیم‌یافته (GAM) و مدل‌های خطی تعمیم‌یافته (GLM) مقادیر AUC پایین‌تری بین ۶۵ تا ۷۸ درصد تولید کردند و به تبدیل متغیر نیاز داشتند (Yen et al., 2012; Chassot et al., 2011). برای مثال، Yen و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند که یک مدل GAM۷۱ درصد از واریانس صید تن زردباله (Thunnus albacares)را توضیح داد، در حالی که یک مدل جنگل تصادفی ۸۹ درصد را با استفاده از همان متغیرهای ورودی توضیح داد.

علاوه بر یادگیری ماشین، سامانه اطلاعات جغرافیایی مشارکتی (PGIS) عمدتا در مناطق کم‌داده شرق آفریقا، جنوب شرق آسیا و جزایر اقیانوس آرام که آمار صید رسمی و داده‌های VMS وجود ندارد، به کار گرفته شد (Hilborn et al., 2020). نتایج به طور پیوسته نشان داد که نقشه‌های ترکیبی (ماهواره + PGIS) از هر یک از منابع داده به تنهایی بهتر عمل می‌کنند. Hilborn و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که هنگامی که دانش صیادان از مناطق صید تاریخی دیجیتالی و باPFZ های مشتق‌شده از ماهواره رویهم‌گذاری شد، نقشه‌های ترکیبی حاصل،

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/jair.14.2.41]

پیش‌بینی صید را در مقایسه با نقشه‌های فقط ماهواره‌ای ۲۰ درصد بهبود بخشیدند.

3-2-2 مزایا

عملکرد برتر مدل‌های یادگیری ماشین مزایای متعددی ارائه می‌دهد. اول، الگوریتم‌های یادگیری ماشین به طور خودکار غیرخطی بودن، برهمکنش‌ها و هم‌خطی بودن را در بین پیش‌بینی‌کننده‌های محیطی بدون نیاز به مشخص‌سازی صریح مدیریت می‌کنند. دوم، جنگل تصادفی و افزایش گرادیان در صورت تنظیم مناسب در برابر بیش‌برازش مقاوم هستند و آن‌ها را برای داده‌های اکولوژیکی با حجم نمونه متوسط مناسب می‌سازد. سوم، روش‌های گروهی می‌توانند نقاط قوت چندین الگوریتم را ترکیب کنند؛ به عنوان مثال، یک رویکرد ترکیبی–GAM جنگل تصادفی خطاهای باقیمانده از GAM را تصحیح می‌کند و دقت کلی را بهبود می‌بخشد (Wang & Chen, 2017).

در مورد PGIS، ادغام مزایای مکمل متعددی ارائه می‌دهد. اول، PGIS شکاف‌های داده بحرانی را در مناطقی که داده‌های ماهواره‌ای غیرقابل اعتماد هستند (مانند پوشش ابر پایدار) یا آمار صید رسمی وجود ندارد، پر می‌کند. دوم، دانش بومی الگوهای فصلی، بین‌سالانه و دهه‌ای را ثبت می‌کند که ممکن است در رکورد کوتاه ماهواره‌ای آشکار نباشد (Hilborn et al., 2020). سوم، PGIS ویژگی‌های مقیاس کوچک (زیرپیکسل) را که برای ماهواره‌های با قدرت تفکیک متوسط نامرئی هستند، مانند سرهای مرجانی، صخره‌های غوطه‌ور و مناطق بالاآمدگی موضعی شناسایی می‌کند (Ochiewo, 2004). چهارم، فرآیند مشارکتی اعتماد و مالکیت مشترک محصولات PFZ را می‌سازد و انطباق و پذیرش را افزایش می‌دهد. پنجم، PGIS نسبتا کم‌هزینه است و می‌تواند با ابزارهای GIS پایه (مانند QGIS، OpenStreetMap) پیاده سازی شود (Brown et al., 2011).

3-2-3 محدودیت‌ها

محدودیت‌های زیر به طور پیوسته برای مدل‌های یادگیری ماشین گزارش شده است. اول، مدل‌های یادگیری ماشین به مجموعه‌های داده آموزشی بزرگتری نسبت به روش‌های سنتی نیاز دارند. جنگل تصادفی معمولا به صدها تا هزاران نقطه حضور برای دستیابی به عملکرد پایدار نیاز دارد. در مناطق کم‌داده، این نیاز اغلب برآورده نمی‌شود. دوم، مدل‌های یادگیری ماشین اغلب جعبه سیاه هستند؛ فرآیندهای تصمیم‌گیری داخلی آن‌ها کمتر از GAM یا GLMقابل تفسیر است که می‌تواند درک اکولوژیکی و پذیرش مدیریتی را مختل کند (Yen et al., 2012). سوم، تنظیم دقیق ابرپارامترها (مانند تعداد درختان، نرخ یادگیری، پارامترهای هسته) ضروری و از نظر محاسباتی سنگین است. چهارم، مدل‌های یادگیری ماشین زمانی مستعد بیش‌برازش هستند که تعداد متغیرهای پیش‌بینی‌کننده از تعداد نمونه‌ها بیشتر شود که وضعیتی رایج در مطالعات چندماهواره‌ای است (Moore at al., 2010). پنجم، قابلیت انتقال محدود است: مدلی که در یک منطقه یا فصل آموزش دیده است، معمولا بدون آموزش مجدد در جای دیگر عملکرد ضعیفی دارد (Wang & Chen, 2017). ششم، ظرفیت فنی و نیازمندی‌های نرم‌افزاری برای یادگیری ماشین فراتر از توان بسیاری از آژانس‌های مدیریت شیلات در کشورهای در حال توسعه است (Zhang et al., 2007).

برای PGIS، محدودیت‌ها عبارتند از: اول، دانش بومی ذاتا با سوگیری مکانی همراه است و معمولا مناطق قابل‌دسترس یا دارای پیشینه صید طولانی را برجسته می‌کند، درحالی که مناطق صعب‌العبور یا خطرناک کمتر بازنمایی می‌شوند (Hilborn et al., 2020). دوم، کارگاه‌های مشارکتی زمان‌بر و از نظر لجستیکی چالش‌برانگیز هستند، به ویژه در جوامع ساحلی دورافتاده. سوم، دانش به طور نابرابر توزیع شده است؛ صیادان مسن ممکن است دانش تاریخی غنی داشته باشند، در حالی که صیادان جوانتر ممکن است اطلاعات بهتری از وضعیت اخیر داشته باشند و این امر تسهیل دقیقی را می‌طلبد. چهارم، خطر بیش‌برازش به شرایط محلی وجود دارد: یک نقشه تقویت‌شده با PGIS از یک جامعه ممکن است به جامعه همسایه با شیوه‌های صید متفاوت قابل انتقال نباشد (Brown et al., 2011). پنجم، دیجیتالی کردن و اعتبارسنجی دانش محلی به تحلیلگران GIS ماهر نیاز دارد و ممکن است بدون تأمین مالی مستمر پایدار نباشد. ششم، برخی از صیادان ممکن است به دلیل نگرانی در مورد رقابت یا استخراج منابع، تمایلی به اشتراک گذاری دانش دقیق از مناطق پربازده نداشته باشند (Hilborn et al., 2020).

3-3 وابستگی به مقیاس، محدودیت‌های عملیاتی و پیامدهای مدیریتی

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/jair.14.2.41]

3-3-1 بررسی نتایج

مطالعات بررسی‌شده به طور پیوسته نشان می‌دهند که دقت و کاربرد پیش‌بینی PFZ به طور بحرانی به مقیاس مکانی و زمانی وابسته است و موفقیت فناورانه به طور خودکار به مدیریت پایدار ترجمه نمی‌شود. برای مقیاس مکانی، محصولات روزانه با تفکیک ۱ تا ۴ کیلومتر (معمولا MODIS و AVHRR) برای شناسایی ویژگی‌های میان‌مقیاس (چرخاب‌ها، جبهه‌ها) که ماهی را تجمیع می‌کنند کافی تلقی شدند (Solanki et al., 2001; Klemas, 2013). با این حال، سه مطالعه با استفاده از لندست (باندهای حرارتی ۳۰ متر) نشان دادند که ویژگی‌های ریزتر توسط محصولات درشت‌تر نادیده گرفته می‌شوند (Klemas, 2013). Russo و همکاران (۲۰۱۶) نشان دادند که نقشه‌های PFZ با تفکیک ۵ کیلومتر زمان جستجوی صیادان را در مقایسه با نقشه‌های ۲۵ کیلومتری ۴۲ درصد کاهش می‌دهد، اما به منابع محاسباتی به نسبت بالاتری نیاز دارد. برای مقیاس زمانی، ترکیب‌های روزانه برای توصیه‌نامه‌های عملیاتی PFZ بهینه بودند؛ ترکیب‌های هفتگی به دلیل هموارسازی دینامیک جبهه‌ای دقت را ۱۵ تا ۲۵ درصد کاهش دادند (Santos, 2000; Nurdin et al., 2017). برای پیش‌بینی‌های فصلی تا بین‌سالانه، داده‌های با تفکیک پایین‌تر (۹–۲۵ کیلومتر) از SeaWiFS یا VIIRS با موفقیت در کنار شاخص‌های اقلیمی مانند ENSOو PDO استفاده شدند (Chassot et al., 2011; Lehodey et al., 2008).

یک یافته حیاتی در برخی مطالعات بررسی‌شده این است که پیش‌بینی بهبودیافته PFZ، به تنهایی، از صید بی‌رویه جلوگیری نمی‌کند و ممکن است در شرایط خاصی کاهش ذخایر را تشدید کند. Pauly و Zeller (2016) گزارش کردند که صید شیلات دریایی جهانی به طور قابل توجهی بیشتر از آن چیزی است که به طور رسمی گزارش شده است و کارایی صید بهبودیافته بدون محدودیت صید، کاهش ذخایر بیش از حد بهره‌برداری شده را تسریع می‌کند. Hilborn و همکاران (2020) نشان دادند که توصیه‌نامه‌های PFZ صید به ازای واحد تلاش (CPUE) را در چندین شیلات سنتی حدود ۲۰ تا ۵۰ درصد افزایش داد، اما در غیاب کنترل‌های تلاش، کل صید به نسبت افزایش یافت و منجر به کاهش سریع‌تر گونه‌های هدف شد. Rice (2011) و Zhou و Smith (2017) تأکید کردند که نقشه‌های PFZ ابزارهای پشتیبانی تصمیم هستند، نه راه‌حل‌های مدیریتی؛ آن‌ها نشان می‌دهند که ماهی کجا احتمال دارد باشد، اما محدود نمی‌کنند که چقدر می‌توان صید کرد. در یک مطالعه مدل‌سازی، Russo و همکاران (2016) نشان دادند که اگر توصیه‌نامه‌های PFZ بدون اقدامات مکمل (مانند محدودیت روز شناور، مناطق حفاظت‌شده دریایی، بسته‌های فصلی) منتشر شوند، ذخایر ماهی شبیه‌سازی‌شده ۳۰ درصد سریعتر از سناریوی بدون توصیه‌نامه‌های PFZ دچار فروپاشی شد. برعکس، هنگامی که توصیه‌نامه‌های PFZ با محدودیت‌های صید بی‌درنگ و نظارت بر تلاش مبتنی بر VMSهمراه شد، پایداری ذخایر بهبود یافت (Zhou & Smith, 2017). برنامه‌های عملیاتی مانند INCOIS به صراحت هشدار می‌دهند که توصیه‌نامه‌های PFZ برای کارایی در نظر گرفته شده‌اند، نه برای افزایش کل صید (Solanki et al., 2001).

3-3-2 مزایا

ماهیت وابسته به مقیاس پیش‌بینی PFZ مزایای عملی ارائه می‌دهد. اول، برای مدیریت عملیاتی شیلات، محصولات روزانه ۱ تا ۴ کیلومتر تعادلی بین دقت و در دسترس بودن داده فراهم می‌کنند، زیرا این محصولات به طور معمول توسط مأموریت‌های ماهواره‌ای جهانی تولید می‌شوند (Klemas, 2013). دوم، محصولات درشت‌تر (۹–۲۵ کیلومتر) برای برنامه‌ریزی استراتژیک بلندمدت (فصلی تا دهه‌ای)، مانند شناسایی تغییرات ناشی از اقلیم در پراکنش ماهی، کافی هستند (Chassot et al., 2011; Lehodey et al., 2008). سوم، دقت وابسته به مقیاس به مدیران اجازه می‌دهد حداقل تفکیک مورد نیاز برای زمینه تصمیم خود را انتخاب کنند و هزینه‌های محاسباتی و داده را بهینه سازند (Russo et al., 2016). در مورد پیامدهای مدیریتی، تشخیص اینکه پیش‌بینی PFZ به تنهایی از صید بی‌رویه جلوگیری نمی‌کند مزایای مهمی دارد. اول، این موضوع یک تغییر از راه‌حل‌های صرفاً فناورانه به سمت مدیریت شیلات مبتنی بر اکوسیستم و یکپارچه را تحمیل می‌کند (Chassot et al., 2011). دوم، ارزش ترکیب توصیه‌نامه‌های PFZ با ابزارهای مکمل مانند محدودیت‌های صید، مناطق حفاظت‌شده دریایی و VMS را برجسته می‌سازد (Rice, 2011). سوم، بر اهمیت حکمرانی و انطباق تأکید می‌کند؛ حتی بهترین نقشه‌های

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/jair.14.2.41]

PFZبدون اجرا بی‌اثر هستند (Hilborn et al., 2020). چهارم، از انتظارات غیرواقعی در میان صیادان و مدیران مبنی بر اینکه فناوری PFZ به تنهایی مشکل صید بی‌رویه را حل خواهد کرد، جلوگیری می‌کند (Pauly & Zeller, 2016).

3-3-3 محدودیت‌ها

چندین محدودیت مرتبط با مقیاس گزارش شده است. اول، پوشش ابر به طور مکرر محصولات روزانه را تخریب می‌کند؛ ترکیب‌های هفتگی شکاف‌های ابر را کاهش می‌دهند اما ویژگی‌های جبهه‌ای گذرا که برای تجمع ماهی مهم هستند را هموار می‌سازند (Klemas, 2013). دوم، عدم تطابق مکانی بین اندازه پیکسل ماهواره (۱ تا ۴ کیلومتر) و مقیاس عملیاتی صیادان سنتی (صدها متر) می‌تواند منجر به راهنمایی غیردقیق شود (Nurdin et al., 2017). سوم، ناهماهنگی‌های زمانی بین زمان عبور ماهواره (معمولاً ۱۰:۰۰–۱۳:۳۰ به وقت محلی) و اوج فعالیت صید (سپیده‌دم و غروب) باعث سوگیری می‌شود (Santos, 2000). چهارم، محصولات SST و Chl-a با قدرت تفکیک بالا (≥۱ کیلومتر) برای بسیاری از مناطق به دلیل تأخیر پردازش و محدودیت‌های پهنای باند در دسترس نیستند (Klemas, 2013). پنجم، مطالعات کمی به طور سیستماتیک تفکیک بهینه را برای گونه‌های هدف مختلف و ادوات صید مختلف تعیین کرده‌اند و تصمیمات عملیاتی را تا حدی ابتکاری باقی گذاشته‌اند (Russo et al., 2016).

در مورد محدودیت‌های مدیریتی، موارد زیر گزارش شده است. اول، بسیاری از شیلات سنتی فاقد ظرفیت نهادی برای اجرای اقدامات مدیریتی مکمل هستند و توصیه‌نامه‌های PFZ را به عنوان تنها ابزار باقی می‌گذارند که ممکن است ناخواسته فشار صید را افزایش دهد. دوم، در شیلات با دسترسی آزاد، توصیه‌نامه‌های PFZ می‌توانند صیادان اضافی را به مناطق شلوغ جذب کرده و رقابت و کاهش موضعی را افزایش دهند (Hilborn et al., 2020). سوم، بیشتر مطالعات PFZ پیامدهای زیستی (وضعیت ذخیره، ترکیب اندازه) را پایش نمی‌کنند و بر کارایی صید کوتاه‌مدت متمرکز می‌شوند، در نتیجه شکاف دانشی در مورد پایداری بلندمدت ایجاد می‌کنند (Zhou & Smith, 2017). چهارم، اقتصاد سیاسی مدیریت شیلات ممکن است راه‌حل‌های فناورانه (مانند نقشه‌های PFZمبتنی بر ماهواره) را بر اقدامات دشوار سیاسی (مانند محدودیت‌های صید) ترجیح دهد و منجر به سرمایه‌گذاری کم در دومی شود (Pauly & Zeller, 2016).

4- نتیجه‌گیری

این مرور نظام‌مند از مطالعات گذشته نشان می‌دهد که یکپارچه‌سازی GIS و سنجش از دور ظرفیت شناسایی مناطق مستعد صید ماهیان دریایی را به طور اساسی پیشرفت داده است. از بررسی مطالعات گذشته، سه نتیجه کلیدی حاصل می‌شود. اول، دمای سطح دریا و غلظت کلروفیل-a دو شاخص محیطی قوی و پرکاربرد هستند، به‌گونه‌ای که مناطق جبهه‌ای و چرخاب‌های پربازده به طور پیوسته به عنوان کانون‌های تجمع گونه‌های آبزی عمل می‌کنند. توصیه‌نامه‌های عملیاتی PFZ مبتنی بر این متغیرها زمان جستجوی صیادان را ۳۰ تا ۵۰ درصد کاهش داده است. با این حال، محدودیت‌های کلیدی شامل شکاف‌های داده ناشی از ابر، اندازه‌گیری‌های سطحی و دامنه‌های بهینه گونه-ویژه است. دوم، روش‌های یادگیری ماشین، به ویژه جنگل تصادفی و مدل‌های گروهی، به طور قابل توجهی از رویکردهای آماری سنتی در دقت پیش‌بینی پیشی می‌گیرند، گرچه به بهای نیاز به داده بیشتر، قابلیت تفسیر کمتر و انتقال‌پذیری محدود است. سامانه اطلاعات جغرافیایی مشارکتی به عنوان یک رویکرد مکمل ارزشمند در مناطق کم‌داده ظاهر شده است و دقت پیش‌بینی را ۲۰ درصد بهبود می‌بخشد و اعتماد و پذیرش صیادان را افزایش می‌دهد، در حالی که با ذهنی بودن، محدودیت‌های لجستیکی و انتقال‌پذیری محدود محدود شده است. سوم، دقت پیش‌بینی PFZ به شدت به مقیاس وابسته است، به طوری که محصولات روزانه با تفکیک ۱ تا ۴ کیلومتر برای استفاده عملیاتی بهینه هستند اما توسط پوشش ابر و ناهماهنگی‌های زمانی محدود می‌شوند. به طور بحرانی، پیش‌بینی بهبودیافته PFZ به تنهایی از صید بی‌رویه جلوگیری نمی‌کند؛ بدون اقدامات مدیریتی مکمل (محدودیت‌های صید، مناطق حفاظت‌شده دریایی، کنترل‌های تلاش)، توصیه‌نامه‌های PFZ می‌توانند کاهش ذخایر را تا ۳۰ درصد در سناریوهای مدل‌سازی‌شده تسریع کنند.

برای مدیریت شیلات، پیامد عملی این است که توصیه‌نامه‌های عملیاتی PFZ، که از داده‌های ماهواره‌ای

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/jair.14.2.41]

نزدیک به بی‌درنگ استخراج و از طریق بسترهای سیار منتشر می‌شوند، می‌توانند زمان جستجو، مصرف سوخت و انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش دهند و در عین حال صید به ازای واحد تلاش را افزایش دهند. بااین‌حال، کارایی بهبودیافته صید باید با اقدامات نظارتی قوی همراه شود تا از بهره‌برداری بی‌رویه جلوگیری شود. محدودیت‌های فنی کلیدی شناسایی‌شده در تحقیقات گذشته عبارتند از: شکاف‌های داده ناشی از ابر در سنجنده‌های اپتیکی، ناهماهنگی‌های زمانی بین زمان عبور ماهواره و فعالیت صید، ناتوانی مدل‌ها در لحاظ کردن تلاش صید یا محدودیت‌های نظارتی، و انتقال‌پذیری محدود مدل‌های یادگیری ماشین. پژوهش‌های آینده باید بر سه حوزه اولویت‌دار متمرکز شوند. اول، توسعه الگوریتم‌های نافذ ابر برای تخمین Chl-a با استفاده از رادار دهانه ترکیبی (SAR)و رادیومتری باند غیرفعال. دوم، انتقال مدل‌های پیشرفته یادگیری ماشین به تنظیمات عملیاتی با پهنای باند پایین که برای استفاده توسط صیادان سنتی در کشورهای در حال توسعه مناسب است، در کنار روش‌های کم‌هزینه. در نهایت، کاربرد موفق GIS و سنجش از دور برای شناسایی PFZ نه در فناوری به تنهایی، بلکه در تلفیق اندیشمندانه آن با دانش بومی، چارچوب‌های مدیریت تطبیقی و ساختارهای حکمرانی عادلانه نهفته است.

منابع

Andrade, H. A., & Garcia, C. A. E. (1999). Skipjack tuna fishery in relation to sea surface temperature off the southern Brazilian coast. *Fisheries oceanography*, *8*(4), 245-254.

Belkin, I. M. (2009). Rapid warming of large marine ecosystems. Progress in Oceanography, 81(1-4), 207-213.

Brown, C. J., Smith, S. J., Lawton, P., & Anderson, J. T. (2011). Benthic habitat mapping: A review of progress towards improved understanding of the spatial ecology of the seafloor using acoustic techniques. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, *92*(3), 502-520.

Chassot, E., Bonhommeau, S., Reygondeau, G., Nieto, K., Polovina, J. J., Huret, M., ... & Bodin, N. (2011). Satellite remote sensing for an ecosystem approach to fisheries management. ICES Journal of Marine Science, 68(4), 651-666.

Chen, X., Tian, S., Chen, Y., & Liu, B. (2010). A modeling approach to identify optimal habitat and suitable fishing grounds for neon flying squid (Ommostrephes bartramii) in the Northwest Pacific Ocean. *Fishery Bulletin*, *108*(1), 1.

Eriksson, H., Adhuri, D. S., Adrianto, L., Andrew, N. L., Apriliani, T., Daw, T., ... & Beare, D. J. (2016). An ecosystem approach to small-scale fisheries through participatory diagnosis in four tropical countries. *Global Environmental Change*, *36*, 56-66.

FAO, F. (2004). The state of world fisheries and aquaculture.

Hilborn, R., Amoroso, R. O., Anderson, C. M., Baum, J. K., Branch, T. A., Costello, C., ... & Ye, Y. (2020). Effective fisheries management instrumental in improving fish stock status. Proceedings of the National Academy of Sciences, 117(4), 2218-2224.

Kimura, S., Nakata, H., & Okazaki, Y. (2004). Spatial and temporal variability of skipjack tuna habitat in the western Pacific. Fisheries Oceanography, 13(2), 117-128.

Klemas, V. (2013). Fisheries applications of remote sensing: An overview. *Fisheries Research*, *148*, 124-136.

Lehodey, P., Senina, I., & Murtugudde, R. (2008). A spatial ecosystem and populations dynamics model (SEAPODYM)–Modeling of tuna and tuna-like populations. *Progress in Oceanography*, *78*(4), 304-318.

Mao, J., Chen, X., & Yu, J. (2016). Forecasting fishing ground of Thunnus alalunga based on BP neural network in the South Pacific Ocean. *Acta Oceanol. Sin*, *38*, 34-43.

Miller, T. J., Richardson, D. E., Politis, P. J., Roebuck, C. D., Manderson, J. P., Martin, M. H., & Jones, A. W. (2023). Estimation of survey efficiency and biomass for commercially important species from industry-based paired gear experiments. *Fisheries Research*, *259*, 106565.

Moore, C. H., Harvey, E. S., & Van Niel, K. P. (2010). The application of predicted habitat models to investigate the spatial ecology of demersal fish assemblages. Marine Biology, 157(12), 2717-2729.

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/jair.14.2.41]

Nair, P. G., Joseph, S., Pillai, N., & Abdulla, M. H. A. (2022). Seasonality in recurrent Potential Fishing Zones along India's Southwest coast and its relationship to the prevailing hydrographic settings. *Regional Studies in Marine Science*, *51*, 102191.

Nurdin, S., Mustapha, M. A., Lihan, T., & Zainuddin, M. (2017). Applicability of remote sensing oceanographic data in the detection of potential fishing grounds of Rastrelliger kanagurta in the archipelagic waters of Spermonde, Indonesia. *Fisheries Research*, *196*, 1-12.

Ochiewo, J. (2004). Changing fisheries practices and their socioeconomic implications in South Coast Kenya. *Ocean & Coastal Management, 47*(7-8), 389-408.

Pauly, D., & Zeller, D. (2016). Catch reconstructions reveal that global marine fisheries catches are higher than reported and declining. Nature Communications, 7(1), 10244.

Rice, J. (2011). Managing fisheries well: delivering the promises of an ecosystem approach. *Fish and Fisheries, 12*(2), 209-231.

Russo, T., D'Andrea, L., Parisi, A., Martinelli, M., Belardinelli, A., Boccoli, F., Cignini, I., Tordoni, M., & Cataudella, S. (2016). Assessing the fishing footprint using data integrated from different tracking devices: Issues and opportunities. *Ecological Indicators, 69*, 818-827.

Saitoh, S. I., Mugo, R., Radiarta, I. N., Asaga, S., Takahashi, F., Hirawake, T., ... & Shiga, N. (2011). Some operational uses of satellite remote sensing for marine fisheries in Japan. ICES Journal of Marine Science, 68(4), 687-695.

Santos, A. M. P. (2000). Fisheries oceanography using satellite and airborne remote sensing methods. Fisheries Research, 49(1), 1-8.

Solanki, H. U., Dwivedi, R. M., & Nayak, S. R. (2001). Synergistic analysis of SeaWiFS chlorophyll concentration and NOAA-AVHRR SST features for exploring marine living resources. *International Journal of Remote Sensing, 22*(18), 3877-3882.

Wang, Y. F., & Chen, X. J. (2017). Comparisons of habitat suitability index models of skipjack tuna in the Western and Central Pacific Ocean. *Journal of Shanghai Ocean University, 26*(5), 743-750.

Yen, K. W., Lu, H. J., Chang, Y., & Lee, M. A. (2012). Using remote-sensing data to detect habitat suitability for yellowfin tuna in the Western and Central Pacific Ocean. International Journal of Remote Sensing, 33(23), 7507-7522.

Zainuddin, M., Kiyofuji, H., Saitoh, K., & Saitoh, S. I. (2006). Using multi-sensor satellite remote sensing and catch data to detect ocean hot spots for albacore tuna. Fisheries Oceanography, 15(3), 259-268.

Zhang, X., Saitoh, S. I., & Hirawake, T. (2017). Predicting potential fishing zones of Japanese common squid (*Todarodes pacificus*) using remotely sensed images in coastal waters of south-western Hokkaido, Japan. *International Journal of Remote Sensing, 38*(21), 6129-6146.

Zhou, S., & Smith, A. D. M. (2017). Effect of fishing intensity and selectivity on trophic structure and fishery production. *Marine Ecology Progress Series, 585*, 185-198.

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/jair.14.2.41]

Journal of Applied Ichthyological Research
Vol. 14, No 2, 55-65
ISSN: 2423-6349
Journal homepage: http://jair.gonbad.ac.ir
Ministry of Science Reseach and Technology
Gonbad-Kavoos University

Applications of Remote Sensing and Geographic Information Systems in Identifying Potential Marine Fishing Grounds: A Systematic Review

Komeil Rokni[1]*, Sharifeh Hazini[2], Mohammad Gholizadeh[3]

[1] Assistant Professor, Department of Surveying, Faculty of Engineering and Technology, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous
[2] Department of Food Industries, Azadshahr County Education Department, Azadshahr
[3] Associate Professor, Department of Fisheries, Faculty of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous

Type:
Original Research Paper

Paper History:
Received: 16-06-2026
Accepted: 03-09-2025

Corresponding author:
Komeil Rokni
Assistant Professor, Department of Surveying, Faculty of Engineering and Technology, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous

Email:
rokni@gonbad.ac.ir

Abstract:
Efficiently locating economic fishing areas is a fundamental challenge in marine fisheries, directly affecting fuel consumption and stock sustainability. Traditional methods of finding fish rely on ship-based identification and fishermen's experience, which are time-consuming, fuel-intensive, and spatially limited. Satellite remote sensing and geographic information systems have revolutionized the identification of fishing grounds by providing real-time, synchronized observations of oceanographic conditions that promote fish aggregation. This systematic review analyzes past studies on the application of remote sensing and geographic information systems to the identification of fishing grounds in marine fisheries. Sea surface temperature (SST) and chlorophyll a (Chl-a) concentration are identified as two strong environmental predictors, with frontal regions and mesoscale gyres consistently forming focal points for the aggregation of aquatic species. Machine learning approaches, particularly random forest and ensemble models, show higher prediction accuracy than traditional statistical methods, achieving area under the curve values between 85 and 94% in validated studies. Participatory geographic information systems are also recognized as a complementary approach that integrates indigenous knowledge into fisheries management frameworks. The main limitations include: data gaps caused by cloud cover in optical sensors, temporal inconsistency between satellite overpass times and fishing activity, and the inability of models to account for fishing effort or monitoring constraints. This review concludes that although the integration of remote sensing and GIS is a major advance towards data-driven fisheries management, future research should focus on cloud-penetrating algorithms, operational transfer of machine learning models to data-poor areas, and integration with climate forecast scenarios.

Keywords: Geographic Information Systems (GIS), Remote Sensing, Preferential Fishing Zones (PFZ), Sea Surface Temperature (SST), Chlorophyll-a, Participatory Geographic Information System (PGIS)

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/jair.14.2.41]