نشریه پژوهش‌های ماهی‌شناسی کاربردی
Journal homepage: http://jair.gonbad.ac.ir
ISSN: 2423-6349
دوره 14، شماره 1، صفحات 59–37
وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه گنبد کاووس

بررسی تغییرات پارامترهای اقلیمی بر پراکنش و میزان صید کپور دریایی در بخش جنوب شرقی دریای خزر

عبدالعظیم فاضل[1]، روشنا علی اکبریان[4]، فاطمه عباسی[2]، سلمان ملک پور کلبادی نژاد[1]، پرویز زارع[3]، آرزو وهاب نژاد[1]، مریم فروزد[4]، محسن یحیایی[5]، یاسر عبدالله تبار[6]

[1]استادیار پژوهشی، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور. ایران.
[2]دانش‌آموخته دکتری تولید و بهره‌برداری آبزیان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. گرگان. ایران.
[3]استادیار پژوهشی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. ایران.
[4] کارشناس، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور. ایران.
[5] کارشناس، اداره کل شیلات استان گلستان. گرگان. ایران.
[6] کارشناس، اداره کل شیلات مازندران. ساری. ایران

نوع مقاله:
پژوهشی اصیل

تاریخچه مقاله
دریافت: 1405/01/23
پذیرش: 1405/01/26

نویسنده مسئول مکاتبه:
عبدالعظیم فاضل، استادیار پژوهشی، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور. ایران.

ایمیل:
a.fazel58@gmail.com

چکیده:
تحلیل سری زمانی CPUE در صیدگاه‌های شرقی و جنوبی سواحل استان گلستان طی دوره 2006 تا 2024، نشان‌دهنده یک تغییر رژیم منطقه‌ای و یکپارچه در ذخایر ماهی کپور است. این تحول از یک وضعیت پرفراوانی با الگوی فصلی مشخص (اوج صید در ماه‌های زمستانی) به یک وضعیت کم‌فراوانی پایدار و فاقد الگوی فصلی معنادار، در سال‌های 2008 تا 2012 رخ داده و تا سال 2024 ادامه یافته است. این یافته، با گزارش‌های پیشین هم‌خوانی دارد و نشان می‌دهد که کاهش جمعیت کپور نه تنها یک پدیده محلی، بلکه یک تحول ساختاری در سطح منطقه‌ای است که احتمالاً ناشی از ترکیبی از فشار صیادی بالا، تغییرات محیطی و برهم‌کنش این عوامل است. مدل‌سازی با استفاده از GAM با تأخیرهای زمانی دو و سه‌ماهه، امکان بررسی روابط غیرخطی و پیچیده بین CPUE و متغیرهای محیطی را فراهم کرد. نتایج نشان داد که سرعت باد (Lag-2 و Lag-3)، دمای سطح دریا (Lag-3) و سطح متوسط دریا (Lag-3) مهم‌ترین پیش‌بین‌های CPUE هستند. الگوهای وابستگی جزئی نشان داد که اثرات غیرخطی، مانند افزایش CPUE در بادهای بسیار آرام یا شدید و در دمای‌های بسیار سرد یا گرم، نشان‌دهنده پاسخ‌های تجمعی و آستانه‌ای گونه است. این یافته‌ها با مکانیسم‌های اکولوژیکی مانند اختلاط آب، تولید اولیه و توزیع طعمه همخوانی دارند و اهمیت تأخیرهای زمانی در پاسخ‌های اکوسیستمی را تأکید می‌کنند. بررسی آنومالی‌های اقلیمی نیز نشان داد که در طی دو دهه اخیر، دو روند برجسته وجود دارد :گرم‌شدن تدریجی سطح دریا (SST) و کاهش سطح متوسط دریا (MSL)، که هر دو با تغییرات اقلیمی جهانی هم‌راستا هستند. این تغییرات، به‌ویژه کاهش سطح آب، می‌تواند منجر به از دست رفتن زیستگاه‌های کم‌عمق تغذیه و تخم‌ریزی شود. این یافته‌ها با گزارش‌های مطالعات قبلی در مورد کاهش دبی رودخانه‌ها، تخریب زیستگاه‌ها و کاهش تنوع زیستی هم‌خوانی دارد و نشان می‌دهد که مدیریت ذخایر شیلاتی نیازمند رویکردی یکپارچه و مبتنی بر تغییرات اقلیمی است.

کلید واژه: دریای خزر، تغییر اقلیم، لگ زمانی

مقدمه

دریای خزر بزرگترین پهنه آبی محصور در جهان است. این دریاچه از نظر زیستی، اقتصادی و اکولوژیک جایگاه ویژه‌ای دارد و یکی از مهم‌ترین منابع تنوع زیستی در منطقه شمال ایران به‌شمار می‌رود. در مطالعات جدید در حدود ۴۰ گونه اقتصادی و شیلاتی ثبت شده است و در دهه‌های اخیر به دلیل فشار صید، آلودگی‌های زیست‌محیطی، تغییرات اقلیمی و کاهش سطح آب، ذخایر برخی گونه‌ها به‌طور قابل توجهی کاهش یافته است (Fazli *et al.*, 2008). به‌طور کلی، روندهای اخیر در

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-09-16]

دریای خزر نشان‌دهنده افزایش فشار بر ذخایر طبیعی ماهیان، کاهش بازدهی گونه‌های اقتصادی و ضرورت اجرای مدیریت پایدار صید و حفاظت از زیستگاه‌های کلیدی است. در این راستا، اجرای طرح‌های بازسازی ذخایر، نظارت بر صید غیرمجاز و بازگرداندن کارکرد اکولوژیک رودخانه‌ها از مهم‌ترین اولویت‌های مدیریت منابع آبزی در حوزه جنوبی دریای خزر به‌شمار می‌روند (آمارنامه شیلات ایران، ۱۴۰۳). صید تجاری ماهی کپور در سواحل جنوبی دریای خزر عمدتاً از طریق تعاونی‌های صید پره و با استفاده از تورهای ساحلی با چشمه‌هایی به قطر حدود ۳۰ سانتی‌متر انجام می‌شود. این روش، به‌ویژه در بخش شرقی حوضه جنوبی خزر (استان گلستان و شرق مازندران)، سهم بیشتری از برداشت کل را به خود اختصاص داده است (Fazli *et al*, 2023). فصل بهره‌برداری از ذخایر ماهیان استخوانی معمولاً از اواسط مهرماه آغاز و تا فروردین سال بعد ادامه دارد. عملیات صیادی به‌طور معمول از طلوع خورشید تا ساعات پایانی شب انجام می‌شود و هر واحد صیادی در بهترین شرایط، امکان انجام حداکثر دو بار پره‌کشی در شبانه‌روز را دارد (لاریجانی و همکاران، 1380). بخش اعظم صید (اغلب بیش از 90 درصد) در سواحل شرقی و جنوب شرقی خزر (استان گلستان) انجام می شود که اصلی ترین زیستگاه طبیعی کپور در آب‌های ایرانی خزر محسوب می شود. پراکنش در مناطق دیگر مانند میانکاله، شرق مازندران و غرب گیلان کمتر است (Fazli *et al*, 2023). از پژوهش های انجام شده بر ذخایر ماهی کپور، در مطالعات زیادی به صید تجاری ماهی کپور اشاره شده است. صید تجاری ماهی کپور با استفاده از روش صید تور پره در قالب تعاونی‌های پره صورت می‌پذیرد. درصد صید کپور به روش پره در سواحل ایرانی دریای خزر در شرق حوضه جنوبی دریای خزر بیشتر از سایر پهنه‌هاست (سلمان‌ماهینی، 1391). همه ساله بین 1 تا 2 هزار تن از این ماهی در سواحل جنوب دریای خزر صید می‌شود (عبدلی، 1378). طبق آمار سالانه موجود از میزان صید ماهی کپوروحشی در سال‌های 1376-1382، میزان صید این گونه طی این سال‌ها کاهش قابل توجهی یافته است (عبدلی و نادری، 1387). روند کاهشی مقدار صید کپور از سال 1376 آغاز شد و در سال 1381 با 82 تن صید به حداقل مقدار خود در 15 سال اخیر رسید، ولی طی سال-های 1382 تا 1384 با افزایش ناگهانی، مقدار صید آن به بیش از 2800 تن افزایش یافت و پس از آن سیر نزولی آن مشاهد گردید (دریانبرد و همکاران، 1386).

سیر نزولی صید پس از سال 1384 به گونه‌ای بود که سال 87 میزان صید به 343 تن کاهش یافت که نسبت به سال 84 کاهش 80٪ را در ذخایر نشان می‌دهد. علاوه بر تغییرات در ذخیره و میزان صید کپور وحشی، نوساناتی در روند توزیع مکانی آن نیز در سال‌های اخیر مشاهده شده به طوریکه همواره ساحل شرقی استان گلستان با بیش از 95 درصد از سهم صید به عنوان زیستگاه اصلی ماهی کپور در محافل شیلاتی مطرح بوده است ولی در منطقه میانکاله و سواحل شرقی استان مازندران و غرب استان گیلان (منطقه آستارا تا شفارود) صید این ماهی گزارش شده است (سلمان ماهینی و همکاران، 1391).

در بررسی زیستی ماهی کپور در سال‌های 1382 تا 1384 بالغ بر 95 درصد از ماهیان صید شده در این سال-ها نابالغ و غیراستاندارد (کوچکتر از 33 سانتی‌متر) بودند. این بررسی نشان می‌دهد که یک همزادگان قوی با تعداد زیادی ماهی جوان، وارد ذخایر ماهی کپور در آب‌های ایرانی دریای خزر شده است و به دلیل عدم ورود همزادگانی در این مقیاس در سال‌های بعد، به تدریج از حجم صید کاسته شده است (سلمان‌ماهینی، 1391).

در سال‌های اخیر به شدت از جمعیت ماهیان جوان کاسته شده و در ترکیب صید ماهیان 15 سال به بالا هم دیده می‌شود. شرایط اکولوژیکی نامناسب، افزایش بی سابقه فعالیت صیادان غیرمجاز، سرد بودن آب دریا و نامناسب بودن شرایط جوی جهت عملیات پره‌کشی را می‌توان از دلایل کاهش صید برشمرد. همچنین استفاده از آلات و ادوات غیراستاندارد توسط صیادان غیرمجاز، برداشت بیش از حد ظرفیت از ذخایر ماهیان استخوانی، استقرار آلات و ادوات صید غیرمجاز در فواصل دور از ساحل توسط صیادان غیرمجاز نیز از دیگر عوامل کاهش صید است (سالنامه شیلات ایران، 1392).

در ارزیابی ذخایر ماهیان استخوانی دریای خزر در سال‌های 1377-1376 (غنی‌نژاد و همکاران، 1377)، بیشترین صید ماهی کپور در مناطق شرقی دریای خزر (استان گلستان) بوده و بعلت بهبود شرایط تخم‌ریزی طبیعی در سال‌های گذشته، ذخایرو میزان صید این گونه در این منطقه افزایش را نشان میدهد ومیزان صید کل این گونه در سال (1376) تقریبا 2100 تن تخمین زده شده

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-09-16]

است. دامنه سنی برای سال‌های مورد بهره‌برداری 1377-1376، 10 تا 11 گروه سنی بوده و مشخص گردید که بالاترین فراوانی را ماهیان 7-5 ساله با 52 درصد در ترکیب صید به خود اختصاص دادند.

مطالعات بندانی و همکاران (1386-1384) در پروژه ارزیابی ذخایر ماهیان استخوانی دریای خزر نشان داد که دامنه طولی ماهیان کپور صید شده در سال‌های 1383-1382در محدوده 18/5-35/5 سانتی‌متر بوده است. و ترکیب سنی در این سال‌ها بسیار محدود بوده است و همچنین بیان کردند که 85/6 درصد از صید شامل ماهیان 2 تا 4 ساله بوده است. بر اساس این مطالعه ماهی کپور در سال‌های 1386-1384 با 83/7٪ بیشترین فراوانی و میزان صید را داشته است. بالاترین فراوانی طولی کپور در طبقات طولی 39-38 سانتی‌متر قرار داشته که مربوط به گروه سنی 4 تا 6 ساله‌ها (71/8٪) بوده است. مقادیر k و $L\infty$ برای این گونه به ترتیب 0/19 و 66/7 سانتی‌متر محاسبه شده است. مقدار زیتوده و حداکثر محصول قابل برداشت نیز برای ماهی کپور به ترتیب 10584/2 و 2186 تن برآورد شده بود. در این بررسی ضریب بهره‌برداری برای ماهی کپور 0/52 بدست آمد. مقادیر $L\infty$، k، Z، M و F ماهی کپور برای سال 1385 به ترتیب 60/5 سانتی‌متر، 0/19 در سال، $0/52(year)^{-1}$، $0/35(year)^{-1}$، $(year)^{-1}$ 0/17 گزارش شده است.

مواد و روش ها

مکان و زمان نمونه‌برداری

این مطالعه در ساحل جنوب‌شرقی دریای خزر در محدوده شرقی منطقه میانکاله تا ساحل گمیشان در استان گلستان انجام شد، تعداد 21 تعاونی پره در این ناحیه مستقر می‌باشند. اطلاعات مربوط به میزان صید کپور براساس گزارش های شیلات استان گلستان (از مهرماه هر سال تا فروردین سال بعد از سال2006 تا 2024) انجام گرفت.

اطلاعات صید و تلاش صیادی

صید به ازای واحد تلاش (CPUE[1]) روش پایه‌ای و مناسب به منظور ایجاد شاخصی در محاسبه فراوانی گونه-های ماهی با بکارگیری اطلاعات مربوط به صید تجاری است (Harley *et al.*, 2001). الگوی مکانی فراوانی و تلاش صیادی، و رابطه میان فراوانی و موفقیت صید در یک منطقه، همگی در کنار هم صید به ازای واحد تلاش کل را بدست می‌دهند. اطلاعات مربوط به میزان صید (برحسب کیلوگرم) و تلاش صیادی تعاونی‌های صیادی پره توسط ناظرین پره جمع‌آوری و به دفتر امور صید اداره شیلات استان فرستاده می‌شود. داده‌های صید و تلاش صیادی به تفکیک پره‌های صیادی در طول دوره فصل صید جمع‌آوری و مقدار متوسط CPUE ماهانه به ازای هر تعاونی پره در فصل صید محاسبه می‌گردد. داده‌های صید در مناطق صیادی به منظور بررسی اثر تغییرات اقلیمی بر پویایی جمعیت طی سال‌های 2006 تا 2024 از داده‌های آرشیوی اداره کل شیلات استان گلستان و مرکز تحقیقات ذخایر آبزیان آبهای داخلی-گرگان تهیه شد.

استخراج شرایط اقلیمی

برای تحلیل تأثیر شرایط اقلیمی بر صید در واحد تلاش از داده‌های اقلیمی پایگاه ECMWF[2] (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) استفاده شد. ECMWF یکی از معتبرترین مراکز جهانی در زمینه پیش‌بینی جوی و تولید داده‌های اقلیمی است و مجموعه‌ای از محصولات بازسازی اقلیمی و پیش‌بینی با کیفیت بالا ارائه می‌دهد. در این مطالعه، داده‌های ERA5 از ECMWF مورد استفاده قرار گرفت که آخرین نسل از مجموعه بازسازی اقلیمی جهانی این مرکز است و شامل داده‌های ساعتی و سه‌ساعته با رزولوشن فضایی بالا (~30 کیلومتر) می‌باشد. این داده‌ها پارامترهای متنوع جوی و دریایی مانند سطح متوسط دریا (MSL)، دمای سطح دریا (SST)، مجموع بارش (TP) و سرعت باد (Wind Speed) را در سطح جهانی پوشش می‌دهند و از سال 1950 تاکنون در دسترس هستند. داده‌های ERA5 امکان بررسی دقیق روندهای کوتاه‌مدت و بلندمدت اقلیمی را فراهم می‌کنند و به دلیل کیفیت بالا و پوشش جهانی، در مطالعات اکولوژیکی، دریایی و آب و هوایی بسیار پرکاربرد هستند. برای این مطالعه، داده‌های ERA5 برای بازه زمانی 2006 تا 2024 جمع‌آوری شدند و در قالب فایل‌های NetCDF (.NC) با فرکانس سه‌ساعته در

[1] Catch Per Unit Effort

[2] European Centre for Medium-Range Weather Forecasts

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-09-16]

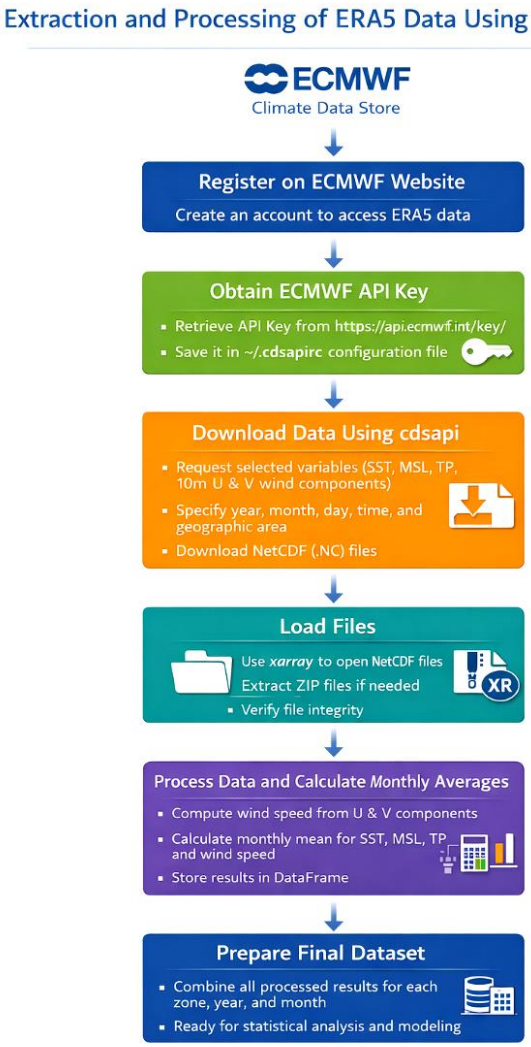
دسترس بودند. پارامترهای مذکور برای دو بخش ساحلی کشور، یعنی ساحل شرقی و ساحل جنوبی به صورت جداگانه استخراج شدند و برای تمرکز بر ماه‌های کلیدی، داده‌ها به ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، سپتامبر، اکتبر، نوامبر و دسامبر تفکیک شدند. داده‌های سه‌ساعته ابتدا به مقادیر میانگین ماهانه تجمیع شدند تا روندهای فصلی و ماهانه قابل بررسی باشند. استفاده از داده‌های ERA5 مزایای قابل توجهی دارد؛ کیفیت بالای داده‌ها، پوشش جهانی و یکپارچگی زمانی و مکانی، امکان تحلیل دقیق روابط بین پارامترهای جوی و دریایی را فراهم می‌کند و این داده‌ها در مطالعات اکولوژیکی، مدیریت منابع آب، مدل‌سازی تغییرات اقلیمی و ارزیابی روندهای بلندمدت محیط دریایی بسیار معتبر و پرکاربرد هستند. در نهایت، مجموعه داده‌های نهایی شامل پارامترهای MSL، SST، TP و سرعت باد برای هر ماه و هر منطقه ساحلی آماده شد و برای تحلیل‌های آماری و مدل‌سازی بعدی مورد استفاده قرار گرفت.

استخراج و پردازش داده‌های ERA5 با Python

برای استخراج داده‌های ERA5 از پایگاه ECMWF از زبان برنامه‌نویسی Python استفاده شد. ابتدا با استفاده از کتابخانه رسمی cdsapi اتصال به پایگاه داده برقرار شد و پارامترهای مورد نظر برای مطالعه تعریف گردید. پارامترهای انتخاب شده شامل دمای سطح دریا (SST)، سطح متوسط دریا (MSL)، مجموع بارش (TP) و سرعت باد ۱۰ متری (U10 و V10) بودند. مطالعه بر دو ناحیه ساحلی کشور تمرکز داشت: ساحل شرقی و ساحل جنوبی، که برای هر ناحیه مختصات جغرافیایی حداقل و حداکثر طول و عرض جغرافیایی مشخص شد. داده‌ها برای بازه زمانی سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۲۵ و ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، سپتامبر، اکتبر، نوامبر و دسامبر استخراج شدند. فرآیند استخراج شامل سه مرحله اصلی بود:

دانلود داده‌ها با استفاده از کتابخانه cdsapi درخواست داده‌ها برای پارامترها، سال، ماه، روز و ساعت ارسال شد و فایل‌ها به صورت NetCDF (.NC) دریافت گردید. پیش از دانلود، بررسی می‌شد که آیا فایل قبلاً موجود است و سالم است یا خیر، تا از دانلود تکراری جلوگیری شود. بارگذاری فایل‌ها: فایل‌های NetCDF با استفاده از کتابخانه xarray باز شده و در صورت نیاز از حالت فشرده (ZIP) استخراج شدند. بررسی سلامت فایل‌ها انجام شد تا از فایل‌های ناقص یا خراب جلوگیری شود. پردازش داده‌ها و تجمیع ماهانه: داده‌های سه‌ساعته پارامترها بارگذاری شده و برای محاسبه سرعت باد از مولفه‌های u و v استفاده شد. سپس برای هر ماه، مقادیر میانگین ماهانه پارامترها محاسبه شد و به صورت یک DataFrame ذخیره شد. تمام نتایج پردازش شده برای هر ناحیه، سال و ماه جمع‌آوری و در یک مجموعه نهایی آماده شد تا برای تحلیل‌های آماری و مدل‌سازی مورد استفاده قرار گیرد. این روش امکان استخراج خودکار، دقیق و قابل تکرار داده‌های ERA5 را فراهم کرد و از خطاهای دستی جلوگیری نمود (شکل 1).

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-09-16]



شکل -1- فرآیند استخراج و پردازش داده‌های اقلیمی ERA5 با استفاده از Python وECMWF CDSAPI

بررسی ارتباط CPUE با متغیرهای محیطی

برای بررسی تأثیر متغیرهای محیطی شامل سطح متوسط دریا، دمای سطح دریا، مجموع بارش و سرعت باد بر CPUE، از مدل GAM[3]استفاده شد. این مدل امکان بررسی روابط غیرخطی و پیچیده بین پاسخ و متغیرهای توضیحی را فراهم می‌کند، بدون آنکه فرض خطی بودن اثر متغیرها اعمال شود. ساختار عمومی GAM به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$y_i = \beta_0 + \sum_{j=1}^{p} f_j(x_{ij}) + \varepsilon_i$$

که در آن y_i مقدار CPUE در نمونه i، β_0 مقدار ثابت مدل، $f_i(x_{ij})$ تابع نرم[4] یا spline برای متغیر j است، p تعداد متغیرهای توضیحی است و ε_i خطای تصادفی مدل می باشد. استفاده از تابع های نرم امکان مدل کردن روابط غیرخطی، پیچیده و مقطعی بین CPUE و متغیرهای محیطی را فراهم می کند، به گونه ای که اثرات محیطی در محدوده های مختلف به صورت متفاوت لحاظ شوند.

پس از تعریف ساختار پایهGAM ، به منظور در نظر گرفتن ماهیت پویای سیستم و وجود پاسخ‌های تأخیری در اکوسیستم‌های شیلاتی، از متغیرهای با تأخیر زمانی (Lag) استفاده شد. در بسیاری از سیستم‌های اکولوژیکی و دریایی، پاسخ جمعیت‌های ماهی به تغییرات اقلیمی فوری نیست، بلکه با یک فاصله زمانی بروز می‌کند. این تأخیر می‌تواند ناشی از فرآیندهای زیستی نظیر رشد، بقا، مهاجرت، تغییر در بهره‌وری اولیه و انتقال اثرات در زنجیره غذایی باشد.

[3] Generalized Additive Model
[4] Smooth function

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-09-16]

بر اساس تحلیل shiftogram و مقایسه عملکرد مدل‌ها در وقفه‌های زمانی مختلف، مشخص شد که بیشترین توان توضیحی در بازه تأخیر دو تا سه‌ماهه مشاهده می‌شود. بنابراین، متغیرهای Lag-2 و Lag-3 برای هر یک از پارامترهای محیطی تعریف و وارد مدل شدند:

$$x_{t-2},\ x_{t-3}$$

مدل نهایی با در نظر گرفتن تأخیرهای دو و سه‌ماهه به صورت زیر بیان می‌شود:

$$y_t=\beta_0+\sum f_j(x_{j,t-2})+\sum f_k(x_{k,t-3})+\varepsilon_t$$

در این ساختار، توابع نرم متناظر با Lag-2 و Lag-3 اثر غیرخطی شرایط محیطی دو و سه ماه گذشته را بر CPUEماه جاری توصیف می‌کنند. به بیان دیگر، مدل امکان برآورد پاسخ‌های تجمعی، آستانه‌ای و تأخیری را فراهم می‌کند؛ پاسخ‌هایی که در داده‌های شیلاتی بسیار رایج هستند.

استفاده از Lag-2 و Lag-3 باعث شد اثر خودهمبستگی کوتاه‌مدت کاهش یابد و سازوکارهای اکولوژیکی با تأخیر زمانی مناسب مدل شوند. این رویکرد کمک می‌کند تا نوسانات تصادفی کوتاه‌مدت کمتر در برآورد اثرات محیطی دخالت کنند و سیگنال واقعی اقلیم بر CPUE آشکارتر شود. در نتیجه، GAM همراه با تأخیرهای زمانی دو و سه‌ماهه توانست روابط غیرخطی پیچیده بین CPUE و شرایط محیطی را با در نظر گرفتن پاسخ‌های تأخیری اکوسیستم مدل‌سازی کرده و چارچوبی قابل اتکا برای تحلیل اکولوژیکی فراهم آورد.

اضافه کردن این متغیرها به مدل باعث می‌شود اثر خودهمبستگی زمانی میان‌مدت در ساختار مدل لحاظ شود. در این پژوهش، از Lag-2 و Lag-3 استفاده شد تا اثر تأخیری دو و سه‌ماهه متغیر پاسخ و شرایط محیطی بر CPUE ماه جاری بررسی گردد. مدل نهایی با در نظر گرفتن این تأخیرها به صورت زیر قابل بیان است:

$$g(E(CPUE_t))=\beta_0+f_1(MSL_{t-2})+f_2(MSL_{t-3})+f_3(SST_{t-2})+f_4(SST_{t-3})+f_5(TP_{t-2})+f_6(TP_{t-3})+f_7(Wind_{t-2})+f_8$$

در این ساختار، توابع نرم f_j اثرات غیرخطی متغیرهای محیطی با تأخیر دو و سه‌ماهه را بر CPUE ماه جاری مشخص می‌کنند. به عبارت دیگر، این توابع امکان مدل‌سازی پاسخ‌های تجمعی، زیستی و رفتاری گونه مورد مطالعه را در بازه‌های زمانی میان‌مدت فراهم می‌کنند؛ بازه‌هایی که از نظر بوم‌شناختی اغلب با فرآیندهایی مانند رشد، مهاجرت، تغذیه و تغییرات زیستگاهی مرتبط هستند. استفاده از Lag-2 و Lag-3 موجب می‌شود وابستگی ساختاری بین مشاهدات متوالی که در داده‌های شیلاتی رایج است، به‌صورت صریح در مدل لحاظ گردد و در نتیجه، اثر خودهمبستگی باقی‌مانده‌ها کاهش یابد. این رویکرد از تفسیر نادرست روابط آنی جلوگیری کرده و کمک می‌کند تا اثر واقعی و تأخیری متغیرهای اقلیمی و اقیانوسی بر تغییرات CPUE آشکارتر شود. همچنین، لحاظ کردن این تأخیرهای زمانی باعث افزایش توان پیش‌بینی مدل در مقیاس میان‌مدت می‌شود، زیرا مدل نسبت به الگوهای زمانی پایدارتر و فرآیندهای تجمعی حساس‌تر خواهد بود. به این ترتیب، مدل GAM همراه با Lag-2 و Lag-3 توانست روابط پیچیده و غیرخطی بین CPUE و شرایط محیطی را با در نظر گرفتن وابستگی زمانی میان‌مدت مدل کرده و چارچوبی آماری منسجم برای تفسیر فرآیندهای اکولوژیکی حاکم بر نوسانات صید ارائه دهد.

پیش‌پردازش داده‌ها و مقیاس‌بندی

به منظور مدل‌سازی تغییرات CPUE بر حسب متغیرهای محیطی با تأخیر زمانی دو و سه‌ماهه و برازش مدل GAM، داده‌ها پیش از تحلیل تحت یک فرآیند پیش‌پردازش آماری نظام‌مند قرار گرفتند. این مرحله با هدف بهبود ویژگی‌های توزیعی متغیر پاسخ، کاهش ناهمسانی واریانس، افزایش پایداری عددی مدل و فراهم‌سازی بستر مناسب برای تفسیر روابط غیرخطی انجام شد. در گام نخست، برای کاهش چولگی توزیع CPUE و نزدیک‌سازی آن به نرمال، از تبدیل Box–Cox استفاده شد. از آنجا که این تبدیل تنها برای مقادیر مثبت تعریف می‌شود، پیش از اعمال آن یک واحد به مقادیر CPUE افزوده شد تا از وجود مقادیر صفر جلوگیری شود. پارامتر λ به‌صورت داده‌محور و بر اساس بیشینه‌سازی درست‌نمایی برآورد گردید. این تبدیل موجب کاهش تأثیر مقادیر حدی، بهبود رفتار باقیمانده‌های مدل و افزایش کارایی برازش نیمه‌پارامتریک GAM شد. در گام دوم، متغیرهای محیطی با تأخیرهای Lag-2 و Lag-3 به منظور حذف اثر مقیاس‌های متفاوت اندازه‌گیری و امکان مقایسه مستقیم اثر نسبی آن‌ها، با استفاده از روش استانداردسازی[5] مقیاس‌بندی شدند؛ به‌طوری‌که هر متغیر دارای میانگین

[5] Standardization

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-09-16]

صفر و انحراف معیار یک گردید. این فرآیند پایداری عددی الگوریتم برازش را افزایش داده و تفسیر نمودارهای وابستگی جزئی[6] را تسهیل می‌کند. در این چارچوب، مقادیر بازه ±1 بیانگر تغییراتی در حدود یک انحراف معیار نسبت به میانگین اقلیمی و مقادیر بزرگ‌تر نشان‌دهنده شرایط محیطی غیرمعمول تلقی می‌شوند. ترکیب تبدیل–Box Coxبرای متغیر پاسخ و استانداردسازی متغیرهای محیطی Lag-2 و Lag-3 موجب شد روابط غیرخطی تأخیری با وضوح بیشتری آشکار شوند. این رویکرد امکان شناسایی نقاط آستانه‌ای[7] و محدوده‌های پاسخ حساس را فراهم ساخت؛ یعنی شرایطی که در آن تغییرات نسبتاً کوچک در متغیرهای اقلیمی دو یا سه ماه قبل، با تغییرات قابل‌توجه در CPUE ماه جاری همراه بوده‌اند. در مجموع، این فرآیند پیش‌پردازش تضمین می‌کند که مدل GAM بر پایه داده‌های پایدار و مقیاس‌بندی‌شده اجرا شود و نتایج حاصل—به‌ویژه در تحلیل اثرات غیرخطی تأخیری—از انسجام آماری و قابلیت اتکای علمی بالاتری برخوردار باشند (کدهای پایتون در بخش پیوست ارائه شده است).

نتایج:

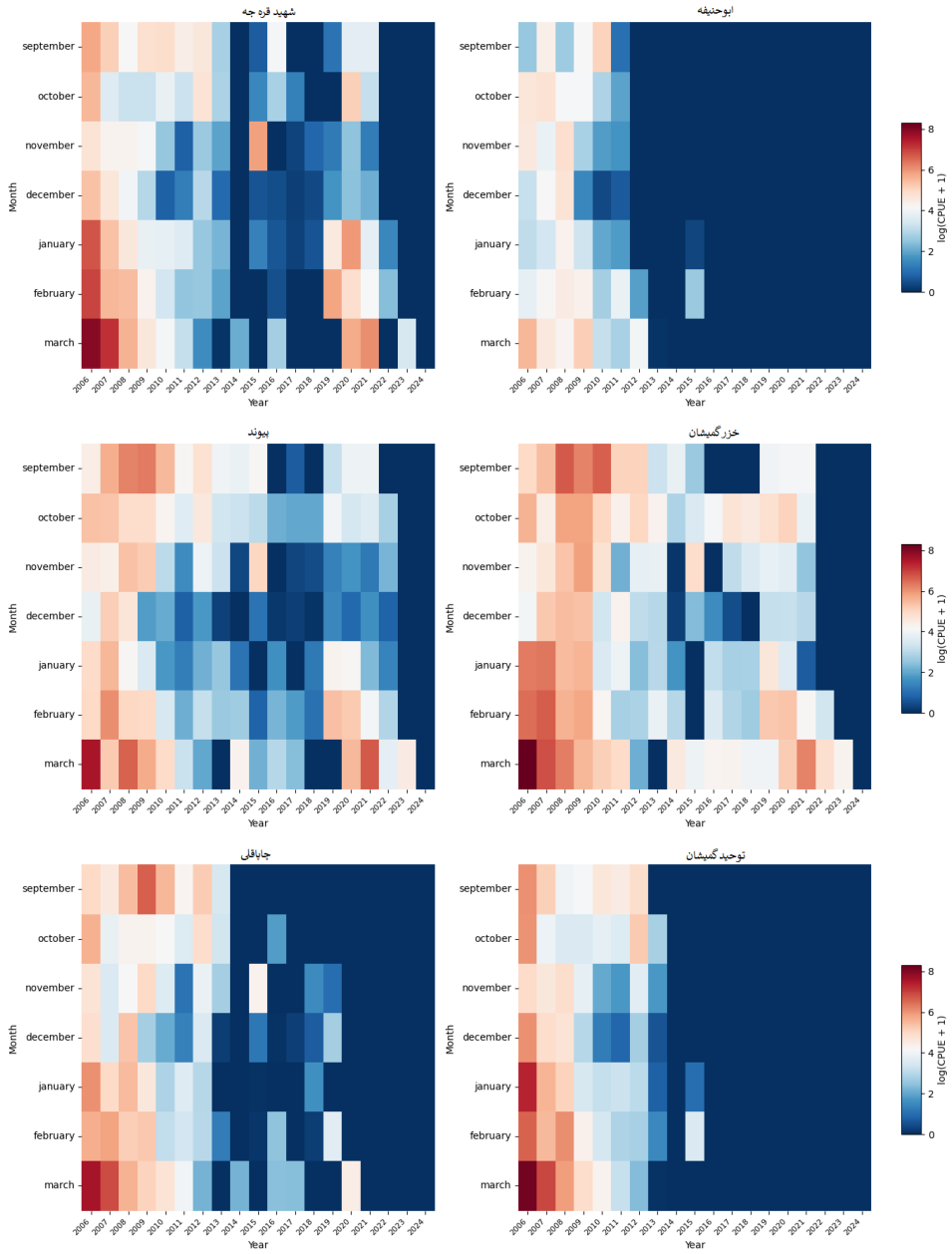
بررسی الگوی صید در بخش شرقی ساحل استان گلستان

بررسی سری زمانی شاخص صید در واحد تلاش (CPUE) در شش پره صیادی بخش شرقی ساحل استان گلستان شامل چاپاقلی، توحیدگمیشان، شهید قره‌جه، ابوحنیفه، پیوند و خزر گلستان (خزرگمیشان) طی دوره ۲۰۰۶ تا ۲۰۲۴ نشان‌دهنده الگویی منسجم و قابل‌تعمیم در مقیاس منطقه‌ای است. در سال‌های ابتدایی دوره (تقریباً ۲۰۰۶ تا ۲۰۰۸ و در برخی صیدگاه‌ها تا ۲۰۰۹ یا ۲۰۱۰)، مقادیر CPUEدر سطح نسبتاً بالایی قرار داشته و یک الگوی فصلی مشخص با اوج‌گیری در ماه‌های سرد سال، به‌ویژه اسفند و فروردین، مشاهده می‌شود. این الگوی فصلی که در تمامی صیدگاه‌ها کم‌وبیش وجود داشته، بیانگر تمرکز و دسترسی‌پذیری بیشتر ذخیره در اواخر زمستان و اوایل بهار و احتمالاً مرتبط با رفتارهای مهاجرتی یا پیش‌تخم‌ریزی بوده است. در این میان، صیدگاه‌هایی نظیر ابوحنیفه، پیوند و خزر گلستان شدت بیشتری از اوج‌های اولیه را نشان داده‌اند، در حالی که در شهید قره‌جه و چاپاقلی نوسانات سال‌به‌سال اندکی گسترده‌تر بوده است. از حدود سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۲، بسته به صیدگاه، یک افت شدید و نسبتاً هم‌زمان در CPUE رخ داده است. در ابوحنیفه و توحیدگمیشان این کاهش زودتر و با شدت بیشتری آغاز شده، در حالی که در شهید قره‌جه و چاپاقلی با اندکی تأخیر کامل شده است؛ با این حال، در نهایت تمامی صیدگاه‌ها به سطوح بسیار پایین CPUE رسیده‌اند. این افت فراگیر نه‌تنها ماه‌های کم‌صید، بلکه ماه‌های اوج فصلی را نیز دربر گرفته و عملاً الگوی فصلی غالب را تضعیف یا حذف کرده است. هم‌زمانی این کاهش در چندین صیدگاه مجاور، نشان‌دهنده وقوع یک تغییر رژیم منطقه‌ای در فاصله زمانی حدود ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۲ است که احتمالاً ناشی از برهم‌کنش فشار صیادی بالا، کاهش موفقیت جذب نسل‌های جدید، تغییرات هیدرولوژیک رودخانه‌های منتهی به خزر و نوسانات اقلیمی بوده است. در دوره پس از این تغییر رژیم (تقریباً از ۲۰۱۱ یا ۲۰۱۲ تا ۲۰۲۴)، تمامی صیدگاه‌ها وارد مرحله‌ای از کم‌فراوانی پایدار شده‌اند. طی این دوره، مقادیر CPUE در سطحی پایین تثبیت شده و تنها نوسانات خفیف، کوتاه‌مدت و غیرپایدار در برخی سال‌ها (برای مثال در برخی زمستان‌های میانی دهه ۲۰۱۰ یا اوایل دهه ۲۰۲۰) مشاهده می‌شود که به هیچ‌وجه به بازسازی ساختاری ذخیره منجر نشده است. در بسیاری از صیدگاه‌ها، از جمله ابوحنیفه، توحیدگمیشان و پیوند، الگوی فصلی اولیه تقریباً به‌طور کامل محو شده و در شهید قره‌جه و چاپاقلی نیز به‌شدت تضعیف گردیده است؛ وضعیتی که بیانگر کاهش محسوس زی‌توده و افت ظرفیت تولیدی جمعیت است. در مجموع، نتایج این تحلیل نشان می‌دهد که ذخیره مورد بررسی در بخش شرقی ساحل استان گلستان طی حدود دو دهه اخیر از یک وضعیت نسبتاً پرفراوان با نوسانات فصلی مشخص، به یک وضعیت کم‌فراوانی پایدار و فاقد الگوی فصلی معنادار گذار کرده است. تداوم بیش از یک دهه مقادیر پایین CPUE در تمامی صیدگاه‌های چاپاقلی، توحیدگمیشان، شهید قره‌جه، ابوحنیفه، پیوند و خزر گلستان حاکی از تضعیف جدی پویایی جمعیت، احتمال تغییر در ساختار سنی–اندازه‌ای و افزایش ریسک کاهش پایداری بلندمدت ذخیره است. این یافته‌ها ضرورت بازنگری در مدیریت بهره‌برداری، کنترل فشار صیادی و انجام تحلیل‌های تکمیلی شامل شناسایی دقیق نقاط تغییر، مدل‌سازی جذب نسل و بررسی هم‌زمان اثر متغیرهای محیطی و شدت صید را به‌طور جدی

[6] Partial Dependence
[7] Thresholds

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-09-16]

برجسته می‌سازد (شکل 2).



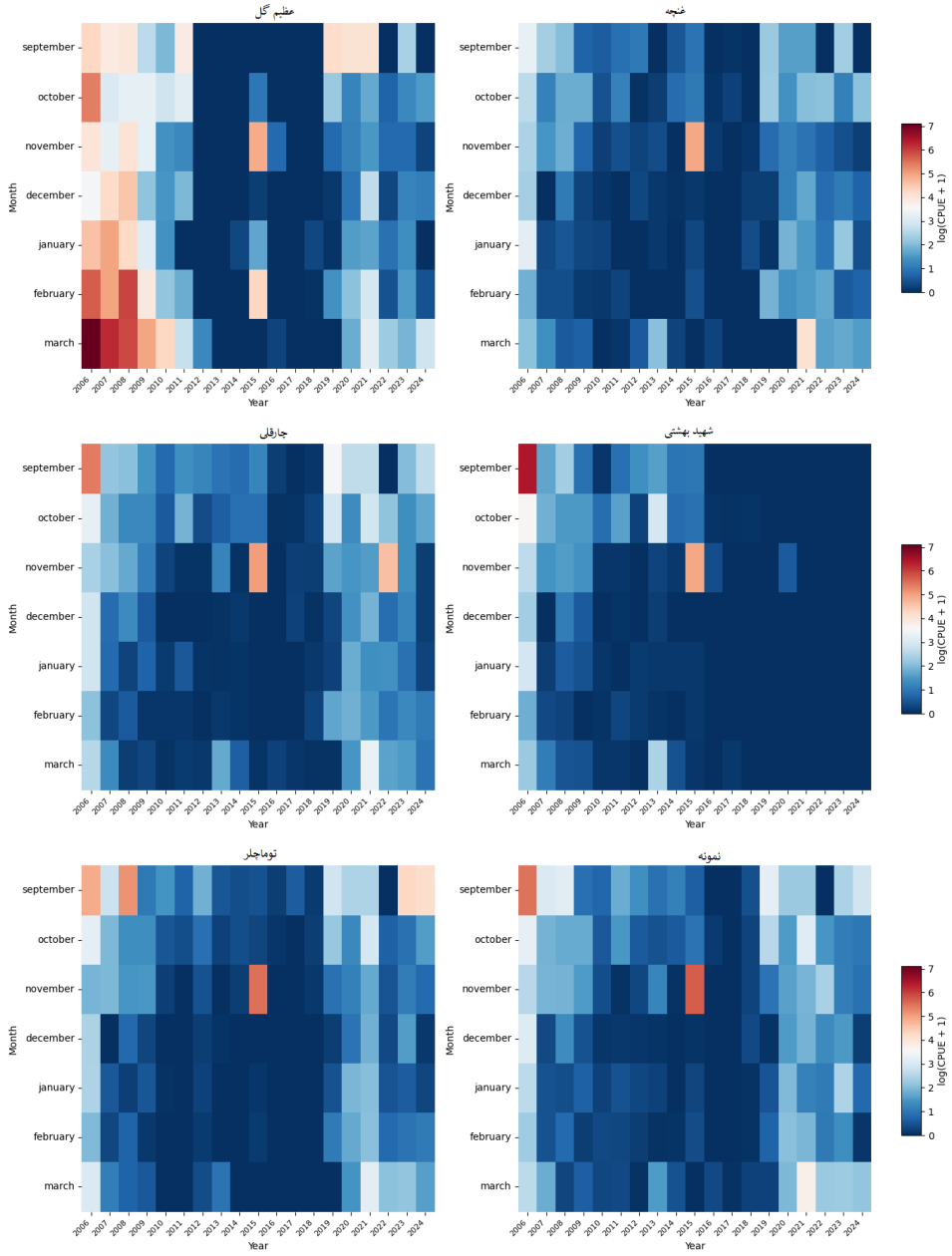
شکل 2- سری زمانی شاخص فراوانی نسبی (CPUE) در صیدگاه‌های منتخب شرقی دریای خزر (ساحل گلستان) (2006-2024)

بررسی الگوی صید در بخش جنوب ساحل استان گلستان

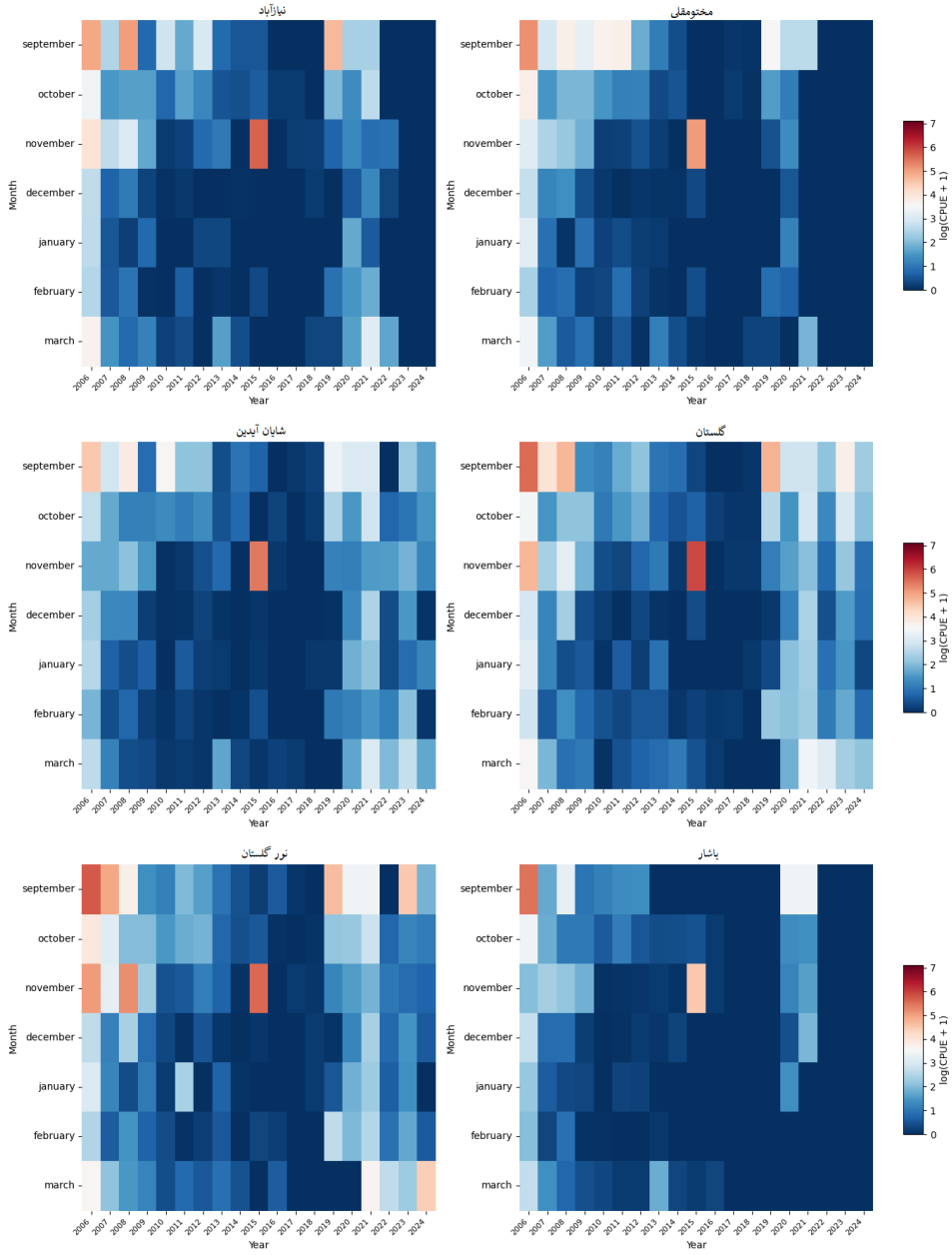
این هیتمپ‌ها روند سری زمانی شاخص صید به ازای واحد تلاش صیادی، به عنوان شاخصی از فراوانی نسبی ذخیره ماهی کپور) را در صیدگاه‌های جنوبی ساحل استان گلستان (جنوب شرقی دریای خزر) طی دوره ۲۰۰۶ تا ۲۰۲۴ نشان می‌دهند. مقیاس رنگ بر پایه $\log(CPUE + 1)$ است (آبی تیره نزدیک به صفر، قرمز تیره مقادیر بالا). الگوی کلی در این مجموعه صیدگاه‌ها بسیار مشابه روند مشاهده‌شده در صیدگاه‌های قبلی است، اما با برخی تفاوت‌های جزئی در زمان‌بندی و شدت افت. در ادامه، هر صیدگاه را به صورت جداگانه و مشابه ساختار نمونه تفسیر می‌کنم: بررسی تطبیقی سری زمانی CPUE در صیدگاه‌های مختلف نشان می‌دهد که اغلب آن‌ها الگوی نسبتاً مشابهی را تجربه کرده‌اند. در بیشتر صیدگاه‌ها از جمله نیازآباد، مختومقلی، نمونه، قره‌سو، شهید بهشتی، یاشار، گلستان و نورگلستان، مقادیر CPUE در سال‌های ابتدایی دوره (تقریباً ۲۰۰۶ تا ۲۰۰۹) در سطوح بالاتری قرار داشته و اوج صید عمدتاً در ماه‌های سرد سال (به‌ویژه بهمن و اسفند و گاه فروردین) رخ داده است که بیانگر یک

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-09-16]

الگوی فصلی مشخص با تمرکز در اواخر زمستان و اوایل بهار است. از حدود ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۲ (با اندکی تفاوت زمانی میان صیدگاه‌ها)، یک افت شدید و نسبتاً هم‌زمان در تمامی ماه‌ها مشاهده می‌شود که در برخی مناطق مانند عظیم‌گل، شهید بهشتی و نیازآباد با شدت بیشتری بروز کرده است. این کاهش، به‌ویژه در ماه‌های اوج صید، نشان‌دهنده وقوع یک شوک گسترده در جمعیت (احتمالاً ناشی از فشار صیادی، تغییرات محیطی یا برهم‌کنش هر دو) است. پس از این مقطع، در بازه‌ای که عموماً از ۲۰۱۱ یا ۲۰۱۲ تا ۲۰۲۴ را دربر می‌گیرد، CPUEدر اغلب صیدگاه‌ها در سطحی پایین و نسبتاً پایدار تثبیت شده و تنها نوسانات خفیف، مقطعی و غیرپایدار (برای مثال در برخی ماه‌های زمستانی حوالی ۲۰۱۵، ۲۰۱۹–۲۰۲۰ یا ۲۰۲۳) مشاهده می‌شود که به بازسازی معنادار ذخیره منجر نشده‌اند. در بسیاری از مناطق، الگوی فصلی اولیه به‌طور محسوس تضعیف یا تقریباً محو شده است. به‌طور کلی، نتایج حاکی از یک تغییر رژیم گسترده از وضعیت پرفراوانی اولیه به یک وضعیت کم‌فراوانی پایدار در سطح منطقه است؛ الگویی که تداوم آن در اغلب صیدگاه‌ها بیانگر قرار گرفتن ذخیره در شرایط کاهش‌یافته و احتمالاً تخریب‌شده در بلندمدت است (شکل 3).



[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-09-16]



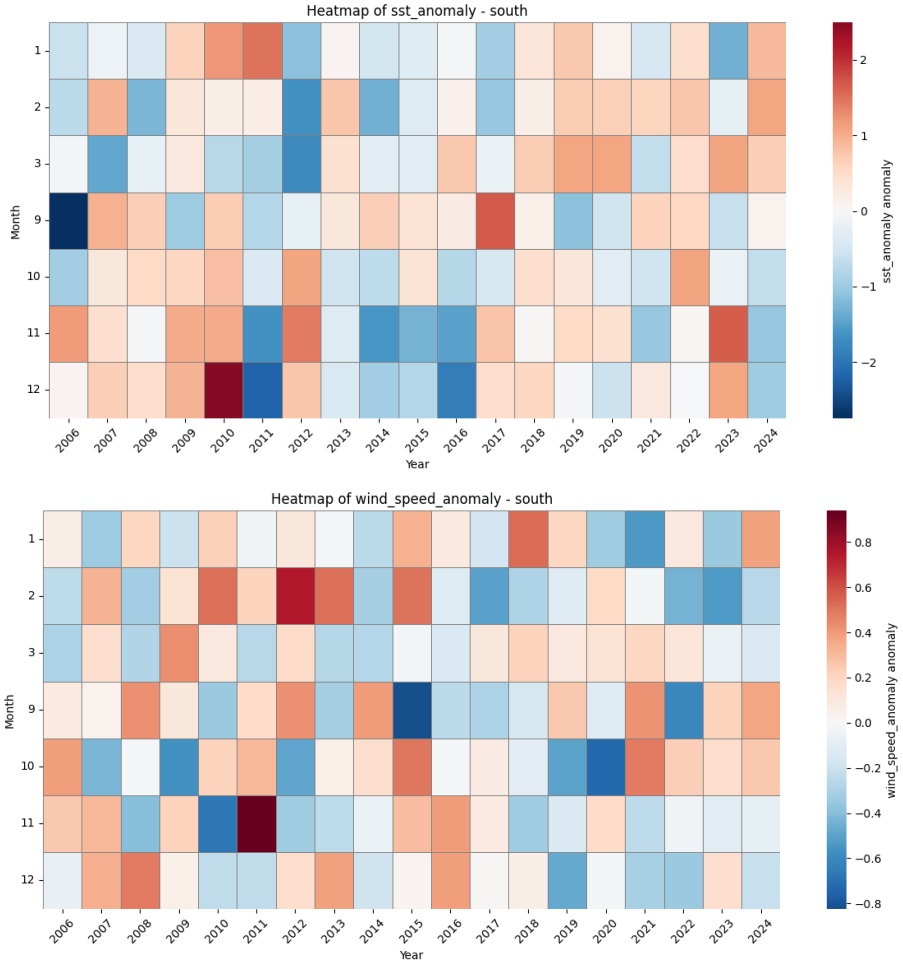
شکل 3- سری زمانی شاخص فراوانی نسبی (CPUE) در صیدگاه‌های منتخب جنوب دریای خزر (ساحل گلستان) (2006-2024)

بررسی آنومالی متغیرهای اقلیمی

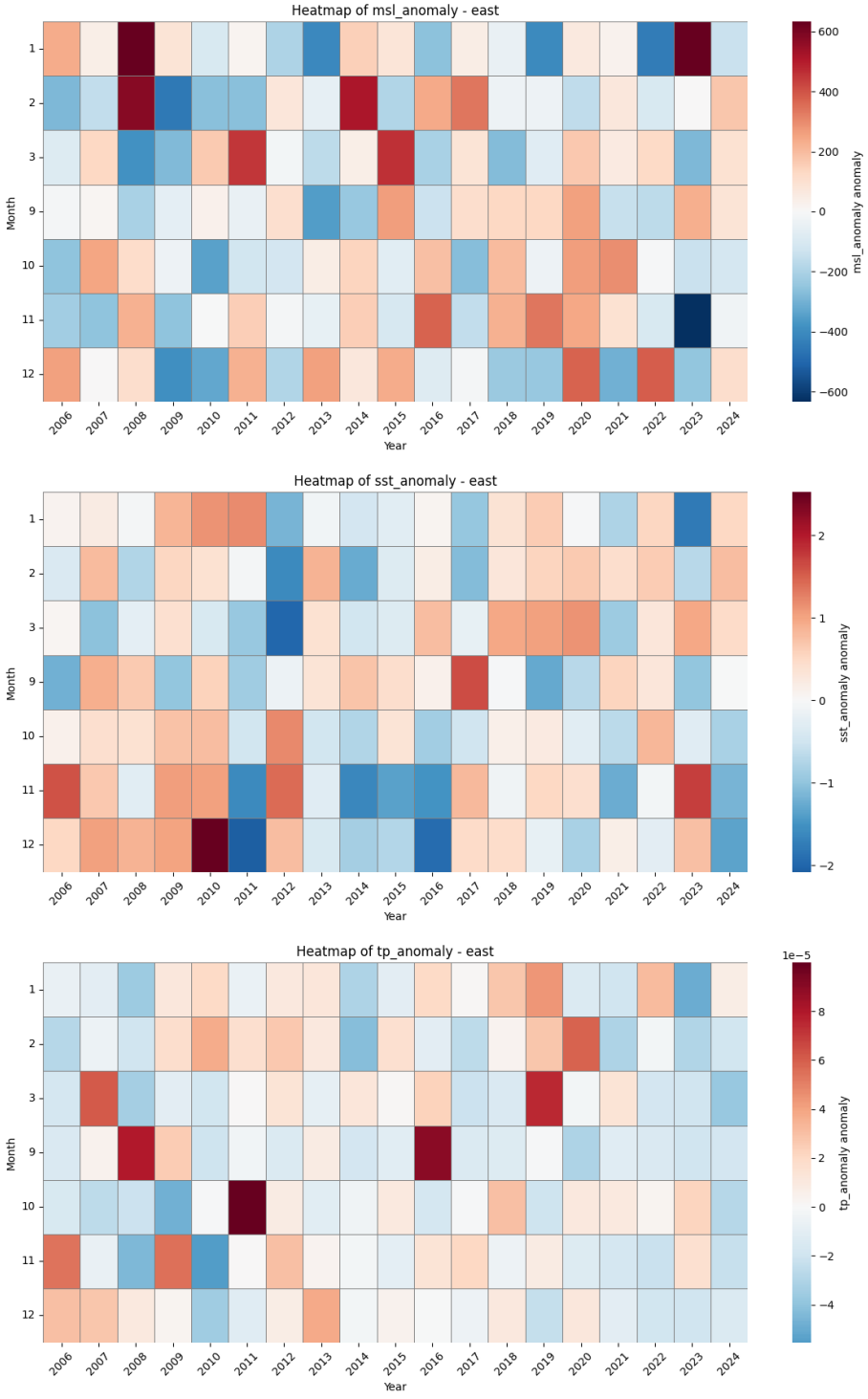
هیت‌مپ‌های ارائه‌شده تصویری یکپارچه از تغییرات آنومالی‌های جوی در سواحل جنوبی و شرقی دریای خزر (استان گلستان) طی دوره ۲۰۰۶ تا ۲۰۲۴ ارائه می‌کنند و نشان می‌دهند که سیستم اقلیمی–اقیانوسی منطقه، اگرچه دارای نوسانات سالانه و چندساله است، اما در برخی پارامترها جهت‌گیری‌های مشخصی را نیز تجربه کرده است. به‌طور کلی، الگوهای رنگی و توزیع زمانی آنومالی‌ها در هر دو ساحل بسیار مشابه بوده و تفاوت معناداری میان بخش جنوبی و شرقی مشاهده نمی‌شود؛ این همسانی احتمالاً ناشی از نزدیکی جغرافیایی، رژیم بادهای غالب دریای خزر و تأثیرات مشترک هیدرولوژیکی و سامانه‌های جوی منطقه‌ای است. آنومالی سرعت باد در هر دو ساحل رفتاری عمدتاً نوسانی و فاقد روند خطی بلندمدت نشان می‌دهد. لکه‌های مثبت و منفی به‌صورت پراکنده در طول دوره ظاهر شده‌اند و گرادیان زمانی مشخصی (افزایش یا کاهش پیوسته) مشاهده نمی‌شود. تنها نشانه‌ای از الگوی فصلی ضعیف وجود دارد که تمایل به آنومالی‌های منفی در نیمه دوم سال (پاییز و زمستان) را نشان می‌دهد، در حالی‌که آنومالی‌های مثبت توزیع پراکنده‌تری دارند. این وضعیت بیانگر ثبات نسبی رژیم بادی و غالب بودن نوسانات کوتاه‌مدت جوی است. در مقابل، آنومالی دمای سطح دریا

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-09-16]

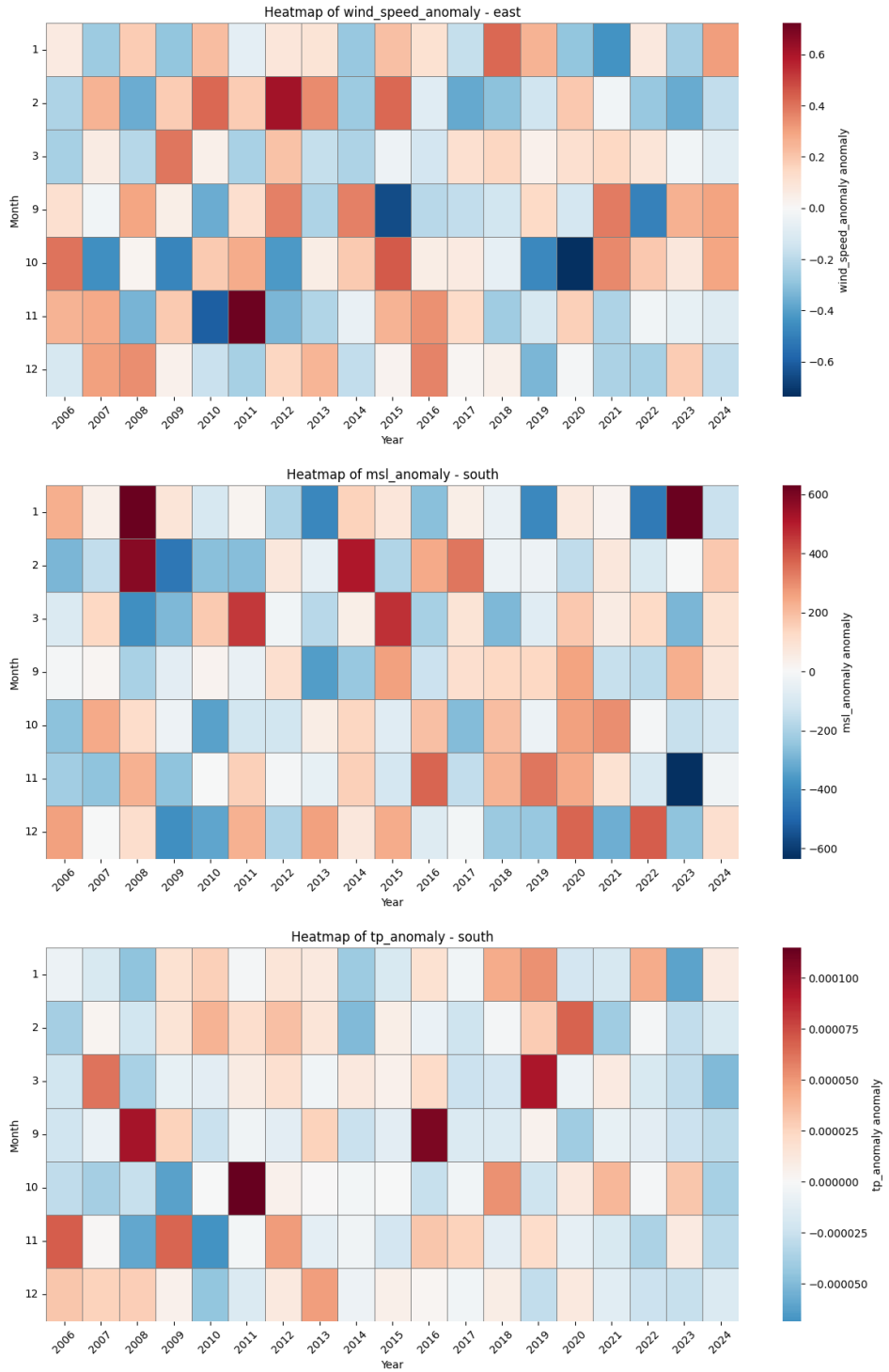
(SST) روند جهت‌دار مشخص‌تری را نشان می‌دهد. در نیمه نخست دوره، آنومالی‌های منفی (خنک‌تر از میانگین) غالب‌اند، اما در سال‌های اخیر آنومالی‌های مثبت (گرم‌تر از میانگین) گسترده‌تر و پررنگ‌تر شده‌اند. این تغییر تدریجی به سمت مقادیر مثبت، بیانگر روند گرم‌شدن سطح آب در هر دو ساحل است که با الگوهای گرمایش منطقه‌ای و جهانی و افزایش تبخیر همخوانی دارد. اگرچه نوسانات فصلی به‌ویژه در ماه‌های سرد مشهود است، اما جهت‌گیری کلی گرم‌شدن در کل دوره غالب است. آنومالی سطح متوسط دریا (MSL) نیز نوسانات قابل‌توجهی را نشان می‌دهد، اما در نیمه دوم دوره، جهت‌گیری غالب به سمت مقادیر منفی (کاهش سطح آب) است. در سال‌های ابتدایی، آنومالی‌های مثبت بیشتر دیده می‌شوند، در حالی‌که در سال‌های اخیر لکه‌های منفی گسترده‌تر شده‌اند. این الگو با روند کاهشی تراز آب دریای خزر سازگار بوده و احتمالاً بازتابی از افزایش تبخیر، تغییر در الگوی بارش و کاهش آورد رودخانه‌هاست. در این پارامتر نیز تفاوت بارزی میان دو ساحل مشاهده نمی‌شود و روند چندساله کاهش سطح آب ویژگی غالب محسوب می‌شود. آنومالی بارش کل (TP) بیش از سایر پارامترها ماهیتی نوسانی و کوتاه‌مدت دارد و فاقد روند بلندمدت مشخص به سمت ترسالی یا خشکسالی است. آنومالی‌های مثبت و منفی به‌صورت متناوب و بدون خوشه‌بندی زمانی پایدار ظاهر شده‌اند و تنها گرایش فصلی ضعیفی به آنومالی‌های مثبت در بهار و پاییز دیده می‌شود. این الگو نشان‌دهنده رژیم بارشی متغیر اما بدون تغییر ساختاری عمده طی دو دهه اخیر است. در مجموع، این هیتمپ‌ها بیانگر سیستمی پویا اما نسبتاً پایدار در مقیاس محلی هستند که تحت تأثیر نوسانات طبیعی اقلیمی قرار دارد. دو روند برجسته شامل گرم‌شدن تدریجی سطح دریا و کاهش سطح آب در سال‌های اخیر است که هر دو با تغییرات اقلیمی گسترده‌تر هم‌راستا هستند. نبود تفاوت معنادار میان ساحل جنوبی و شرقی نشان می‌دهد که عوامل محرک اصلی در هر دو ناحیه به‌صورت همگن عمل می‌کنند و تفاوت‌های محلی نقش تعیین‌کننده‌ای در الگوی آنومالی‌ها نداشته‌اند. این همسانی می‌تواند مبنای علمی مناسبی برای رویکرد مدیریت یکپارچه ساحلی در استان گلستان، به‌ویژه در مواجهه با چالش‌های آینده نظیر گرمایش آب و افت تراز دریا، فراهم آورد (شکل 4).



[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-09-16]



[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-09-16]



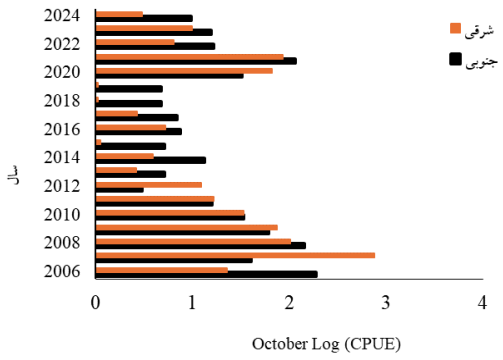
شکل 4- سری زمانی تغییرات آنومالی های جوی در سواحل خزر در استان گلستان (ساحل جنوبی و شرقی).

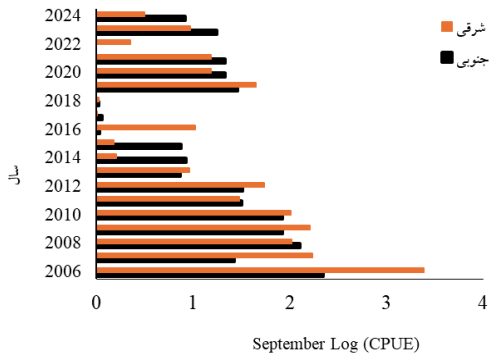
تغییرات صید در واحد تلاش در هرماه

این مجموعه نمودارهای میله‌ای افقی با مقیاس log(CPUE + 1)روندهای فراوانی نسبی ماهی کپور دریایی را در دو منطقه ساحلی شرقی و جنوبی استان گلستان طی دوره ۲۰۰۶ تا ۲۰۲۴ و در هفت ماه اصلی صید به صورت جداگانه نمایش می‌دهند و مقایسه ماه‌ها نشان‌دهنده الگوهای بسیار همگرا اما با تفاوت‌های مشخص در شدت و پایداری وجود دارد. در تمام ماه‌ها، سال‌های ۲۰۰۶ و ۲۰۰۷ به‌طور واضح بالاترین مقادیر را دارند و منطقه شرقی در این دو سال معمولاً مقادیر بالاتری نسبت به جنوبی نشان می‌دهد، به‌طوری که در ماه‌های سردتر (بهمن، اسفند و فروردین) این برتری شرقی برجسته‌تر

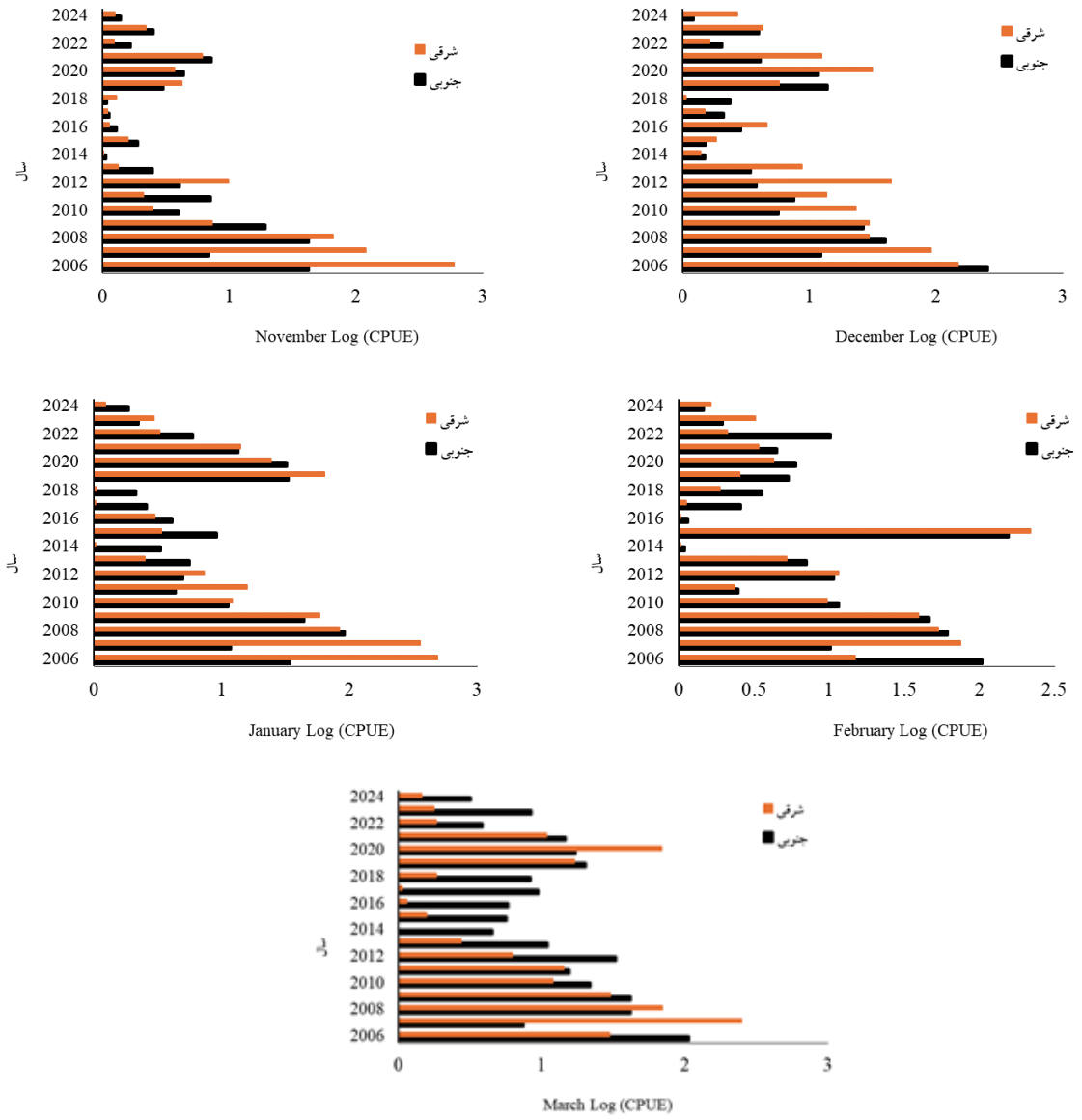
[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-09-16]

است و در ماه‌های گذار پاییزی–زمستانی (مهر، آبان، آذر دی) نیز شرقی اغلب بالاتر اما با اختلاف کمتر ظاهر می‌شود. پس از سال ۲۰۰۸، در همه ماه‌ها و در هر دو منطقه، مقادیر به‌طور ناگهانی و شدید کاهش یافته و تا سال ۲۰۲۴ در سطح بسیار پایین و تقریباً هم‌سطح تثبیت می‌شوند، به‌گونه‌ای که تفاوت سیستماتیک بین شرقی و جنوبی در اکثر سال‌ها ناچیز یا کاملاً از بین رفته است. در ماه مهر (سپتامبر)، مقادیر در ۲۰۰۶ و ۲۰۰۷ در هر دو منطقه نسبتاً بالا هستند اما شرقی اندکی برتر است و از ۲۰۰۸ به بعد هر دو منطقه به سطوح نزدیک صفر سقوط می‌کنند و در سال‌های اخیر تفاوت بین آن‌ها تقریباً وجود ندارد. ماه آبان (اکتبر) نیز همین الگو را تکرار می‌کند؛ سال ۲۰۰۶ شرقی را به‌طور معناداری بالاتر از جنوبی نشان می‌دهد، در ۲۰۰۷ اختلاف کاهش می‌یابد و از ۲۰۰۸ به بعد مقادیر پایین و هم‌سطح باقی می‌مانند با نوسانات جزئی که شرقی گاهی کمی بالاتر است. در ماه آذر (نوامبر)، تفاوت بین مناطق در سال‌های اولیه بیشتر است و شرقی در ۲۰۰۶ و حتی ۲۰۰۷ مقادیر بالاتری دارد، اما از ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۴ هر دو منطقه در سطح بسیار پایین همگرا می‌شوند و تنها در سال ۲۰۱۵ شرقی پیک کوچکی نشان می‌دهد که جنوبی فاقد آن است و در ۲۰۲۳–۲۰20 نیز شرقی نوسانات اندکی بالاتر اما همچنان ناچیز دارد. در ماه دی (دسامبر)، سال ۲۰۰۶ تفاوت بارز بین شرقی و جنوبی را نشان می‌دهد که شرقی به‌طور قابل توجهی بالاتر است، در ۲۰۰۷ این اختلاف کمتر می‌شود و از ۲۰۰۸ به بعد هر دو منطقه در مقادیر نزدیک به صفر و بدون تفاوت معنادار قرار می‌گیرند، به‌طوری که در سال‌های ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۴ مقادیر کاملاً هم‌سطح و بسیار پایین هستند. ماه بهمن (ژانویه) الگویی تقریباً یکسان با دی دارد؛ در ۲۰۰۶ شرقی به‌طور چشمگیری بالاتر از جنوبی است، در ۲۰۰۷ تفاوت کاهش می‌یابد و از ۲۰۰۸ به بعد هر دو منطقه در سطح پایه پایین و هم‌سطح باقی می‌مانند بدون نوسانات قابل توجه بین آن‌ها. در ماه اسفند (فوریه) نیز سال ۲۰۰۶ شرقی را بسیار بالاتر از جنوبی نشان می‌دهد، در ۲۰۰۷ اختلاف کم‌رنگ‌تر است و از ۲۰۰۸ به بعد مقادیر در هر دو منطقه بسیار پایین و تقریباً یکسان هستند با اندک برتری گاه‌به‌گاه شرقی. ماه فروردین (مارس) بیشترین تفاوت را در سال‌های اولیه برجسته می‌کند؛ در ۲۰۰۶ شرقی به‌طور قابل توجهی بالاتر از جنوبی قرار دارد، در ۲۰۰۷ این برتری همچنان وجود دارد اما از ۲۰۰۸ به بعد هر دو منطقه به سطوح نزدیک صفر سقوط می‌کنند و تفاوت بین آن‌ها عملاً از بین می‌رود. به‌طور خلاصه، در تمام ماه‌ها سال‌های ۲۰۰۶ و ۲۰۰۷ بالاترین مقادیر را دارند و منطقه شرقی در این دوره معمولاً برتری دارد، در حالی که از سال ۲۰۰۸ به بعد فراوانی نسبی در هر دو منطقه به‌طور پایدار بسیار پایین می‌ماند و تفاوت بین ساحل شرقی و جنوبی در اکثر موارد ناچیز یا ناموجود می‌شود و الگوی فصلی اولیه که در آن ماه‌های سردتر مقادیر بالاتری داشتند نیز کاملاً محو شده و جای خود را به یک وضعیت همگن و بسیار ضعیف در تمام ماه‌ها داده است (شکل 5).





[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-09-16]



شکل 5- تغییرات ماهیانه صید در واحد تلاش در دو ساحل شرقی و جنوبی دریای خزر (استان گلستان دز سال های بین 2006 تا 2024).

ارتباط متغیرهای محیطی و صید در واحد تلاش

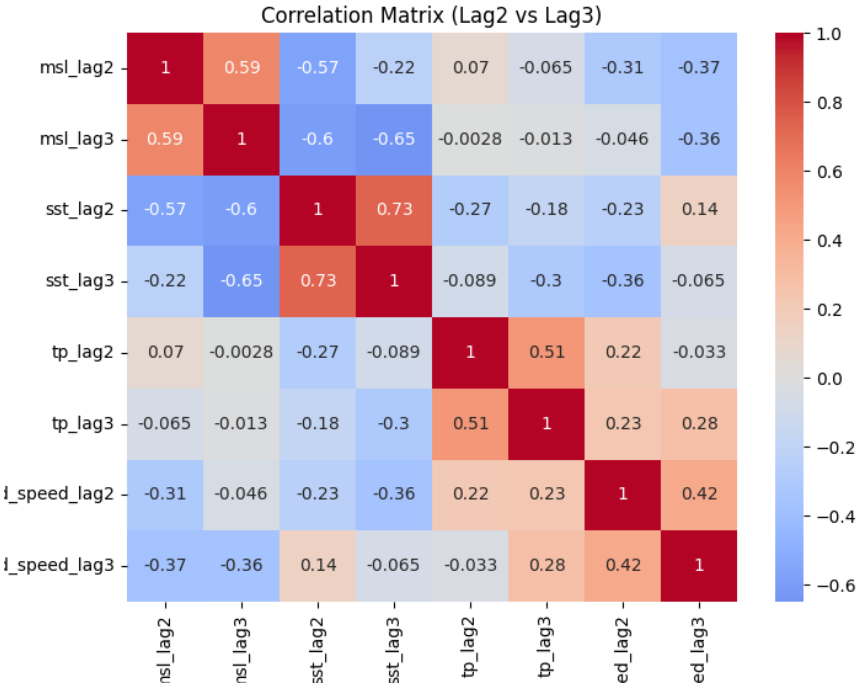
ارزیابی همخطی میان متغیرهای با تأخیر دو و سه‌ماهه به منظور بررسی میزان وابستگی خطی میان متغیرهای محیطی با تأخیرهای دو و سه‌ماهه، ماتریس همبستگی پیرسون بین متغیرهای Lag2 و Lag3 ترسیم شد. نتایج نشان داد که بیشترین همبستگی مربوط به دمای سطح دریا بین Lag2 و Lag3 ($r = 0.73$) است. این مقدار با توجه به ماهیت فیزیکی دمای دریا که دارای پیوستگی زمانی بالا و اینرسی حرارتی است، قابل انتظار بوده و بیانگر تداوم شرایط حرارتی در بازه‌های زمانی کوتاه‌مدت می‌باشد. همبستگی سطح متوسط دریا بین Lag2 و Lag3 برابر با 0/59، بارش کل برابر با 0/51 و سرعت باد برابر با 0/42 برآورد شد که همگی در محدوده همبستگی متوسط قرار می‌گیرند. هیچ‌یک از ضرایب همبستگی به آستانه‌های بحرانی ($r > 0.80$) که نشان‌دهنده همخطی شدید هستند، نرسیدند (شکل 6). این یافته با نتایج شاخص VIF (حداکثر حدود 5/1 برای sst_lag3) نیز همخوانی دارد و نشان می‌دهد که وارد کردن همزمان Lag2 و Lag3 برای هر متغیر محیطی موجب ناپایداری عددی مدل نشده است. همچنین مشاهده همبستگی منفی نسبتاً قوی میان سطح متوسط دریا و دمای سطح دریا بیانگر وجود پیوند دینامیکی میان شرایط جوی و اقیانوسی منطقه است. این الگو احتمالاً بازتاب تعامل سامانه‌های پرفشار و کم‌فشار با ساختار حرارتی سطح دریا و پاسخ تراز آب به

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-09-16]

تغییرات گرمایی و فشار جوّی است. با این حال، از آنجا که شدت این همبستگی در محدوده متوسط قرار دارد، مدل قادر بوده اثرات غیرخطی مستقل هر متغیر را بدون بروز همخطی بحرانی برآورد کند.. در مجموع، نتایج ماتریس همبستگی نشان می‌دهد که چارچوب Lag2–Lag3 از نظر ساختاری پایدار بوده و استفاده همزمان از این تأخیرها از نظر آماری قابل دفاع است (جدول 1).

جدول 1- بررسی میزان همخطی متغیرهای توضیحی در مدل GAM بر اساس شاخص تورم واریانس

ردیف	متغیر	VIF
0	لگ 2 سطح متوسط دریا	3/01
1	لگ 3 سطح متوسط دریا	3/51
2	لگ 2 دمای سطح آب	4/49
3	لگ 3 دمای سطح آب	5/14
4	لگ 2 بارش	1/77
5	لگ 3 بارش	1/83
6	لگ 2 سرعت باد	1/82
7	لگ 3 سرعت باد	1/7

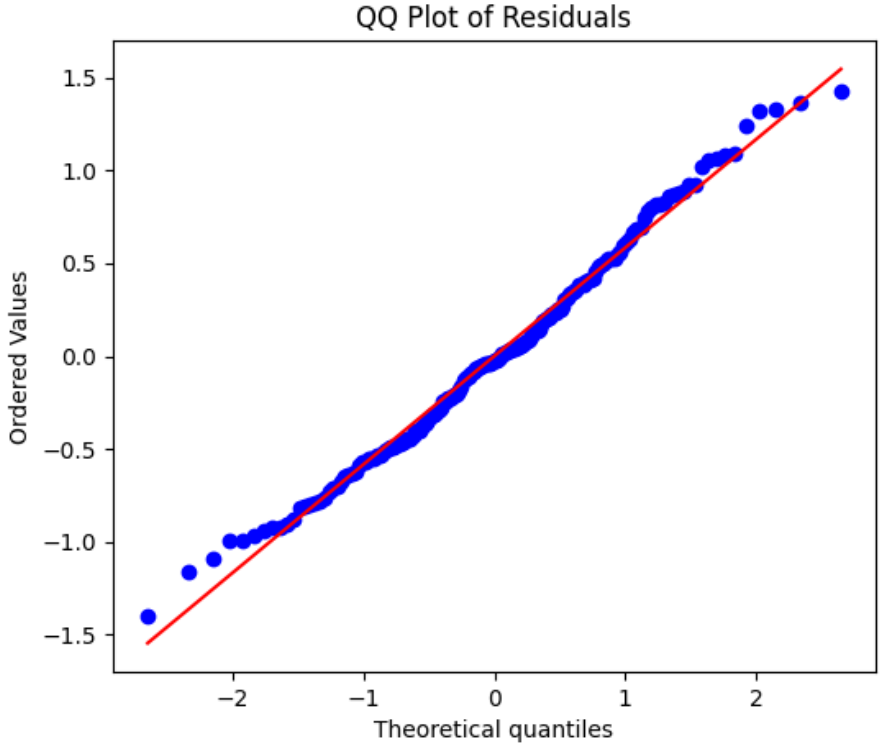


شکل 6- نمودار حرارتی ماتریس همبستگی متغیرهای محیطی با تأخیر زمانی دو و سه‌ماهه

بررسی مدل (نرمال سازی و ساختار باقیمانده‌ها

برای ارزیابی کفایت ساختار مدلGAM ، توزیع و الگوی باقیمانده‌ها مورد بررسی قرار گرفت. نمودار QQ نشان داد که نقاط تجربی به‌طور قابل توجهی بر روی خط 45 درجه منطبق هستند. این هم‌راستایی بیانگر آن است که توزیع باقیمانده‌ها تقریباً از توزیع نرمال پیروی می‌کند. تنها در دم‌های توزیع انحراف خفیفی مشاهده می‌شود که می‌تواند ناشی از رخدادهای حدی زیست‌محیطی یا نوسانات شدید کوتاه‌مدت در CPUE باشد، اما این انحراف در حدی نیست که نشان‌دهنده نقض جدی فرض نرمال بودن باشد (شکل 7).

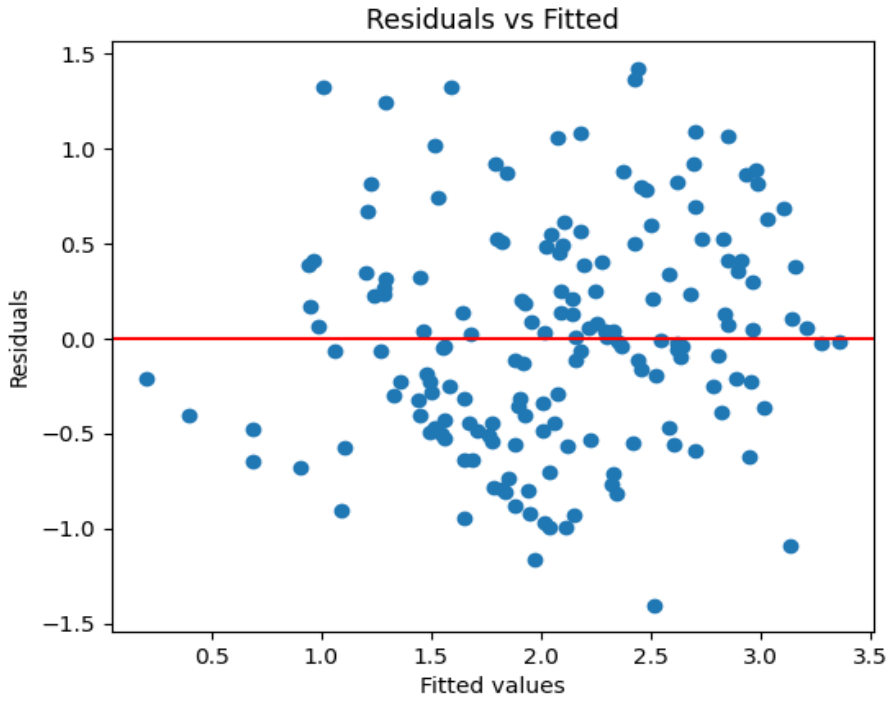
[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-09-16]



شکل 7- ارزیابی انطباق توزیع باقیمانده‌های مدل با توزیع نرمال استاندارد(Q–Q Plot)

هیستوگرام باقیمانده‌ها نیز توزیعی تقریباً متقارن حول صفر را نشان می‌دهد. میانگین باقیمانده‌ها نزدیک به صفر بوده و چولگی محسوسی مشاهده نمی‌شود. کشیدگی توزیع نیز در محدوده طبیعی قرار دارد و الگوی دم‌های سنگین یا چندقله‌ای دیده نمی‌شود. این نتایج نشان می‌دهد که تبدیل Box–Cox به‌درستی توانسته است ناهمسانی واریانس و چولگی اولیه داده‌های CPUE را اصلاح کند. در مجموع، بررسی‌های تشخیصی حاکی از آن است که باقیمانده‌ها فاقد الگوی سیستماتیک، سوگیری ساختاری یا ناهمسانی واریانس شدید هستند. بنابراین، مفروضات اصلی برازش مدل GAM تا حد زیادی برقرار بوده و ساختار مدل از کفایت آماری مناسب برخوردار است (شکل 8).

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-09-16]



شکل 8- توزیع باقیمانده‌های CPUE پس از اصلاح با تبدیل Box–Cox

مدل GAM و تحلیل شیفتوگرام

با حجم نمونه به ۲۰۹ مشاهده (پس از اعمال لگ‌های ۲ و ۳ ماهه و حذف مقادیر گم‌شده)، مدل افزودنی تعمیم‌یافته روابط غیرخطی و تأخیری میان نرخ صید بر واحد تلاش ماهی کپور در سواحل شرقی دریای خزر (استان گلستان) و متغیرهای اقلیمی کلیدی را نشان می‌دهد. داده‌ها از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۲۴ جمع‌آوری شده و تمرکز بر فصول خاص (زمستان: دسامبر تا فوریه؛ بهار: مارس؛ پاییز: سپتامبر تا اکتبر) است. تبدیل باکس-کاکس با لامبدای تقریبی 0/141- برای نرمال‌سازی توزیع CPUE جابه‌جاشده اعمال شده و مدل کلی حدود ۵۵ تا ۶۰ درصد از واریانس CPUEتبدیل‌شده را توضیح می‌دهد، که با توجه به پیچیدگی اکوسیستم دریای خزر و حضور عوامل غیراندازه‌گیری‌شده مانند فشار صید، آلودگی، تغییرات هیدرولوژیکی رودخانه‌ها و اثرات رقابتی گونه‌های مهاجم، سطح توضیح‌دهندگی مناسبی محسوب می‌شود. ارزیابی عملکرد مدل بر حسب فصل‌ها تفاوت‌های معناداری را آشکار می‌سازد: در زمستان (N=57, R^2= 0.58-0.67, RMSE=0.58-0.65) و بهار (N=38, R^2= 0.55-0.60, RMSE=0.525-0.546) تطابق نسبتاً قوی‌تری مشاهده می‌شود، که احتمالاً به دلیل تأثیر بیشتر رفتار مهاجرتی، تغذیه و دسترسی به زیستگاه کپور از شرایط اقلیمی سردتر و پایدارتر این فصول است؛ در پاییز (N=114, R^2= 0.502-0.529, RMSE=0.575-0.6) توضیح‌دهندگی اندکی پایین‌تر است، که می‌تواند ناشی از نوسانات گذار فصلی، تغییرات ناگهانی دما و بارش، و عوامل محلی بیشتر باشد (جدول 2). این الگوی فصلی بر لزوم رویکردهای مدیریتی متفاوت در فصول مختلف تأکید دارد، به ویژه حفاظت شدیدتر در زمستان و بهار که CPUEحساس‌تر به سیگنال‌های اقلیمی است. بر اساس اندازه اثر میانگین ویژگی‌ها در تمام فصول، متغیرهای باد (wind_speed_lag2) با اثر 1/85 و(wind_speed_lag3) با 1/26، دمای سطح دریا (sst_lag3) با 1/73 و (sst_lag2) با 1/47 و سطح متوسط دریا (msl_lag3) با 1/26 به عنوان مهم‌ترین پیش‌بین‌ها ظاهر شده‌اند، در حالی که بارش و فصل اثر کمتری نشان می‌دهند (جدول 3). این رتبه‌بندی اهمیت، نقش محوری باد و دمای سطح دریا را در شکل‌دهی به فراوانی نسبی کپور برجسته می‌کند و با مکانیسم‌های اکولوژیکی شناخته‌شده در اکوسیستم‌های نیمه‌بسته مانند دریای خزر همخوانی دارد. نمودارهای وابستگی جزئی اثرات غیرخطی پیچیده‌ای را برای این متغیرهای کلیدی

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-09-16]

نشان می‌دهند. سرعت باد با لگ ۲ و ۳ ماهه و الگوی موجی مشخصی دارد؛ کاهش اثر در محدوده‌های متوسط (حدود 1- تا ۰ در مقیاس استانداردشده) و افزایش قابل توجه در افراط‌های پایین و بالا (بالای 1/5+ تا 2+) مشاهده می‌شود، که نشان می‌دهد هم بادهای آرام و هم بادهای شدید می‌توانند CPUE را افزایش دهند، احتمالاً از طریق تجمع پلانکتون، اختلاط آب و تغذیه. دمای سطح دریا با لگ ۳ و ۲ ماهه و الگوهای نوسانی چندموج را نشان می‌دهد؛ افزایش اثر در محدوده‌های پایین و افراط‌های بالا و کاهش در نواحی میانی، که می‌تواند به آستانه‌های حرارتی کپور مربوط باشد و رفتار تغذیه و رشد آن را تحت تأثیر قرار دهد. سطح متویط دریا با لگ ۳ ماهه منحنی موجی با کاهش در محدوده‌های پایین تا متوسط و افزایش قابل توجه در مقادیر بالا دارد. به طور کلی، این تحلیل شواهد محکمی برای تأثیرات تأخیری و غیرخطی باد، دما و سطح متوسط دریا بر CPUE کپور ارائه می‌دهد، که از طریق تغییر در تولید اولیه، اختلاط آب، توزیع طعمه و کیفیت زیستگاه عمل می‌کنند. در زمینه تغییرات اقلیمی جاری دریای خزر – کاهش سطح آب، افزایش دما و موج‌های گرمایی – این یافته‌ها بر اهمیت ادغام پیش‌بینی‌های اقلیمی در مدیریت شیلاتی تأکید دارند. می‌توان مدل را با افزودن تعاملات (مانند باد × دما)، لگ‌های بالاتر، اعتبارسنجی فضایی-زمانی و مقایسه با مدل‌های جایگزین گسترش داد، و همچنین بررسی عوامل انسانی و بیولوژیکی برای کاهش واریانس توضیح‌نداده‌شده، که می‌تواند مبنای سیاست‌گذاری پایدار صید کپور در منطقه باشد، به ویژه با توجه به حساسیت فصلی و آستانه‌های غیرخطی مشاهده‌شده است (اشکال 9).

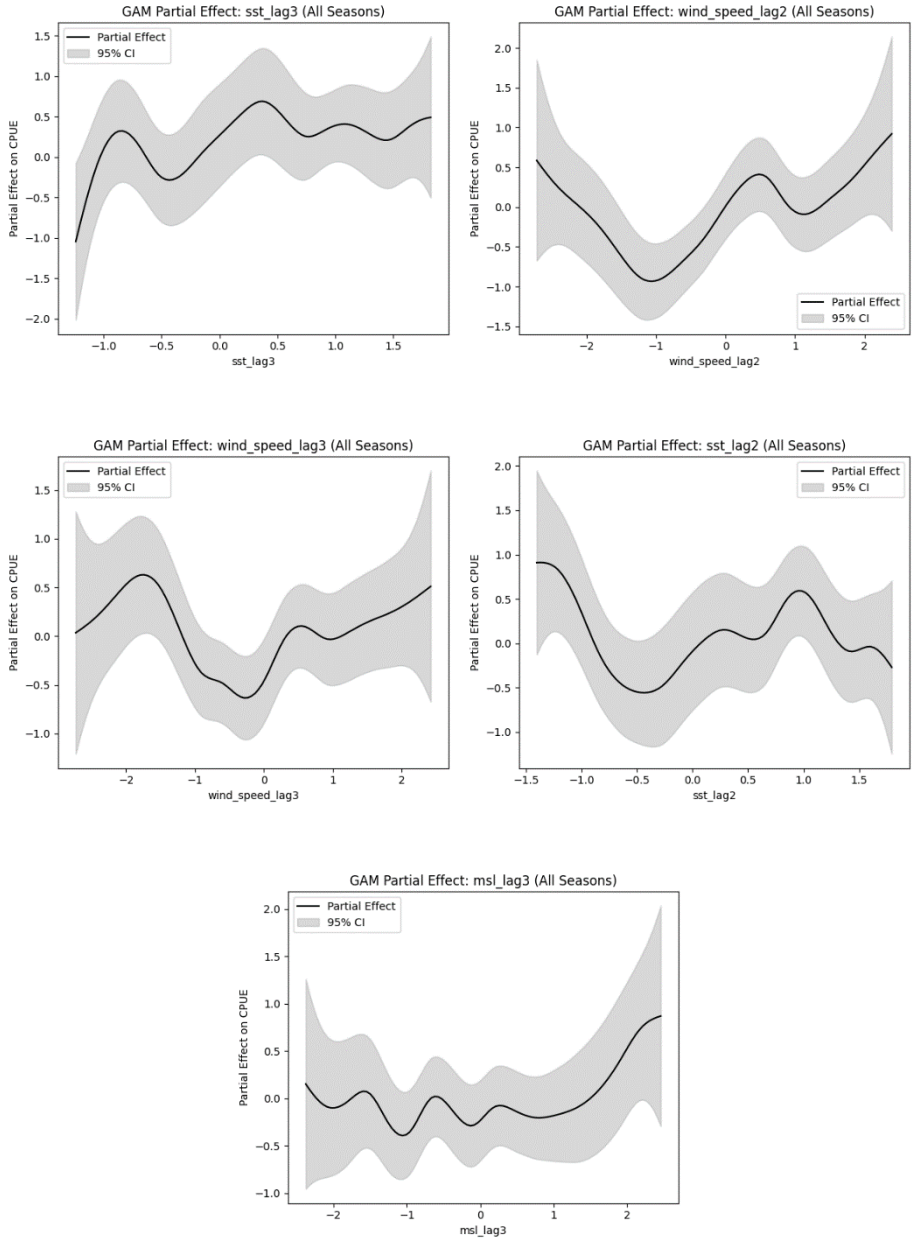
جدول 2- عملکرد مدل GAM براساس فصول مختلف صید

فصل	تعداد	R^2	RMSE
زمستان	57	0/58	0/65
بهار	38	0/55	0/54
پاییز	114	0/53	0/57

جدول 3- اهمیت متغیرهای اقلیمی بر نرخ صید بر واحد تلاش (CPUE) کپور در دریای خزر

رتبه	متغیر	اندازه اثر
1	لگ 2 سرعت باد	1/85
2	لگ 3 دمای سطحی	1/73
3	لگ 2 دمای سطحی	1/47
4	سرعت باد لگ 3	1/26
5	سطح متوسط دریا لگ 3	1/26
6	سطح متوسط دریا لگ 2	0/98
7	بارندگی لگ 3	0/86
8	بارندگی لگ 2	0/57
9	کد فصول	0/38

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-09-16]



شکل 9- نمودارهای وابستگی جزئی اثرات غیرخطی سرعت باد، دمای سطح دریا و سطح متوسط دریا (لگ‌های ۲ و ۳ ماهه) بر CPUE ماهی کپور در مدل GAM

بحث و نتیجه گیری نهایی

تحلیل علمی اثرات اقلیمی بر تلاش صیادی

نتایج این مطالعه تصویری دقیق و چندبعدی از وضعیت ذخایر ماهی کپور در سواحل جنوبی و شرقی استان گلستان طی بازه زمانی ۲۰۰۶ تا ۲۰۲۴ ارائه می‌دهد و با الگوی کاهش جمعیت گزارش‌شده در مطالعات پیشین هم‌راستا است، در حالی که برای نخستین بار جنبه‌های غیرخطی و تأخیری اثرات اقلیمی بر جمعیت را کمی‌سازی می‌کند. تحلیل سری زمانی CPUE در صیدگاه‌های شرقی و جنوبی نشان‌دهنده تغییر رژیم واضحی از وضعیت پرفراوانی اولیه (اوج در ۲۰۰۶–۲۰۰۸ با الگوی فصلی مشخص در ماه‌های سرد) به کم‌فراوانی پایدار پس از ۲۰۰۸–۲۰۱۲ است؛ الگویی که نه تنها الگوی فصلی را تقریباً محو کرده، بلکه CPUE را در سطوح پایین تثبیت نموده است. این یافته با نتایج فضلی و همکاران (2023) مطابقت دارد که اوج جمعیت کپور ایرانی دریای خزر را در سال 2002 تا 2003 با 35/3 میلیون قطعه گزارش کرده و کاهش مداوم آن را تا سال 2012 و 2013 ثبت کرده‌اند.

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-09-16]

آنها عمده دلایل کاهش را فشار صیادی بیش از حد (E> 0.5 در ۲۱ سال از ۲۵ سال) و نسبت پایین پتانسیل تولید مثل (SPR =10%) دانسته و توصیه به کاهش نیمی از F و حداقل اندازه صید ۳۰ سانتی‌متر کرده‌اند. مطالعه حاضر نه تنها این تغییر رژیم را تأیید می‌کند، بلکه با تحلیل ماهانه و منطقه‌ای نشان می‌دهد که این افت یک پدیده منطقه‌ای یکپارچه است که فراتر از مرزهای صیدگاه‌های محلی عمل کرده است.

علاوه بر فشار صیادی، بررسی آنومالی‌های اقلیمی شامل گرم‌شدن تدریجی SST و کاهش MSL در نیمه دوم دوره، و مدل‌سازیGAM ، نقش تعیین‌کننده تغییرات محیطی را برجسته می‌کند؛ این نتایج با یافته‌های بندانی و همکاران (2020) در استان گلستان هم‌خوانی دارد، که کاهش سهم صید کپور را علی‌رغم افزایش رهاسازی بچه‌ماهی، به افت سطح آب دریای خزر و کاهش دبی رودخانه گرگانرود نسبت داده‌اند. در مطالعه حاضر، سطح متوسط دریا با تاخیر سه ماه به‌عنوان یکی از پیش‌بین‌های کلیدی با اثر میانگین 1/26 ظاهر شده و نمودار وابستگی جزئی آن افزایش CPUE در سطوح بالاتر MSL را نشان می‌دهد، که با از دست رفتن زیستگاه‌های کم‌عمق تغذیه و تخم‌ریزی (کاهش ۲۵–۴۵٪ مناطق کم‌عمق) مطابقت دارد.

علاوه بر این، الگوی غیرخطی افزایش دمای سطحی با تاخیر 2 و 3 ماهه (افزایش اثر در افراط‌های سرد و گرم و کاهش در محدوده میانی) با نتایج فضلی و همکاران (2025) درباره امواج گرمایی دریایی (MHWs) همسو است، که کاهش شدید CPUE و شاخص‌های بیولوژیکی بسیاری از گونه‌ها را پس از رویدادهای ۲۰۱۸ و ۲۰۲۲ گزارش کرده است. استفاده از لگ‌های ۲ و ۳ ماهه و تحلیل وابستگی جزئی برای نخستین بار مکانیسم‌های تأخیری این اثرات را برای کپور دریای خزر کمی‌سازی کرده است.

منابع

بندانی، غ.، عبدالملکی، ش.، یلقی، س.، قاسمی، ش.، قربانی، ر.، توکلی، م.، پرافکنده، پ.، دریانبرد، ر.، لاریجانی، م.، نهرور، م.، کر، ع.، خدمتی، ک. و طالشیان، ح. 1385. بررسی بیولوژی، سن، رشد، رژیم غذایی و تولیدمثل ماهی کپور (*Cyprinus carpio*) در سواحل جنوبی دریای خزر. گزارش نهایی مرکز تحقیقات ذخایر آبزیان آب‌های داخلی-گرگان.

سالنامه آماری شیلات ایران سال 1402-1403، دفتر طرح و توسعه سازمان شیلات ایران. سال 1403.

سالنامه آماری شیلات ایران سال 1391-1392، دفتر طرح و توسعه سازمان شیلات ایران. سال 1392.

لاریجانی، م.، نهرور، م.، کر، ع.، خدمتی، ک. و طالشیان، ح. 1385. بررسی بیولوژی، سن، رشد، رژیم غذایی و تولیدمثل ماهی کپور (*Cyprinus carpio*) در سواحل جنوبی دریای خزر. گزارش نهایی مرکز تحقیقات ذخایر آبزیان آب‌های داخلی-گرگان.

سلمان‌ماهینی، ع.، فضلی، ح.، دریانبرد، ر.، کامیاب، ح. ر.، فندرسکی، ف.، داور، ل.، آذرم‌دل، ح.، مهری، آ.، خیرآبادی، و.، ممشلی، م. و جهانشاهی، م. 1391. پهنه‌بندی و تعیین درجه حساسیت اکولوژی نواحی ساحلی جنوب دریای خزر. انتشارات صدف سماء. ص 200-220.

عبدلی، ا.، و نادری، م. 1387. تنوع زیستی ماهیان حوضه جنوبی دریای خزر. انتشارات علمی آبزیان. 238 ص.

دریانبرد، غ.، عبدالملکی، ش.، بندانی، ع. و کر، د. 1386. گزارش نهایی پروژه ارزیابی ذخایر ماهیان استخوانی در سواحل دریای خزر. موسسه تحقیقات شیلات ایران. 220 ص.

غنی‌نژاد، د.، عبدالملکی، ش.، صیادبورانی، م.، پورغلامی، ا.، فضلی، ح.، بندانی، غ. و عباسی، ک. 1381. ارزیابی ذخایر ماهیان استخوانی دریای خزر. گزارش نهایی مؤسسه تحقیقات علوم شیلات ایران.

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-09-16]

References

Bandani, G., Larijani, M., Frazli, H. and Daryanabard, G., 2020. Analyzing the trend of catch rate and reconstruction of carp and roach in the Iranian waters of Caspian Sea. Journal of Utilization and Cultivation of Aquatics, 9(2), pp.45-56.

Fazli, H., Ghaninejad, D., Janbaz, A.A. and Daryanabard, R., 2008. Population ecology parameters and biomass of golden grey mullet (*Liza aurata*) in Iranian waters of the Caspian Sea. J. Fish Res., 10: 1-7.

Fazli, H., Kaymaram, F., Daryanabard, G.R., Hoseini, S.A., Bandani, G.A., Larijani, M. and Yahyaei, M. 2023. Population biology and stock status of common carp (*Cyprinus carpio Linnaeus*, 1758) in the Caspian Sea. Regional Studies in Marine Science, 68, p.103272.

Harley .Shelton J., Ransom A. Myers, and Alistair Dunn. 2001. Is Catch-per-Unit-Effort Proportional to Abundance? Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, DOI: 10.1139/cjfas-58-9-1760.

نحوه استناد به مقاله:

فاضل ع.، علی اکبریان ر.، عباسی ف.، ملک پور کلبادی نژاد س.، زارع پ.، وهاب نژاد آ.، فروزد م.، یحیایی م.، عبدالله تبار ی. بررسی تغییرات پارامترهای اقلیمی بر پراکنش و میزان صید کپور دریایی در بخش جنوب شرقی دریای خزر. نشریه پژوهش‌های ماهی‌شناسی کاربردی‌دانشگاه گنبدکاووس. 1405. 14(1): 59-37.

Fazel A., Ali akbarian R., Abbasi F., Malekpour Kolbadinajad S., Zare P., Vahabnejad A., Forouzad M., Yahyaei M., Abdullah Tobar Y. Investigating the Impact of Climate Parameter Changes on the Distribution and Catch Rate of Caspian Carp in the Southeastern Part of the Caspian Sea. Journal of Applied Ichthyological Research, University of Gonbad Kavous. 2026, 14(1): 37-59.

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-09-16]

Journal of Applied Ichthyological Research
Vol. 14, No 1, 37-59
ISSN: 2423-6349
Journal homepage: http://jair.gonbad.ac.ir
Ministry of Science Reseach and Technology
Gonbad-Kavoos University

Investigating the Impact of Climate Parameter Changes on the Distribution and Catch Rate of Caspian Carp in the Southeastern Part of the Caspian Sea

Abdolazim Fazel[1], Roshana Ali akbarian[4], Fatemeh Abbasi[2], Salman Malekpour Kolbadinajad[1], Parviz Zare[3], Arzu Vahabnejad[1], Maryam Forouzad[4], Mohsen Yahyaei[5] , Yaser Abdullah Tobar[6]

[1]Associate Prof, Iranian Fisheries Science Research Institute. Iran.
[2]Ph.D. Graduate of Aquatics Production and Exploitation, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. Gorgan, Iran.
[3]Associate Prof, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. Iran.
[4] Researcher Expert, Iranian Fisheries Science Research Institute. Iran.
[5]Researcher Expert, Golestan Provincial Fisheries Office. Gorgan, Iran.
[6]Researcher Expert, Mazandaran Provincial Fisheries Office. Sari, Iran

Type:
Original Research Paper

Paper History:
Received: 12-04-2026
Accepted: 15-04-2026

Corresponding author:

Fazel A. Associate Prof, Iranian Fisheries Science Research Institute. Iran.

Email:
a.fazel58@gmail.com

Abstract:
Time series analysis of CPUE in the eastern and southern fishing grounds of Golestan Province from 2006 to 2024 reveals a regional and integrated regime shift in the carp (Cyprinus carpio) stock. This transformation occurred from a state of high abundance with a clear seasonal pattern (peak catch in winter months) to a persistent low-abundance condition lacking a significant seasonal pattern, beginning between 2008 and 2012 and continuing through 2024. This finding aligns with previous reports and indicates that the decline in carp populations is not merely a local phenomenon, but rather a structural change at the regional scale, likely driven by a combination of high fishing pressure, environmental changes, and their interactions. GAM modeling with 2- and 3-month lags enabled the examination of complex, non-linear relationships between CPUE and environmental variables. Results identified wind speed (Lag-2 and Lag 3), sea surface temperature (SST, Lag-3 and mean sea level (MSL, Lag-3) as the most significant predictors of CPUE. Partial dependence plots revealed non-linear responses, such as increased CPUE under extremely calm or strong winds and at both very cold and very warm temperatures, indicating species-specific threshold and synergistic responses .These patterns are consistent with ecological mechanisms like water mixing, primary production, and prey distribution, highlighting the importance of temporal lags in ecosystem responses .Climate anomaly analysis further revealed two prominent trends over the past two decades :gradual warming of sea surface temperature (SST) and declining mean sea level (MSL) ,both of which are consistent with global climate change. The reduction in water level, in particular, may lead to the loss of shallow feeding and spawning habitats ,exacerbating population decline. These findings are in agreement with prior studies documenting reduced river discharge, habitat degradation, and declining biodiversity, underscoring the need for integrated, climate-informed fisheries management .In conclusion, this study provides a robust scientific framework by combining climate data with temporal lags, non-linear modeling, and predictive analysis, emphasizing the necessity for policy reform, stricter fishing pressure controls, protection of critical habitats, and the integration of climate projections into fisheries planning.

Keywords: Caspian Sea, Climate Change, and Time Lag

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-09-16]