"مقاله پژوهشی"

بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی مصرفی در پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین کمان در دشت مازندران

محمدحسین طهماسبی[۱]، محسن مسعودیان[۱*]، فرشته نیکزاد[۱]

۱- گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۴/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۷/۹

چکیده

دشت مازندران از لحاظ منابع آبی جایگاه قابل قبولی داراست. با وجود مراکز متعدد پرورش ماهی با مصرف قابل‌توجهی از آب‌های زیرزمینی، پایش بهینه و مستمر کیفیت آب مصرفی در این صنعت یک ضرورت به‌حساب می‌آید. در مطالعه حاضر داده‌های کیفی pH، سختی کل، هدایت الکتریکی، کل جامدات محلول و نیترات نمونه‌برداری‌شده در سال ۱۳۹۹ از آب ۱۵۰ چاه مشاهده‌ای دشت مازندران که نزدیک‌ترین چاه به مزارع پرورش ماهی سردآبی بودند، بررسی شده و نمونه‌ها با استانداردهای کیفی آب ماهیان سردآبی ملی ایران مقایسه شد همچنین میزان دبی مصرفی با توجه به میزان تولید در مراکز پرورش ماهی منطقه بررسی شد. pH، هدایت الکتریکی در محدوده استاندارد ملی ایران بودند اما نیترات و جامدات محلول و سختی‌کل در قسمت‌های شرقی منطقه در محدوده استاندارد ملی قرار نداشتند. با مقایسه میزان جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) در روش‌های کریجینگ، گرادیان خطی و روش وزنی عکس فاصله مشخص نمود که روش وزنی عکس فاصله برای ارزیابی آماری کیفی آب زیرزمینی دشت مازندران بهتر از روش‌های دیگر است که نقشه‌های پهنه‌بندی کیفی پارامترها با همین روش با نرم‌افزار GIS ترسیم شد. از مقایسه مقادیر ثبت شده پارامترها با استانداردها دریافت شد که کیفیت پارامترها به ترتیب از سمت غرب به شرق دشت مازندران دارای روند کاهشی و از شمال به جنوب روندی افزایشی بود. در مجموع کیفیت آب دشت مازندران برای توسعه مراکز پرورش ماهی در مناطق مرکزی و غربی مناسب‌تر شناخته شد.

واژه‌های کلیدی: آبزی‌پروری، آب زیرزمینی، ارزیابی کیفی، استانداردهای کیفی آب، مازندران

*عهده‌دار مکاتبات: masoudian@sanru.ac.ir

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.22034/17.4.25]

مقدمه

بسیاری از صاحب‌نظران بر این باورند که کاهش فزآینده میزان بارش‌های جوی به دلیل تاثیرات گرمایش جهانی و همچنین استفاده بیش از پیش و بی‌رویه از منابع آب، موجب قرار گرفتن کشور دردر شرایط تنش آبی شده است و متاسفانه شرایط به سمت بحران آبی پیش می‌رود. حداکثر میزان مجاز برای استفاده از منابع آب تجدیدشونده ۶۰ درصد است اما اکنون از حدود ۱۲۰ میلیارد مترمکعب منابع آب تجدیدشونده کشور (سطحی و زیرزمینی)، بیش از ۹۶ میلیارد مترمکعب آن (بیش از ۸۰ درصد) مصرف می‌شود که موجب وارد آمدن فشار زیادی به منابع طبیعی کشور شده است. لذا با عنایت به محدودیت‌های جدی در بکارگیری منابع ارزشمند آب شیرین کشور، لازم است هر چه سریع تر با بهره‌گیری از یافته‌های پژوهشی و تجارب بین‌المللی ذیربط، پژوهش‌های تکمیلی در راستای استفاده بهینه شیلاتی از این منابع حیاتی و همچنین جایگزینی آن‌ها با سایر منابع آبی (لب شور، شور و غیرمتعارف)، اجرا گردد (شریفیان و همکاران، ۱۳۹۷). آبزی‌پروری به‌عنوان یکی از زیر بخش‌های کشاورزی، نقش مهمی در تأمین غذا در هر جامعه انسانی ایفا می‌نماید (بنی‌اسد و همکاران، ۱۳۸۹) که وابسته به سبد کالای مصرفی خانوارها در هر منطقه جغرافیایی، این جایگاه متفاوت است (دهدشتی و صیدزاده، ۱۳۸۵) پراکنش قزل‌آلای رنگین‌کمان به‌عنوان یک ماهی سردآبی در جهان موجب گردید تا این گونه در کشور ایران، رتبه اول میزان تولید را در بین آبزیان پرورشی به خود اختصاص دهد (عادلی، ۱۳۹۳). میزان پرورش ماهیان سردآبی کشور در سال ۱۳۹۳، ۱۲۶۰۰ تن بوده که در سال ۱۳۹۸، به ۱۸۲۶۰۱ تن افزایش یافته‌است. همچنین تعداد مزارع پرورش ماهی سردآبی کشور در سال ۱۳۹۳، ۴۸۳۷ باب بوده که در سال ۱۳۹۸ به ۷۱۱۲ باب افزایش یافته است (صیدگر و همکاران، ۱۴۰۱). شرایط فیزیکی و شیمیایی محیطی که ماهی در آن زندگی می‌کند تأثیر عمده‌ای بر روی رشد، سرعت و کیفیت رشد ماهی، بازدهی و کارایی پرورش ماهی دارد یکی از مهم‌ترین وظایف در مدیریت آبزی‌پروری، تنظیم کیفیت آب است. پیش‌بینی دقیق کیفیت آب برای تصمیم‌گیری‌ها در هنگام کنترل کیفیت آب، تنظیم برنامه آب آبزی-پروری و رسیدگی به اوضاع کیفیت آب است. اسیدیته (pH)، دما، غلظت اکسیژن، شوری و سختی آب باید به‌صورت منظم تحت کنترل باشند و هرگونه تغییر در هرکدام از این پارامترها باید به سرعت بررسی و در صورتی‌که ریسک آسیب به ماهی را بالا ببرد، برطرف شود (Xu and Liu, 2013).

کنترل مناسب کیفیت آب برای حفظ غلظت پارامترهای محیطی آب در محدوده بهینه می‌تواند سرعت رشد ماهی را افزایش دهد، بر میزان استفاده از رژیم غذایی اثرگذار باشد و باعث کاهش وقوع بیماری‌های ماهی در مقیاس بزرگ شود (Dos Santos *et al.*, 2008). موفقیت و سودآوری تولید آبزیان به‌شدت وابسته به مدیریت مناسب در طول دوره پرورش است. این مدیریت مترادف با مدیریت آب است، زیرا کیفیت و کمیت مناسب آب، پیش‌نیاز هر گونه آبزی‌پروری موفق است. آگاهی از محیط (آب) امکان مدیریت بهتر را افزایش می‌دهد (Anyadike *et al.*, 2012).

کیفیت ضعیف آب می‌تواند منجر به سود کم، کیفیت محصول کم و خطرات بالقوه سلامت انسان شود (Philminaq, 2014). آب‌های زیرزمینی به‌عنوان

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.22034/17.4.25]

منابع آبی مطمئن به دلیل ثبات در خصوصیات کیفی و عدم تغییرات روزانه و فصلی و نیز عاری بودن از آلودگی‌های سمی و عوامل بیماری‌زا، برای پرورش آبزیان بسیار مناسب می‌باشند (روستا و همکاران، ۱۳۹۲). با نشان دادن روند و چگونگی تغییرات کیفی آب نسبت به زمان و مکان می‌توان جنبه مصرفی آن را از لحاظ شرب، کشاورزی یا صنعت مشخص نمود. مساله کمبود آب برای کشورهایی چون ایران که دارای آب و هوای خشک و نیمه‌خشک است، به‌ویژه در دهه اخیر از اهمیت و حساسیت بیشتری برخوردار است (علیزاده، ۱۳۹۴).

بنافی و همکاران (۱۳۸۶) در تحقیق خود با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی به مکان‌یابی پرورش ماهیان سردآبی پرداختند و از ترکیب لایه‌های اطلاعاتی انتخاب شده برای پرورش ماهیان سردآبی، مناطق با تناسب خوب، متوسط و ضعیف را مشخص نمودند. همت‌یار و همکاران (۱۳۹۰) توان منابع آب زیرزمینی شهر سردشت را برای پرورش ماهی قزل‌آلا بررسی کردند و دریافتند که منابع آبی شهرستان در محدوده نسبتا مناسب و مناسب قرار دارد و هیچ محلی در محدوده نامناسب و کاملا مناسب قرار نگرفت. روستا و همکاران (۱۳۹۲) مکان‌یابی مناطق مناسب جهت پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان در دشت بهادران استان یزد با استفاده از GIS را بررسی کرده و به این نتیجه رسیدند که در مجموع برخی از چاه‌های حوزه بهادران از لحاظ ویژگی‌های کیفی آب برای آبزی پروری دارای شرایط کاملاً مناسبی است. استفاده از روش پرورش دو منظوره (توأم با کشاورزی) و نیز پرورش در استخرهای ذخیره آب به‌منظور پرورش ماهی در منطقه مورد مطالعه مناسب‌تر است. حنیفی (۱۳۹۳) در تحقیق خود منابع آب زیرزمینی سردشت استان آذربایجان غربی را به جهت پرورش ماهی قزل‌آلا با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی را بررسی نمود و معیارهای مؤثر در مکان‌یابی استخرها را از ۴ بعد اصلی اکولوژیکی، اقتصادی، اجتماعی و زیرساختی شناسایی کرد در نتیجه این پژوهش از میان کل منابع آب بررسی‌شده، ۱۱۲ منبع در طبقه دارای توان خوب برای پرورش قزل‌آلا قرار گرفتند. Boyd و Laurence (۱۹۹۹) در پژوهش خود دریافت که pH می‌تواند بر سلامت ماهی تأثیرگذار باشد و برای بسیاری از گونه‌های آب شیرین محدوده pH بین ۵/۵ تا ۹ ایده‌آل است اما بیشتر حیوانات دریایی نمی‌توانند گستره وسیعی از pH آب را تحمل کنند. Boyd و Tucker (۲۰۱۲) بیان نمودند که pH کمتر یا بیشتر از این میزان، موجب کندی رشد و مانعی برای تولید مثل ماهی‌ها می‌گردد. تغییرات pH می‌تواند بر ارگانیسم‌های آبزی تأثیر بگذارد. pH بالا می‌تواند شکل سمی آمونیاک را شایع کند.

نیترات در محدوده وسیعی از شرایط محیطی پایدار و در آب بسیار محلول است. در مقایسه با دیگر ترکیب‌های نیتروژن، میزان سمی بودن آن حداقل است. بااین‌حال، مقدار بالای آن می‌تواند تنظیم اسمزی، انتقال اکسیژن و شکوفایی جلبکی را تحت تأثیر قرار دهد (Lawson, 1995). از راه‌های بالابردن تحمل ماهی قزل‌آلا در برابر نیترات، افزایش غلظت یون کلسیم است. وجود نیترات در داخل محیط‌های آبی می‌تواند مشکلات زیست‌محیطی از قبیل رشد ارگانیسم‌ها و جلبک‌ها و درنتیجه کاهش اکسیژن محلول (DO)[۲] محیط شود (احرام‌پوش و همکاران، ۱۳۹۷).

[۲] Dissolved Oxygen

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.22034/17.4.25]

هدایت الکتریکی خود تابعی از دماست و مقدار مناسب آن برای پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان ۴۳۲ میکروموس می‌باشد (فراهانی و همکاران، ۱۳۹۴). مقدار بهینه سختی آب برای پرورش ماهی در دامنه ۱۸۰-۲۰ میلی‌گرم بر لیتر است. سختی اندازه‌گیری عناصر قلیایی خاکی مانند کلسیم و منیزیم در یک پیکره‌ی آبزی به‌همراه یون‌های دیگر مانند آلومینیوم، آهن، منگنز، استرانسیم، روی و یون‌های هیدروژن است. کلسیم و منیزیم برای ماهی برای واکنش‌های متابولیکی مانند تشکیل استخوان و فلس ضروری هستند. مقدار ایده‌آل سختی توصیه‌شده برای پرورش ماهی حداقل ۲۰ میلی‌گرم در لیتر و محدوده ۳۰ تا ۱۸۰ میلی‌گرم در لیتر است (Santhosh and Singh, 2007). با توجه به Bhatnagar و همکاران (۲۰۱۳) مقادیر سختی کمتر از ۲۰ میلی‌گرم در لیتر باعث استرس می شود، ۷۵-۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر برای پرورش ماهی بهینه است و > ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر برای زندگی ماهی کشنده است زیرا pH را افزایش می‌دهد و در نتیجه منجر به در دسترس نبودن مواد مغذی می‌شود.

مصرف آب استان مازندران، به‌خصوص در سطح کشاورزی چشم‌گیر است و از طرفی مشکل بهره‌برداری نادرست و عدم حفاظت از این منابع خدادادی موجب تشدید مشکل تأمین آب شده‌است (غلامی و قربانی، ۱۳۹۱).

استان مازندران با وجود دارا بودن پوشش گیاهی فراوان، شرایط اقلیمی و جوی مساعد و هم‌چنین پتانسیل‌های بسیار در آب‌های زیرزمینی و سطحی، اما در بحث کمیت و کیفیت آب با مشکل رو به رو شده است. مازندران با تولید سالانه بیش از ۶ هزار تن ماهی سردآبی در مناطق دشت استان، از قطب‌های مهم پرورش ماهیان سردآبی در کشور است. منابع آبی مورد نیاز در این بخش، آب‌های زیرزمینی و خصوصا چاه‌ها با مصرف سالانه بیش از ۲۰ میلیون مترمکعب آب می‌باشند. مزارع پرورش ماهی سردآبی در محدوده‌ی وسیعی از غرب تا شرق استان پراکنده‌اند اما ضلع شمالی مرکز و نواحی غرب منطقه، خصوصا شهرهای آمل و تنکابن تراکم بیشتری را دارند (مسعودیان و نیک‌زاد، ۱۳۹۸). پرورش ماهیان سردآبی از شتاب و روند رو به رشدی برخوردار بوده و هنوز هم تقاضا برای احداث مزارع پرورش ماهیان سردآبی وجود دارد. از طرفی منابع آب محدود بوده و با توجه به روند فزاینده تقاضای پرورش ماهی، کمبود منابع آب موجود خودنمایی می‌کند. در کنار محدودیت منابع آب، افزایش تراکم استخرهای پرورشی به‌منظور افزایش تولید در واحد سطح، مدیریت فاکتورهای کیفی آب داخل استخر را تبدیل به چالشی جدی برای این صنعت نموده‌است (طاهری نسب و همکاران، ۱۴۰۱).

منابع آب شیرین با کیفیت برای تولید ماهیان سردآبی محدود بوده و با توجه به روند افزایشی تقاضای پرورش، منابع آب موجود کفایت نمی‌نماید (بابایی و همکاران، ۱۳۹۳). به این ترتیب لزوم مطالعات علمی، اصولی و هدف‌مند منابع آب زیرزمینی به منظور مدیریت صحیح کمی و کیفی از این منابع ضرورت پیدا می‌کند. براین اساس تحقیق حاضر قصد دارد با تمرکز بر مسأله یافتن مناطق دارای منابع آب مناسب با استاندارد آبزی‌پروری جهت استفاده در تولید ماهیان سردآبی به افزایش بهره‌وری آب کمک نماید. با نشان دادن چگونگی تغییرات مکانی کیفیت آب و توجه به وضعیت کیفی آب می‌توان پیش‌بینی‌های لازم را برای

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.22034/17.4.25]

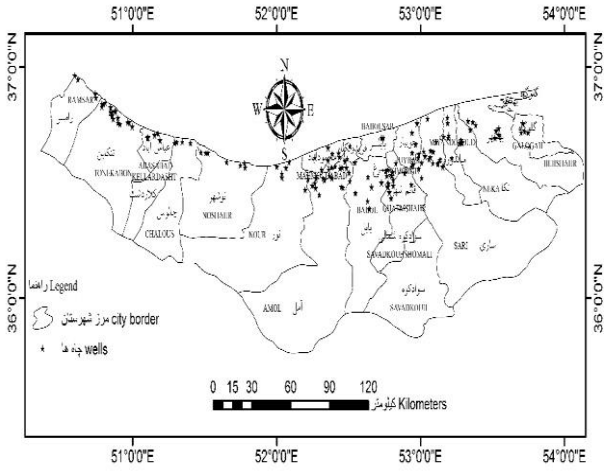
بهبود نحوه مصرف آب و کنترل آلایندگی‌های آن ارائه داد. بدین منظور در تحقیق حاضر سعی براین است که با تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی به بررسی تغییرات مکانی کیفی چاه‌های مشاهده‌ای در سطح دشت استان مازندران پرداخته و با مقایسه با استاندارد کیفی پرورش ماهیان سردآبی ملی ایران وکشورهای استرالیا، کنیا، مالزی، نیوزلند و فیلیپین، بهترین مناطق برای پرورش ماهیان سردآبی در استان شناسایی گردد و همچنین تغییرات مکانی میزان آب مصرفی در این صنعت در سطح استان با توجه به میزان تولید سالانه و وضعیت کیفی چاه‌های مشاهده‌ای مورد بررسی قرارگیرد.

مواد و روش‌ها

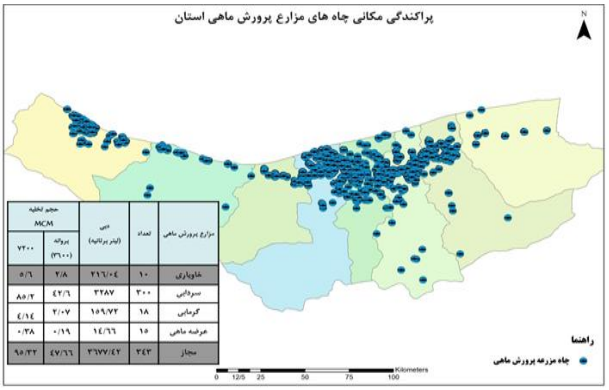
محدوده مطالعاتی

استان مازندران در شمال کشور ایران با وسعتی معادل ۲۳۷۵۶/۴ کیلومترمربع، حدود ۱/۴۶ درصد از مساحت کشور را در برداشته و هجدهمین استان از این حیث محسوب می‌گردد. این استان بین طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۴۴ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۱۰ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۷ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۳۵ دقیقه شمالی قرار دارد (پودینه و همکاران، ۱۳۹۴). طبق آمار اخذشده از اداره شیلات مازندران (۱۳۹۹) در این منطقه حدود ۲۲۰ مزرعه آبزی‌پروری بهره‌مند از آب چاه (شامل مزارع پرورش ماهیان سردآبی و خاویاری) وجود دارد (شکل ۱) که میزان دبی اختصاص داده شده به ازاء هر تن تولید ماهی قزل‌آلا حدود ۲ الی ۵ لیتر بر ثانیه می‌باشد. در شکل ۲ نحوه‌ی پراکندگی مراکز پرورش ماهی در استان مازندران نشان داده شده است.

داده‌های کیفی مورد بررسی به‌صورت میانگین سالانه شامل کل جامدات محلول، نیترات، سختی کل و pH آب چاه‌های مشاهده‌ای در ۶ حوضه چالوس- رامسر، نور- نوشهر، بابل- آمل، قائم‌شهر- جویبار، ساری- نکا و بهشهر- بندرگز در دشت مازندران می‌باشد که توسط سازمان آب منطقه‌ای مازندران از چاه‌های مشاهده‌ای در سال ۱۳۹۹ برداشت شد.



شکل ۱: موقعیت منطقه مطالعاتی (استان مازندران) و پراکنش مکانی چاه‌های پیزومتری شرکت آب منطقه‌ای مازندران



شکل ۲: پراکندگی مکانی چاه‌های مصرفی در مزارع پرورش ماهی در استان مازندران

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-04]
[DOI: 10.22034/17.4.25]

تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی

در انجام این پژوهش روش‌های مختلف آماری درون‌یابی ارزیابی شدند. روش‌های درون‌یابی نوعی تحلیل ریاضی- آماری هستند که با استفاده از آن‌ها می‌توان برای نقاطی که هیچ‌گونه برداشت اطلاعاتی انجام نشده، مقادیری را برآورد و به نقشه تبدیل نمود. روش‌های زمین‌آماری استفاده‌شده در این تحقیق شامل کریجینگ[۳]، روش وزنی عکس فاصله[۴] و روش گرادیان خطی[۵] هستند.

روش کریجینگ (Kriging)

در زمین‌آمار می‌توان با داشتن مقادیر یک کمیّت در مختصات معلوم، مقدار آن کمیّت را در نقطه دیگری با مختصات نامعلوم برآورد نمود، به شرط آن‌که مختصات مقدار نامعلوم در دامنه‌ای که ساختار فضایی حاکم است قرار گیرد (حسنی‌پاک، ۱۳۷۷؛ عسا کره، ۱۳۸۷). برآورد مقادیر متغیر با توزیع و ساختار فضایی و ارزیابی خطای همراه با این برآورد کریجینگ نامیده می‌شود (Davis, 1973).

روش وزنی عکس فاصله

در این روش وزن‌ها تنها با توجه به فاصله هر نقطه معلوم نسبت به نقطه مجهول و بدون توجه به نحوه پراکندگی نقاط حول نقطه مورد تخمین، تعیین می‌شوند. به نقاط نزدیک‌تر وزن بیشتر و به نقاط دورتر وزن کمتری داده می‌شود (Christie and Neill, 2022).

$$\lambda = \frac{D^{-\pi}}{\sum_{i=1}^{n} D_i^{-\pi}} \qquad (۱)$$

که در آن D_i فاصله iامین نقطه مشاهده‌شده تا نقطه مورد تخمین، π توان وزن دهی فاصله و n تعداد نقاط مجاوراست.

روش گرادیان خطی

در روش گرادیان خطی، فرض بر آن است که در راستای طول، عرض و ارتفاع منطقه، روند خطی وجود دارد که با برازش یک رابطهٔ رگرسیون خطی چندگانه بین متغیر اصلی و متغیرهای کمکی، میتوان در نقاط مختلف با داشتن طول و عرض و ارتفاع آن، مقدار متغیر اصلی را برآورد کرد (نادی و همکاران، ۱۳۹۱).

قبل از انجام آنالیز زمین‌آماری، همگنی داده‌ها به کمک نرم‌افزار Minitab بررسی و مشخص شد که تمام داده‌های مربوطه کاملا" تصادفی و همگن هستند. برای مقایسه دقت روش‌های درون‌یابی از شاخص‌های جذر میانگین مربعات خطا RMSE[۶] و میانگین درصد مطلق خطا MAPE[۷] استفاده شد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(A_t - F_t)^2}{n}} \qquad (۲)$$

[۳] Kriging
[۴] Inverse distance weighting
[۵] Linear gradient
[۶] Root Mean Square Error
[۷] Mean Absolute Percentage Error

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-04]
[DOI: 10.22034/17.4.25]

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^{n} \left| \frac{A_t - F_t}{A_t} \right|}{n} \times 100 \quad (۳)$$

در این تحقیق، برای مقایسه کمی نتایج از توزیع‌های مختلف آماری و تعیین مناسب‌ترین توزیع، از شاخص‌های آماری RMSE استفاده‌شد. RMSE نشان می‌دهد که پیش‌بینی‌ها تا چه حد اندازه‌گیری‌ها را بیشتر یا کمتر تخمین زده‌اند. هر چه مقدار این شاخص به صفر نزدیک‌تر باشد (تفاوت مقادیر پیش‌بینی‌شده و اندازه‌گیری شده کمتر باشد)، بهتر است (اسکندری و همکاران، ۱۳۸۷). رابطه ۳ شاخص آماری MAPE را توصیف می‌کند.

پس از انتخاب بهترین روش میان‌یابی مربوط به هر پارامتر، نقشه‌های پهنه‌بندی مکانی مربوط به پارامترهای کیفیت شامل نقشه پهنه‌بندی هدایت الکتریکی (EC)، جامدات محلول در آب (TDS)، pH آب، نیترات (NO^{3-}) و سختی کل (TH) و تغییرات مکانی میزان آب مصرفی برای تولید هر تن ماهی تهیه شد. لازم به ذکر است که کلیه مراحل تحلیل زمین‌آماری در محیط نرم‌افزاری ArcGIS10.8 صورت گرفته است.

استانداردهای کیفیت آب پرورش ماهی

استاندارد ملی آب استخر پرورش ماهی ایران ۸۷۲۶ ISIRI است. هدف از تدوین این استاندارد تعیین ویژگی‌های آب مزارع و استخرهای پرورش ماهی از گونه‌های گرمابی و سردآبی رایج در کشور است. پرورش‌دهندگان ماهی (مانند قزل‌آلای رنگین‌کمان یا کپور) با استفاده از این استاندارد می‌توانند از کیفیت آب استخرهای خود مطلع شوند. جدول ۱ محدوده شاخص‌های استاندارد آب استخر پرورش ماهی (برابر با استاندارد ملی ۸۷۲۶) را نشان داده است.

جدول ۱: محدوده شاخص‌های استاندارد آب استخر پرورش ماهی (استاندارد ملی ۸۷۲۶)

شاخص	دامنه مناسب برای ماهیان سردآبی
pH	۶/۵ – ۸
هدایت الکتریکی (mho/cm)	–
نیترات (mg/L)	–
سختی کل (mg/L)	>۴۰۰
کل جامدات محلول (mg/L)	>۲۰۰

هم‌چنین استانداردهای کیفیت آب و معیارهای مربوط به آبزی‌پروری در برخی از کشورها نیز در جدول ۲ نشان داده‌شده است (Philminaq, 2014).

جدول ۳ طیف متفاوتی از pH را نشان می‌دهد که برخی کشورها در حال اجرای آن هستند (Philminaq, 2014).

جدول ۲: استانداردهای کیفیت آب آبزی‌پروری در برخی از کشورها

شاخص	استرالیا	کنیا	مالزی	نیوزلند	فیلیپین
PH	۵ – ۹	۵–۹	۹ – ۶/۵	۵ – ۹	۸/۵ – ۶/۵
کل جامدات محلول (mg/L)	–	۱۲۰۰	۱۰۰۰ – ۵۰۰	–	–
نیترات (mg/L)	۵۰	–	۷	۵۰	۱۰

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-04]
[DOI: 10.22034/17.4.25]

جدول ۳: pH استاندارد مورداستفاده در برخی کشورها

کشور	دامنه مناسب pH
استرالیا	۹ – ۵
کانادا	۹ – ۶/۵
کنیا	۹ – ۵
مالزی	۹ – ۶/۵
نیوزلند	۹ – ۵
فیلیپین	۸/۵ – ۶/۵

تغییرات میزان آب مصرفی برای تولید

در مازندران با توجه به تغییرات کیفیت آب در مناطق مختلف از غرب تا شرق، میزان آب مصرفی برای تولید هر تن ماهی سردآبی متفاوت است. نقشه پهنه-بندی تغییرات میزان آب مصرفی برای تولید هر تن ماهی در یک چرخه تولید ترسیم و در شکل ۸ نمایش داده شد (آمار تولید سالیانه اداره شیلات مازندران، ۱۳۹۹).

نتایج

با توجه به روش‌های درون‌یابی ذکرشده، مناسب-ترین روش درون‌یابی و بهترین روش با کم‌ترین مقدار خطا برای تمامی عناصر موردبررسی، در جدول ۴ نشان داده‌شده است.

جدول ۴: مناسب‌ترین روش برازش داده شده برای عناصر موردمطالعه در دشت مازندران

شاخص	روش	بهترین روش	RMSE
کل جامدات محلول (mg/L)	کریجینگ	کریجینگ	۰/۷۱۸
	عکس فاصله		۱/۵۴۶
	گرادیان خطی		۱/۵۲۷
سختی کل (mg/L)	کریجینگ	کریجینگ	۰/۴۵۲
	عکس فاصله		۰/۱۹۳
	گرادیان خطی		۰/۲۷۶
هدایت الکتریکی (mg/L)	کریجینگ	عکس فاصله	۱/۵۹۰
	عکس فاصله		۰/۴۷۴
	گرادیان خطی		۰/۶۳۵
نیترات (mg/L)	کریجینگ	عکس فاصله	۰/۰۱۹
	عکس فاصله		۰/۰۱۶
	گرادیان خطی		۰/۰۷۲
pH	کریجینگ	عکس فاصله	۰/۰۷
	عکس فاصله		۰/۰۶
	گرادیان خطی		۰/۱۷

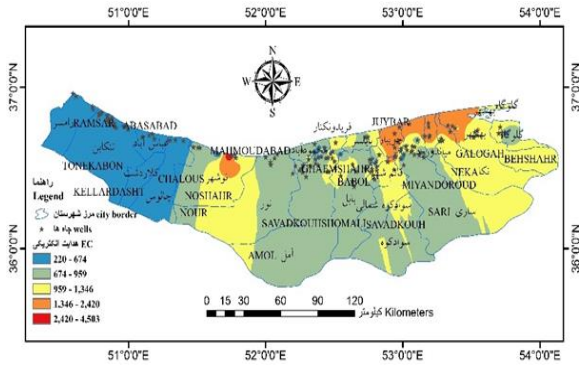
[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.22034/17.4.25]

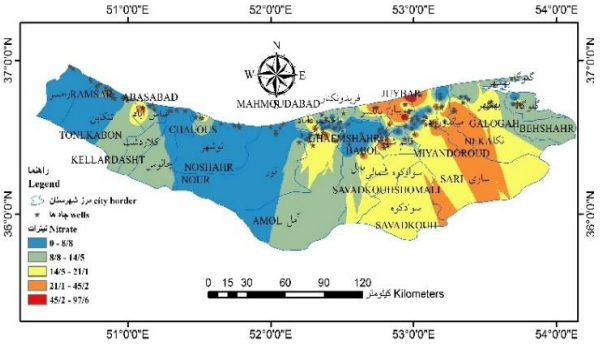
از مقایسه مقادیر اندازه‌گیری‌شده با مقادیر استاندارد ملی دریافت شد که میزان سختی در سطح منطقه در مناطق غربی و مرکزی با استاندارد ملی ایران و کشورهای ذکرشده در بالا در حد مجاز بود اما در بیشتر نقاط شرق منطقه سختی در محدوده تجاوز از حد مجاز بود.

تغییرات هدایت الکتریکی در سطح منطقه نشان‌دهنده آن است که کمترین میزان هدایت الکتریکی مربوط به غرب (چالوس و تنکابن و رامسر) و بعدازآن مربوط به آمل و بابل و حداکثر مقدار آن نیز به شرق و شمال شرقی (بهشهر، جویبار و نکا) بود.

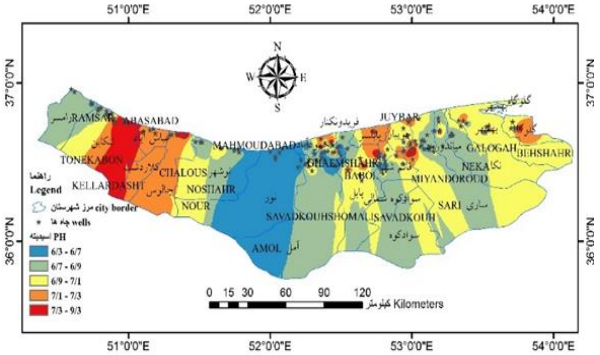
با مقایسه داده‌های TDS با استاندارد ملی دریافت شد که میزان اندازه‌گیری‌شده در دشت مازندران بیشتر از استاندارد ملی است. ولی در مقایسه با استاندارد دو کشور کنیا و مالزی مقادیر اندازه‌گیری شده تقریبا در محدوده مناسبی قرار گرفتند. طبق داده‌های اندازه‌گیری‌شده pH در دشت مازندران ملاحظه شد که پراکندگی آن در سطح منطقه تفاوت چندانی ندارد و میزان آن مناسب بوده و در استاندارد ملی و کشورهایی نظیر استرالیا، کنیا، مالزی، نیوزلند و فیلیپین نیز قرار داشت. تغییرات غلظت نیترات در سطح منطقه موردمطالعه، نشان از روند افزایشی از غرب به شرق منطقه داشت، به‌طوری‌که کمترین میزان در تنکابن، نوشهر، چالوس و بیشترین میزان در بهشهر، جویبار و قائم‌شهر اندازه‌گیری شد و به‌طورکلی خارج از محدوده استاندارد ملی، فیلیپین و مالزی قرار داشت. برای نمایش هرچه بهتر این نتایج، نقشه پهنه‌بندی هر یک از عناصر با توجه به مدل‌های برگزیده‌شده در جدول ۴، در نرم‌افزار ArcGIS10.8 تهیه شد. در شکل‌های ۳ تا ۷ پهنه‌بندی عناصر موردمطالعه آورده شد.



شکل ۳: وضعیت هدایت الکتریکی آب چاه‌ها در محدوده‌ی مطالعاتی

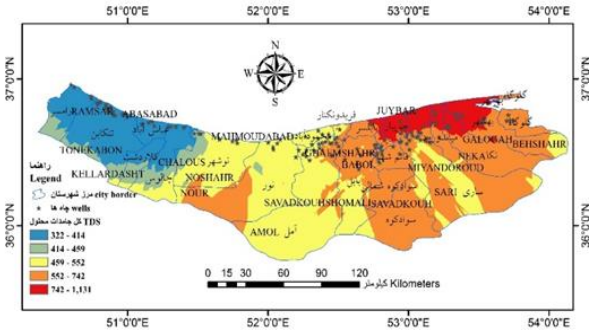


شکل ۴: وضعیت نیترات آب چاه‌ها در محدوده‌ی مطالعاتی

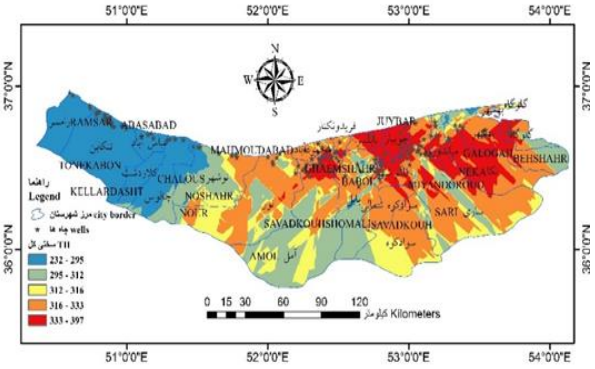


شکل ۵: وضعیت pH آب چاه‌ها در محدوده‌ی مطالعاتی

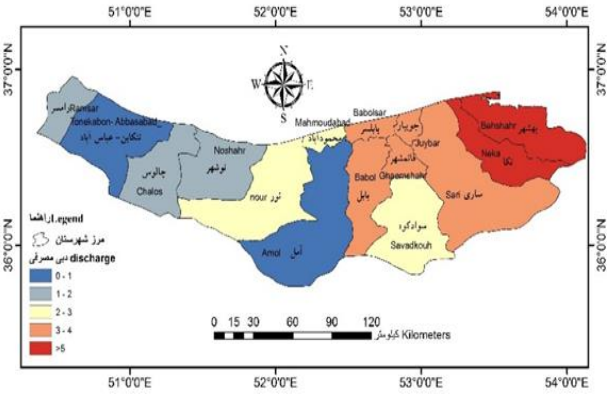
[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-04]
[DOI: 10.22034/17.4.25]



شکل ۶: وضعیت جامدات محلول آب چاه‌ها در محدوده‌ی مطالعاتی



شکل ۷: وضعیت سختی کل آب چاه‌ها در محدوده‌ی مطالعاتی



شکل ۸: وضعیت دبی مصرفی برحسب لیتر بر ثانیه برای تولید هر تن ماهی در محدوده‌ی مطالعاتی

با استفاده از نتایج به‌دست‌آمده از جدول ۴، هدایت الکتریکی با روش عکس فاصله، با مقدار خطای کم‌تر (RMSE=۰/۴۷۴) در بین سایر روش‌ها، پهنه‌بندی بهتری دارد. در رابطه با شاخص سختی کل، مدل کریجینگ با میانگین خطای (RMSE=۰/۱۹۳)، در این مطالعه، انتخاب مناسبی است. میانگین خطای pH در مدل کریجینگ (RMSE=۰/۰۶) کمتر بوده و پهنه‌بندی بهتری دارد. در رابطه با نیترات، طبق نتایج، روش کریجینگ با مقدار میانگین خطای (RMSE=۰/۰۱۶)، بهترین روش انتخاب شد. بهترین روش برای پهنه‌بندی جامدات محلول، روش عکس فاصله با میانگین خطای (RMSE=۰/۷۱۸) است.

بحث

کیفیت آب چاه‌های مشاهده‌ای در قسمت‌های شرق و شمال شرقی منطقه در مقایسه با مناطق مرکزی و غربی کمتر بود، به‌طوری‌که سبب افزایش مصرف آب در مراکز پرورش ماهیان بوده و هشداری برای توجه بیشتر به منابع آب زیرزمینی دشت مازندران است که علت آن می‌تواند مرتبط با افزایش تمرکز جمعیت انسانی و فضای سبز در این مناطق دانست که به‌نوبه خود سبب افزایش تولید فاضلاب می‌گردد (شیرانی، ۱۳۹۲ و اسکندری و همکاران، ۱۳۸۷). که با یافته‌های ترابی پوده و دهقانی (۱۳۹۷) مبنی بر افزایش غلظت مواد شیمیایی و افت کیفی آب چاه‌های دشت مازندران در برخی از نقاط مطابقت داشت. آب چاه‌های مورد بررسی از لحاظ هدایت الکتریکی مناسب برای پرورش ماهی قزل‌آلا تشخیص داده نشد هر چند با توجه به ارجمندی (۱۳۸۶) هدایت الکتریکی عامل محدودکننده ای برای پرورش ماهی قزل آلا محسوب نمی‌شود.

سختی و قلیائیت آب نقش اصلی را برای جلوگیری از تغییرات pH آب بازی می‌کنند (Stoskopf, 1995). بالابودن سختی کل در آب به آن معناست که مقدار نمک‌های محلول در آب زیاد است. وجود املاح و نمک‌های زیاد در آب نشان دهنده‌ی تاثیرپذیری بالای چاه‌های برداشت آب از منابع سطحی می‌باشد. در

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.22034/17.4.25]

مناطق شرقی به‌علت وجود زمین‌های کشاورزی بیشتر و احتمالا استفاده از سموم و کود بیشتر برروی زمین‌های کشاورزی و شسته‌شدن آن هنگام آبیاری و یا زمان بارندگی و تاثیر بر روی آب چاه‌ها باعث کیفیت پایین‌تر آب چاه‌های مشاهده‌ای در مقایسه با مناطق غربی بود که با نتایج دین‌پژوه و همکاران (۱۳۹۴)، که عواملی چون افزایش بهره‌برداری از منابع آب‌های زیرزمینی به صورت حفر چاه‌های غیرمجاز و افزایش عمق چاه با کف‌شکنی چاه‌های موجود، افزایش بی‌رویه استفاده از کودها و سموم شیمیایی و نفوذ آنها به منابع آب زیرزمینی، توسعه واحدها و کارخانجات صنعتی و دفع نامناسب پساب آن‌ها و نفوذ آب شور دریاچه به‌خصوص در نواحی شمال شرقی که بالاتربودن هدایت الکتریکی و جامدات محلول راشاهد بودیم، را از علل اصلی افت کیفیت آب زیرزمینی دانستند، هم‌راستا دانست. در نتیجه برای بهره‌وری بیشتر از منابع آبی برای تولید حداکثری ماهی سردآبی حتی‌الامکان احداث واحدهای پرورشی در مناطق غربی استان و به‌سمت بالادست، همچنین استفاده از تجهیزات پیش‌تصفیه برای بالابردن سطح کیفی آب ورودی در واحدهای پرورشی و جلوگیری از ورود آلاینده‌های معدنی و شیمیایی به آب‌های زیرزمینی ضروری است.

سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله از آقایان مرتضی دستی‌گردی و سیدجواد حجازی کمال تشکر و سپاسگزاری را دارند.

منابع

۱. احرام پوش، م.ح.، قانعیان، م.ت.، خسروی، ر.، ۱۳۹۶. بررسی کارایی حذف نیترات توسط خاک رس قرمز اصلاح‌شده با EDTA از محلول‌های آبی در حضور تداخل کننده‌های آنیونی. مجله علوم پزشکی زانکو. دانشگاه علوم پزشکی کردستان، ۱۸(۵۷)، ۳۳-۲۰.

۲. اسکندری، ط.، علی‌اشرفی پور، ر.، یدالهی، ع. ا.، توحیدی، ف.، ۱۳۸۷. بررسی آماری میزان مصرف سموم کشاورزی در شهرستان‌های استان مازندران. دومین همایش و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط‌زیست.

۳. آمار میزان تولید سالیانه شهرها اداره شیلات مازندران، ۱۳۹۹.

۴. ارجمندی، ر. کرباسی، ع. و موگویی، ر.، ۱۳۸۶. بررسی اثرات زیست‌محیطی آبزی‌پروری در ایران. مجله علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، ۹(۲)، ۲۸-۱۹.

۵. بابائی، ه.، مهدی‌نژاد، ک.، خداپرست، ح.، میرزاخانی، ع.ر.، عابدینی، ع.، فئید، م.، مهدی‌زاده، غ.، باقری، س.، نیک‌سرشت، ک.، سندیانی، ه.، محسن‌پور، ح.، شوندشت، ج.، خوشحال، ج.، ۱۳۹۳. بررسی پساب های خروجی آب‌های مزارع سردآبی انفرادی. تهران: جهاد کشاورزی. ۸۵.

۶. بنافی، م. کمالی، ا. سلمان ماهینی، ع. حسن‌زاده کیابی، ب.، ۱۳۸۶. مکان‌یابی پرورش ماهیان سردآبی با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) در استان گلستان. مجله شیلات ایران، ۱۶(۴)، ۴۴-۳۵.

۷. بنی اسد، م. سلامی، ح. شیری، ن. و یعقوبی، م.، ۱۳۹۰. بررسی ساختار اقتصادی تولید مزارع ماهی قزل‌آلا در استان تهران. مجله تحقیقات جدید اقتصاد کشاورزی، ۲(۱)، ۱۳۰-۱۱۵.

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.22034/17.4.25]

۸. پودینه، ا. دلبری، م. حقیقت‌جو، پ. امیری، م.، ۱۳۹۴. تحلیل مکانی تغییرات بارش با در نظر گرفتن متغیرهای ارتفاع و فاصله تا دریا (موردمطالعه: استان سیستان و بلوچستان). پژوهش‌های جغرافیای طبیعی (پژوهش‌های جغرافیایی)، ۴۷(۴)، ۶۳۷-۶۰۷.

۹. حنیفی، ر.، ۱۳۹۳. امکان‌سنجی منابع آب زیرزمینی استان آذربایجان غربی برای پرورش ماهی قزل‌آلا با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) مطالعه موردی: شهرستان سردشت. مجله اطلاعات جغرافیایی،۲۳(۹۰). ۹۱-۱۰۱.

۱۰.دهدشتی، ش.، صید زاده، ح.، ۱۳۸۶. رابطه بین استفاده از عناصر بازاریابی و بازارپسندی ماهیان پرورشی از دیدگاه پرورش‌دهندگان (مطالعه موردی: شهرستان ایلام). مجله اقتصاد و توسعه کشاورزی، ۱۴(۵۳): ۱۳۳-۱۵۲.

۱۱.دین‌پژوه، ی.، فاخری فرد، ا.، حسن‌پور اقدم بگلو، م.ع.، بهشتی، و.، ۱۳۹۴. تحلیل روند تغییرات کیفیت آب زیرزمینی در دشت شبستر صوفیان. مجله علوم مهندسی و آبیاری (مجله علمی کشاورزی)، ۳۸(۱). ۵۵-۶۹.

۱۲. روستا، م.، پورامینی، م.، گیوئی اشرف، ز.، رحیمیان، م. ح.، ۱۳۹۲. مکان یابی مناطق مناسب برای پرورش ماهی قزل آلای رنگین کمان در دشت بهادران استان یزد با استفاده از GIS. دومین همایش ملی توسعه و پرورش ماهیان سرد آبی. ۳۳۵-۳۴۰.

۱۳.شریفیان، م.، پورکاظمی، م.، حافظیه، م.، شکوری، م.، ۱۳۹۷. مدیریت بهره وری آب مصرفی و راهکارهای پیشگیری ازاتلاف آب در مزارع پرورش ماهیان گرمابی کشور. همایش ملی منطقه ای آبزی پروری مدیریت و ارتقاء بهره وری منابع آب. اهواز.

۱۴.شیرانی، ز.، عباسپور، م.ف جاوید، ا. ح.، تقوی، ل.، ۱۳۹۲. ارزیابی منابع آلودگی آب‌های زیرزمینی در محیط شهری (مطالعه موردی: منطقه ۱۴ شهرداری تهران). فصلنامه انسان و محیط‌زیست، ۲۴، ۱-۱۶.

۱۵.صیدگر، م.، نکوئی فرد، ع.، محبی، ف.، احمدی، ر.، مهرابی، م.ر.، ذریه زهرا، س.ج.، مصطفی زاده، ب.، علیزاده اوصالو، ژ.، ۱۴۰۱. تاثیرآب خروجی مزارع تولید ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان برجوامع درشت بی‌مهرگان کفزی وکیفیت آب رودخانه پردانان آذربایجان غربی. نشریه توسعه آبزی پروری، ۱۶(۱)، ۶۶-۵۳.

۱۶.طاهری نسب، س.م.، کرامت امیرکالیی، ع.، اورجی، ح.، ۱۴۰۱. مدیریت پارامترهای کیفی آب استخرهای پرورشی با کمک نسبت بهینه کربن به نیتروژن. نشریه توسعه آبزی‌پروری، ۱۶(۳)، ۵۴-۴۵.

۱۷.عادلی، ع.، ۱۳۹۳. بررسی برخی عوامل موقعیتی در رفتار مصرف‌کنندگان ماهی خانگی در شهر تهران. مجله شیلات دانشگاه تهران، ۶۷(۲)، ۲۵۱-۲۶۱.

۱۸.عساکره، ح.، ۱۳۸۷. کاربرد روش کریجینگ در میان یابی بارش. جغرافیا و توسعه، ۱۲، ۴۲-۲۵.

۱۹.علیزاده، ا.، ۱۳۷۷. اصول طراحی سیستم‌های آبیاری. دانشگاه امام رضا. ص ۴۵۲.

۲۰.غلامی، و.، قربانی، ر.، ۱۳۹۱. حفاظت از منابع آب، رویکردی به مدیریت بحران آب (مطالعه موردی: استان مازندران). سومین همایش ملی مدیریت جامع منابع آب. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری. ۳۶۳-۳۵۵.

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.22034/17.4.25]

۲۱. فراهـــانی، ر.، شـــیرازی، ج. غ. ر.، خوشـــخور، ژ.، عظیمـی اسـک شـهر، م.، اسـدی، ه.، صـیدی، د.، ۱۳۹۴. راهنمای پرورش قـزل‌آلا: ویـژه طـرح بسـیج همگام با کشاورز. کرج: سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، معاونت تـرویج، نشـر آمـوزش کشاورزی، ۲۰۰.

۲۲. مسعودیان، م.، نیکزاد، ف.، ۱۳۹۸. افزایش بهره‌وری آب مورداستفاده در مزارع پرورش مـاهی سـردآبی. سـومین همـایش ملـی مـدیریت جـامع منـابع آب. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

۲۳. مؤسسه استاندارد وتحقیقـات صـنعتی ایـران.، ۱۳۸۵. کیفیت آب: تعیین آب استخر پـرورش مـاهی بـرای گونه‌های رایـج گرمـابی و سـردابی: روش متـداول: ویژگی‌ها. تهران، ۲۱.

۲۴. نادی، م. جامعی، م. بذرافشان، ج. و جنـت رسـتمی، س.، ۱۳۹۱. ارزیـابی روش‌هـای مختلـف درونیـابی، داده‌های بارندگی ماهانه و سـالانه اسـتان خوزسـتان: پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۴۴ (۴)، ۱۱۷-۱۳۰.

۲۵. همـــت یـــار، ع. اســـدی، ا. و کلانتـــری، خ.، ۱۳۹۰. ارزیابی توان منابع آب زیرزمینی شهرستان سردشـت برای پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان، با استفاده از سـامانه اطلاعـات جغرافیـایی (GIS) و رهیافـت تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM). مجله تحقیقـات روستایی، ۲(۲)، ۳۰-۱.

26. Anyadike, C., Mbajiorgu, C., Ajah, G., 2012. Water Quality Management in Aquacultural Production using Aquasmat. Special Publication of the Nigerian Association of Hydrological Sciences. Special Publication of the Nigerian Association of Hydrological Sciences. 246-256.

27. Bhatnagar, A., Devi, P., 2013. Water quality guidelines for the management of pond fishculture. International journal of environmental sciences, 3(6).1980-2000.

28. Boyd, C., Laurence, M., 1999. Risks associated with the use of chemicals in pond aquaculture. Aquacultural Engineeringm, 20(2), 113-132.

29. Boyd, C.E. and Tucker, C.S., 2012. Pond aquaculture water quality management. Springer US. 700.

30. .Christie. D. P., Neill, S., 2022. Measuring and Observing the Ocean Renewable Energy Resource. Comprehensive Renewable Energy (Second Edition). 8. P149-175.

31. Davis, J.C., 1973. Statistics and Data Analysis in Geology. John Wiley and Sons, London.

32. Dos Santos Simoes, F., Moreira Alteir, B., Bisinoti, M., Gimenez, S., Yabe, M., 2008. Water quality index as a simple indicator of aquaculture effects on aquatic bodies. Ecological indicators. 8, 5. 476-484.

33. Lawson, T., 1995. Water Quality and Environmental Requirements. Fundamentals of Aquacultural Engineering. pp 12–39.

34. Philminaq., 2014. Water Quality Criteria and Standards for Freshwater and Marine Aquaculture, Abbreviations and Acronyms. Mitigating impact from Aquac. Philipp. p. 34.

35. Santhosh, B. and Singh, N.P., 2007. Guidelines for water quality management for fish culture in Tripura, ICAR Research Complex for NEH Region, Tripura Center, Publication no. 29.

36. Stoskopf, M.K., 1995. Design of captive environments for endangered fishes. Conservation of endangered species in captivity. State University of New York Press, Albany, NY, pp.125-142.

37. Xu, L., and Liu, S., 2013. Study of short-term water quality prediction model based on wavelet neural network. Mathematical and Computer Modelling, 58(34) 807-813.

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.22034/17.4.25]