شناسایی الگوهای مختلف دمای سطح آب دریای خزر با استفاده از روش تحلیل خوشه‌ای

عبدالعظیم قانقرمه[۱]
غلامرضا روشن[۲*]

۱. استادیار اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران
۲. استادیار اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران

***مسئول مکاتبات:**
r.rowshan@yahoo.com

کد مقاله: ۱۳۹۶۰۲۰۳۹۲
تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۲/۱۴
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۳/۳۰
این مقاله برگرفته از طرح پژوهشی است.

چکیده

دمای سطح آب دریاها و اقیانوس‌ها یکی از شاخص‌های سنجش ویژگی‌های اقیانوس‌شناسی و هواشناسی است، به‌طوری‌که در مسائل اقیانوس‌شناسی، هواشناسی، ماهیگیری و سیاست‌گذاری‌ها و برنامه‌ریزی‌های دریایی نقش مهمی ایفا می‌کند. یکی از پهنه‌های آبی که نقش بسزایی در اکوسیستم، امنیت غذایی، فرصت اشتغال، امنیت نظامی و غیره برای برخی از کشورهای هم‌جوار با آن، من‌جمله ایران دارد، پهنه‌ی آبی دریای خزر می‌باشد. کشیدگی دریای خزر در راستای شمالی جنوبی به طول ۱۲۰۰ کیلومتر سبب شده است، الگوهای دمایی مختلفی را تجربه نماید. لذا این تحقیق بر مبنای آمار ماهانه و ۲۵ ساله‌ی (۲۰۰۹-۱۹۸۵) دمای آب سطح خزر که از تارنمای نوآ استخراج گردید، اقدام به خوشه‌بندی الگوهای متفاوت دمایی نموده است. نرم‌افزارهای مورداستفاده در این تحقیق شامل MatLab و Surfer می‌باشد. بر مبنای خوشه‌بندی ۳۰۰ ماه موردنظر، ۶ خوشه‌ی اصلی استخراج گردید که به ترتیب خوشه‌ی یک با ۱۰۱ ماه و خوشه‌ی پنجم با ۹۵ ماه، در رتبه‌های اول و دوم بیشترین فراوانی قرار دارند. به‌هرحال در اکثر خوشه‌ها، ناحیه‌ی جنوب شرقِ خزر جنوبی به‌عنوان گرم‌ترین منطقه شناخته شد و خزر میانی نسبت به سایر نواحی دیگر به‌عنوان خنک‌ترین ناحیه معرفی گردید. به‌طوری‌که با حرکت از خزر شمالی و جنوبی به ناحیه‌ی خزر میانی، از مقادیر دما کاسته شده است. لازم به توضیح است که بالاترین ضریب تغییرات و انحراف معیار دمای سطح آب خزر نیز، متعلق به خزر میانی می‌باشد؛ بنابراین در این تحقیق برای اولین بار در تحلیل دمای سطح آب خزر به‌جای صرف میانگین ماهانه برای کل دوره زمانی، از خوشه‌بندی دما برای شناسایی الگوی دمایی ماهانه استفاده گردید و درنهایت یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهد که در تحلیل‌های اقلیمی نمی‌توان تنها از میانگین‌های تقویمی مانند ماهانه استفاده نمود زیرا یک الگوی دمایی تنها در یک ماه اتفاق نمی‌افتد و از طرف دیگر نیز ممکن است در بعضی سال‌ها در ماه‌های مختلف الگوها متفاوت شوند، پس بنابراین بهترین حالت در تحلیل دمای سطح آب دریای خزر استفاده از الگوهای خوشه‌ای است.

واژگان کلیدی: تحلیل خوشه‌ای، الگوی ماهانه، دمای سطح آب خزر، نوسانات اقلیمی

مقدمه

دمای سطح آب دریاها، اقیانوس‌ها و دریاچه‌ها یکی از شاخص‌های سنجش ویژگی‌های اقیانوس‌شناسی و هواشناسی است، به‌طوری‌که در مسائل اقیانوس‌شناسی، هواشناسی، ماهیگیری و سیاست‌گذاری‌ها و برنامه‌ریزی‌های دریایی نقش مهمی ایفا می‌کند. در اقیانوس‌شناسی از تحلیل دمای سطح آب برای مطالعه دینامیک دریا و در هواشناسی در مسائل پیش‌بینی هوا و در شیلات و ماهیگیری برای تعیین نواحی تجمع ماهیان بهره می‌برند، همچنین تغییرات و دگرگونی‌های غیرعادی دما عاملی در شناخت دگرگونی‌های اقلیمی محسوب می‌شود (Brand and Compton, 2007). دمای سطح آب دریاها حاصل اندرکنش برخوردی دولایه هوا و آب است که در محل تلاقی آن‌ها، نقل و انتقالات ماده و انرژی صورت می‌گیرد؛ به‌عبارت‌دیگر در یک نگاه دمای سطح آب دریا ناشی از بازخورد طبیعی تابش خورشید به کره زمین است، اما از این میزان

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-25]

انرژی دریافت شده، قسمتی نیز در آب ذخیره‌شده و به لایه‌های عمقی انتقال می‌یابد و زمانی که دمای سطح آب به کمترین میزان خود می‌رسد از طریق انتقال حجمی از عمق به سطح برمی‌گردد (غیور و مسعودیان، ۱۳۷۶). درحالی‌که دمای ذخیره‌شده در هوای بالا فصل آب به دلیل چگالی بسیار پایین و انتقالات سریع هوا، به‌زودی از دسترس خارج می‌شود، بنابراین دمای سطح آب دریاها به‌نوعی ناشی از تبدیل گرمای ذخیره‌شده در آب است. یکی از پهنه‌های آبی که نقش بسزایی در اکوسیستم، امنیت غذایی، فرصت اشتغال، امنیت نظامی و غیره برای برخی از کشورهای هم‌جوار با آن، من‌جمله ایران دارد، پهنه‌ی آبی دریای خزر است (قانقرمه و بیرودیان، ۱۳۹۱). کشیدگی دریای خزر در راستای شمالی جنوبی به طول ۱۲۰۰ کیلومتر سبب شده است، میانگین سالانه دمای آب دریای خزر به پیروی از عرض جغرافیایی آرایش مداری به خود گرفته و خطوط هم‌دما در راستای غربی و شرقی کشیده شوند. در طی ۲۰ الی ۲۵ سال گذشته افت‌وخیزهای شدیدی در دمای سطح آب خزر دیده می‌شود به‌طوری‌که در این دوره تراز سطح آب دریای خزر نیز تغییرات شدیدی از خود نشان داده است؛ بنابراین شاید یکی از علل این نوسانات به همین دلیل باشد. در سال‌های گذشته به‌خصوص از زمان دیده‌بانی‌های منظم ماهواره‌ای از دمای سطح آب دریاها، دمای آب خزر نیز در حال افزایش است به‌طوری‌که این افزایش می‌تواند ناشی از عوامل مختلفی باشد. ویژگی دمایی سطح آب دریای خزر به‌طورمعمول متأثر از ویژگی‌های اقلیم محلی، منطقه‌ای و جهانی نیز است به‌طوری‌که کوچک‌ترین دگرگونی در آن‌ها می‌تواند سبب تغییر درروند میانگین سالانه یا ماهانه خزر را سبب شود.

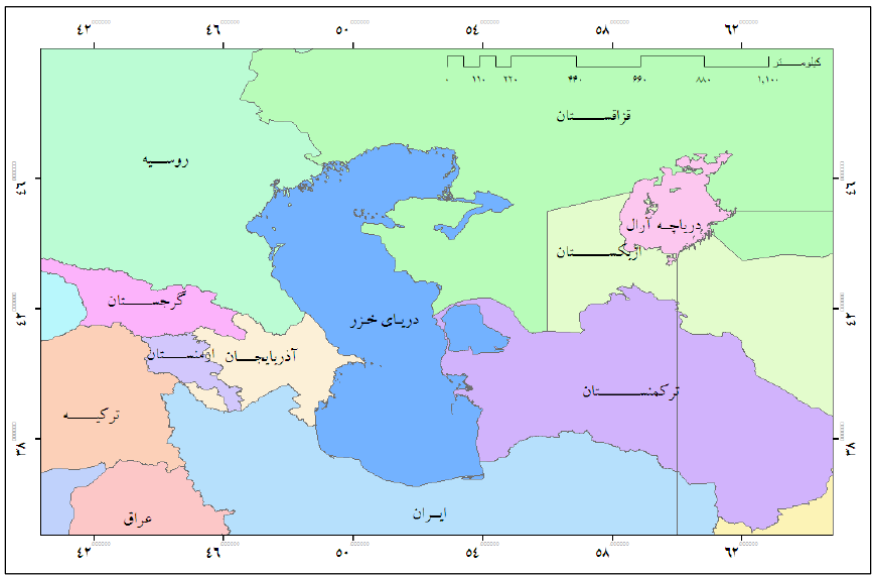
در مورد دمای سطح آب دریای خزر مطالعات متعددی صورت گرفته است، به‌طوری‌که در پژوهشی که توسط Rodionov (۱۹۹۴) انجام گردید، نتایج نشان دادند که تأثیر دمای سطح آب دریای خزر بر بارش‌های مناطق مجاور هیچ‌گونه تأثیری ندارد. Arpe و همکاران (۲۰۰۰ و ۲۰۰۷)، درزمینه‌ی تأثیرپذیری تغییرات تراز آب دریای خزر از شاخص انسو رابطه‌ای پیدا کردند که یافته‌ی تحقیق آن‌ها به این حقیقت اشاره دارد که در هنگام وقوع لانینا کاهش تراز آب و هنگام وقوع ال‌نینو افزایش وجود دارد. Ginzburg و همکارانش (۲۰۰۵) بامطالعه تغییرپذیری دمای سطح آب دریای خزر به این نتیجه رسیدند که همبستگی زمانی آنومالی‌های زمستانی و تابستانی دمای سطح آب خزر در دوره ۱۹۵۰ تا ۲۰۰۰ با فازهای شاخص نوسانات جنوبی (النینو) و نوسانات اطلس شمالی (ناو) هماهنگ است و علاوه بر این در دوره ۱۹۸۲ لغایت ۲۰۰۰ نیز دمای سطح آب خزر با دریای سیاه در حالت کلی مشابه هم است که ازجمله نزدیک شدن روند تغییر در دوره ۱۹۸۹–۱۹۹۸، هم‌زمانی با حداقل در ۱۹۹۳-۱۹۹۲ و حداکثرهای دما در فصول زمستان و تابستان در دوره ۱۹۹۸–۱۹۹۹ می‌باشد. Ibrayev و همکاران (۲۰۱۰) تغییرپذیری گردش سه‌بعدی بدنه آبی دریای خزر و اندرکنش آن با سطح تراز دریا و دمای هوا و آب بررسی نمودند و به این نتیجه رسیدند که در بخش کم‌عمق خزر شمالی در ماه فوریه دمای سطح به حداقل می‌رسد یعنی در این موقع آب یخ می‌بندد درحالی‌که در خزر میانی و جنوبی حداقل دما در ماه مارس اتفاق می‌افتد که در این ماه ابتدای شروع دوره گرم خزر شمالی است. Arpe و همکاران (۲۰۱۱) تأثیر خشک‌سالی بخش اروپایی روسیه را بر روی سطح آب دریای خزر در سال ۲۰۱۰ بررسی نمودند. ازجمله دلایل این خشک‌سالی کاهش بارش در حوضه ولگا و افزایش تبخیر بر روی آن و بدنه آبی دریای خزر می‌دانند.

پانین (۱۳۷۹) گزارش نمود که در ماه‌های ژوئیه تا سپتامبر آنومالی دمای منفی در طول سواحل شرقی خزر میانی قابل‌تشخیص است به‌طوری‌که این آنومالی در محدوده‌ای ۸۰–۶۰ کیلومتری به‌طرف دریا گسترش می‌یابد و علت آن را رفتار باد دانسته است و مشخص نمود که هر تابستان به وجود نمی‌آید، از طرف دیگر آنومالی آب‌های سرد در ماه اگوست در سواحل داغستان نیز قابل‌مشاهده است. در کاری دیگر، ناظم السادات و قاسمی (۱۳۸۳) تأثیر نوسانات دمای سطح آب دریای خزر را بر روی بارندگی زمستان و بهار در شمال و شمال غرب ایران مطالعه نمودند و در بخشی از این مطالعه به این نتیجه رسیده‌اند که سرد و گرم شدن بیش از معمول دمای سطح آب دریای خزر ناشی از تقویت و تضعیف سامانه پرفشار حرارتی سیبری بر روی دریای خزر است. مفیدی و همکارانش (۱۳۸۷) در بررسی بارش‌های زمستانی سواحل جنوبی دریای خزر به این نتیجه رسیدند که مقدار بارش در سواحل جنوبی با دمای سطح آب دریای خزر رابطه مستقیم قوی دارد به‌طوری‌که استقرار پرفشار در بخش‌های شمالی و غربی دریای خزر سبب ترکیب خاصی از عوامل محلی و منطقه‌ای ازجمله افزایش چرخندگی منفی و افزایش فشار هوا در نیمه جنوبی

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-25]

خزر و کاهش دمای سطح دریا و در پی آن کاهش شارش گرمای نهان، ضمن کاهش امکان صعود هوا در حوضه جنوبی دریای خزر می‌شود. حسن لو و سراجیان (۱۳۸۸) با استفاده از دمای سطح آب بخشی از خزر که از تصاویر و یا باندهای طیفی ماهواره Modis به‌دست‌آمده توانستند جریانات سطحی را ردیابی کنند و معتقدند که دمای سطح دریاها، داده‌های ارتفاعی و داده‌های رنگی، ابزار مناسبی برای شناسایی جریانات دریایی و ساختار گردابی می‌باشند. در پژوهشی دیگر توسط قویدل و همکاران (۱۳۸۹)، ناحیه بندی سینوپتیک دمای منطقه‌ی خزر بر مبنای متغیرهای ترمودینامیک ترازهای فوقانی جو موردتوجه قرار گرفت. بر مبنای این تحقیق، نقش پهنه بزرگ آبی دریای خزر، در مقیاس سینوپتیک در توزیع مکانی و ناحیه بندی دمایی منطقه، قوی نیست و به‌احتمال‌زیاد با انتقال و تبادل انرژی و ایجاد جریان‌های نسیم خشکی- دریا، تأثیر آن در مقیاس کوچک تا متوسط و در بخش‌هایی از سال قابل‌رؤیت است. ادب و همکاران (۱۳۸۹) رابطه دمای سطح آب دریای خزر با کلروفیل را با استفاده از سنجش‌ازدور مورد ارزیابی قراردادند و به این نتیجه رسیدند که تغییرات دمای سطح آب سبب تغییرات کلروفیل می‌شود. همچنین قانقرمه و روشن (۱۳۹۱)، در کاری تحت عنوان تحلیل اقلیم سینوپتیک شرایط شکل‌گیری بلوم جلبکی در خزر جنوبی، درزمینه‌ی شکل‌گیری بلوم جلبکی با دمای آب سطح خزر، ارتباط مناسبی پیدا کردند، به‌طوری‌که شکوفایی جلبکی در ماه‌های اگوست و سپتامبر ۲۰۰۵ بخصوص در خزر جنوبی با استقرار سامانه‌های واچرخندی با تداوم زیاد سبب بالا رفتن دمای سطح آب خزر شده است. به‌هرحال مطالعات فراوان دیگری که به‌طور مستقیم و غیرمستقیم با دمای سطحی آب دریای خزر مرتبط بوده است انجام پذیرفته که همه‌ی این مطالعات نشان‌دهنده‌ی اهمیت این پهنه‌ی آبی در ساختار طبیعی و انسانی نواحی مجاور آن است (قانقرمه و ملک، ۱۳۸۴؛ خوشحال و قانقرمه، ۱۳۸۸؛ قانقرمه، ۱۳۹۱).

شایان‌ذکر است که قبل از واکاوی تغییرات روند دمایی سطح آب دریای خزر و شناسایی تأثیر شاخص‌های محلی، منطقه‌ی و جهانی اقلیمی بر نوسانات دمایی و تغییرات تراز آب دریای خزر، لازم است که در ابتدا شناختی از ویژگی‌های متفاوت دمایی برای پهنه‌ها و نواحی مختلف خزر ارائه نمود؛ بنابراین این تحقیق به دنبال آشکارسازی، الگوهای مختلف دمای سطح آب دریای خزر بوده تا مقدماتی برای پژوهش‌های فوق‌الذکر مهیا نماید.



شکل ۱: موقعیت دریای خزر.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-25]

مواد و روش‌ها

دریای خزر به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین دریاچه بسته دنیا مابین کشورهای ایران، آذربایجان، روسیه، قزاقستان و ترکمنستان واقع‌شده است که در راستای شمالی–جنوبی کشیدگی در حدود ۱۰/۵ درجه عرض شمالی را به خود اختصاص داده است (شکل ۱). داده‌ی اصلی مورداستفاده در این تحقیق شامل دمای سطح آب دریای خزر به‌صورت ماهانه و برای دوره‌ی زمانی ۱۹۸۵ تا ۲۰۰۹ است می‌باشد که از تارنمای نوآ دریافت گردید؛ یعنی سری زمانی شامل ۲۵ ساله به‌صورت ماهانه بوده که مجموع ۳۰۰ ماه به‌عنوان سری زمانی این مطالعه شناخته می‌شود.

به‌منظور شناسایی ویژگی‌های دمای سطح آب دریای خزر ابتدا بانک اطلاعات داده‌های دریافت شده از سایت نوا با استفاده از نرم‌افزار Surfer به‌منظور پر نمودن نواحی خالی بر روی بدنه آبی، موردبازسازی مجدد قرار گرفت. به‌طوری‌که در این مرحله دمای سطح آب دریای خزر برای تمامی ماه‌ها به‌صورت یکنواخت در یک محدوده ۴۶ الی ۵۶ درجه شرقی و ۳۶ الی ۴۸ درجه شمالی و باقدرت تفکیک مکانی ۰/۲ درجه محاسبه گردید. در مرحله بعد نیز با استفاده از عملگر Blank محدوده بدنه آبی از نواحی مجاور جدا گردید. در بخش بعدی پژوهش، ماتریس مکانی–زمانی تمامی نقشه‌ها تولیدشده و در ادامه با تنظیم جدول ماتریس (زمانی– مکانی) داده‌ها، خروجی‌ها به‌صورت ماهانه برای پردازش آماری آماده گردیدند.

در گام بعدی به‌منظور شناسایی ویژگی‌های دمایی سطح آب خزر از بعد زمانی و مکانی، تمامی داده‌های دمای ۳۰۰ ماهه سطح آب دریای خزر بدون توجه به میانگین‌گیری‌های تقویمی، مورد تحلیل خوشه‌ای قرار گرفت و درنهایت پس از طبقه‌بندی آن‌ها بدون توجه به ماه وقوع، مقادیر آماری میانگین، مؤلفه‌های حداکثر، حداقل، انحرافات از میانگین و ضریب تغییرپذیری آن‌ها برای هر خوشه مورد تحلیل قرارگرفته‌اند. قابل‌ذکر بوده که تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار MATLAB انجام شد و سپس خروجی آن‌ها در نرم‌افزار SURFER به شکل و در نرم‌افزار EXCEL نیز نمودارهای آن‌ها ترسیم و خوشه‌های مختلف مورد تجزیه‌وتحلیل و تفسیر قرار گرفتند.

نکته‌ی آخر در این بخش معرفی روش آنالیز خوشه‌ای بوده که در این تحقیق مورداستفاده قرارگرفته است. گفتنی است که خوشه‌بندی دمای سطح آب دریای خزر بر اساس مراحل زیر انجام شد:

الف) تهیه ماتریس داده‌های خام

ب) محاسبه‌ی ماتریس داده‌های خام

ج) تشکیل گروه‌بندی‌های ممکن و محاسبه‌ی فاصله‌ی اقلیدسی هر متغیر با میانگین گروه خود

د) ادغام گروه‌ها به روش کمترین واریانس (روش وارد) و تعیین گروه‌بندی نهایی

ه) ترسیم دندورگرام که حاصل ادغام گروه‌ها در چندین مرحله است

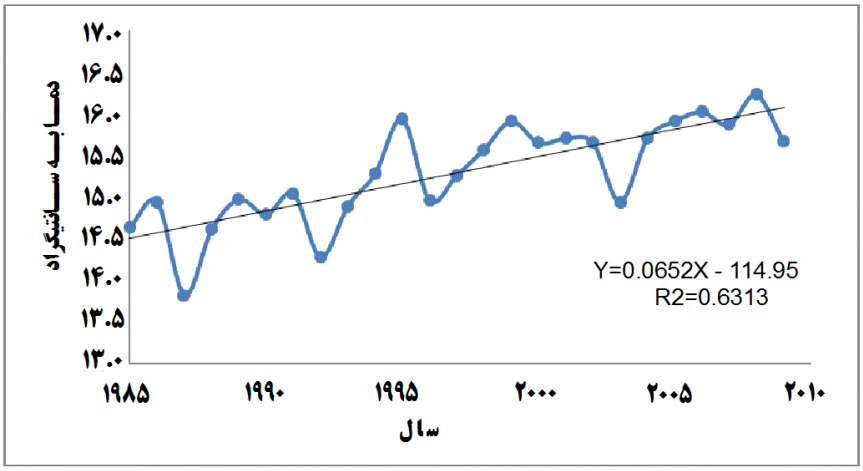
و) تعیین محل قطع خوشه‌ها و گروه نهایی به‌دست‌آمده.

لازم به توضیح است که در پژوهش پیش رو از روش خوشه‌بندی سلسله مراتبی استفاده‌شده است (روشن و همکاران، ۱۳۹۰).

نتایج

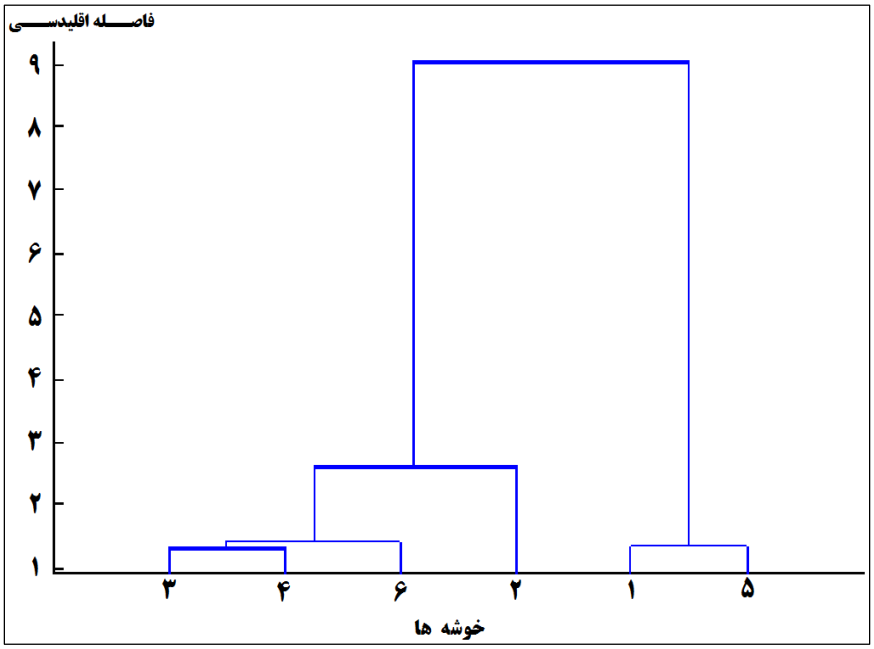
بررسی تغییرات دمای سطح آب دریای خزر در دوره موردمطالعه نشان می‌دهد که با یک‌روند افزایشی شدیدی درحالی‌که افزایش است، به‌طوری‌که در طی این دوره روند افزایشی معادل ۱/۵۶ درجه سانتی‌گراد بوده است و این حکایت از این دارد دمای سطح آب دریای خزر از گرمایش جهانی دما متأثر می‌شود (شکل ۲).

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-25]



شکل ۲: تغییرات دمای سالانه سطح آب دریای خزر (۲۰۰۹-۱۹۸۵).

در ادامه همان‌گونه که در قسمت مواد و روش‌ها اشاره گردید، الگوی ماهانه‌ی دمای سطح آب دریای خزر با استفاده از روش خوشه‌بندی، به ۶ الگوی مجزا تفکیک گردید که نمودار دندروگرام آن در شکل (۳)، آورده شده است. لذا در ادامه خصوصیت آماری هر خوشه به‌عنوان‌مثال میانگین‌گیری، حداکثرها، حداقل‌ها، انحرافات از میانگین و ضریب تغییرپذیری شرح داده‌شده است. نکته‌ی حائز اهمیت در مورد مؤلفه‌های آماری موردنظر این است که هرکدام از مؤلفه‌ها دارای یک دامنه می‌باشند؛ زیرا مقادیر استخراج‌شده مربوط به یک نقطه نیست بلکه مربوط به یک پهنه‌ی آبی ایست.



شکل ۳: دندروگرام انتخابی دمای سطح آب دریای خزر بر مبنای داده‌های ماهانه‌ی (۲۰۰۹-۱۹۸۵).

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-25]

بر اساس نقشه شکل ۴ مشخص می‌گردد که دمای میانگین سطح آب دریای خزر برای این خوشه بین ۰ تا ۱۲ درجه سانتی‌گراد تغییر می‌کند، به‌طوری‌که گرم‌ترین بخش دریای خزر در بخش جنوبی آن قرار دارد و هرچه به‌طرف عرض‌های شمالی حرکت کنیم از میزان دما کاسته می‌شود. هسته دمای گرم در نیمه‌ی شرقی خزر جنوبی مستقرشده و از این هسته یک‌زبانه از سواحل شرقی به‌طرف شمال کشیده شده و آخرین مرز آن بر روی دمای ۸ درجه سانتی‌گراد قابل‌رؤیت است.

توزیع دمای سطح آب دریای خزر در این الگو نشان می‌دهد که ازنظر مساحتی بیشترین وسعت را دمای بین ۱۱ تا ۱۱/۹ درجه سانتی‌گراد به خود اختصاص داده که در حدود ۱۷/۳ درصد از کل مساحت خزر مربوط به این پهنه‌ی دمایی است. از طرف دیگر، دمای بین ۷ تا ۷/۹ درجه سانتی‌گراد با ۱۴/۳ درصد درروی خزر میانی در جایگاه دوم و محدوده‌ی حرارتی بین صفرتا ۱/۹ درجه سانتی‌گراد که ازلحاظ موقعیتی در خزر شمالی قرار دارد، با ۱۳/۲ درصد از کل مساحت خزر در جایگاه سوم ازلحاظ وسعت قرار دارند (شکل ۵). ویژگی‌های آماری این الگوی دمای سطح آب دریای خزر نشان می‌دهد که بیشترین فراوانی آن در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس و آوریل و همچنین به‌صورت ضعیف‌تری در ماه دسامبر دیده می‌شود (جدول ۲).

جدول ۱: فراوانی (برحسب تعداد) ماهانه الگوهای دمای سطح آب دریای خزر بر اساس تحلیل خوشه‌ای (۱۹۸۵-۲۰۰۹).

ماه خوشه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژولای	اگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر	مجموع
خوشه یکم	۲۵	۲۵	۲۵	۱۸	–	–	–	–	–	۱	۱	۶	۱۰۱
خوشه دوم	–	–	–	–	–	۴	۱۷	۱۸	۱	–	–	–	۴۰
خوشه سوم	–	–	–	–	–	–	–	۲	۶	–	–	–	۸
خوشه چهارم	–	–	–	۱	۶	۲	–	۲	۱۲	–	–	–	۲۳
خوشه پنجم	–	–	–	۶	۱۵	۱	–	–	۶	۲۴	۲۴	۱۹	۹۵
خوشه ششم	–	–	–	–	۴	۱۸	۸	۳	–	–	–	–	۳۳

حداقل دمای محاسبه‌شده برای این خوشه بر اساس جدول ۲، بین ۳- تا ۹/۵ درجه سانتی‌گراد است، اما حداکثر دمای برآورد شده در این الگوی خوشه‌ای نشان می‌دهد که دامنه دما درروی خزر بین ۱۵ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد در تغییر است. هرچند از جنوب به شمال دمای سطح آب کاهش ضعیفی دارد، اما به نظر می‌رسد نسبت به حالت حداقل دما، از یکنواختی بیشتری در سطح دریا برخوردار است. بر مبنای این الگو، گرم‌ترین بخش دریای خزر در جنوب شرق آن قرار دارد. همچنین شایان‌ذکر بوده که انحراف از میانگین داده‌های دمای سطح آب دریای خزر در این خوشه بین ۱/۲ تا ۲/۷ درجه سانتی‌گراد نسبت به میانگین انحراف داشته که بیشترین انحراف از میانگین درروی خزر شمالی دیده می‌شود. همچنین سواحل خزر جنوبی نیز به‌صورت نواحی ثانویه قابل‌توجه است. درروی خزر میانی و میانه خزر جنوبی کمترین انحرافات از میانگین دیده می‌شود؛ بنابراین بر مبنای نتایج به‌دست‌آمده، مشخص می‌گردد که بیشترین تغییرپذیری درروی خزر شمالی وجود دارد.

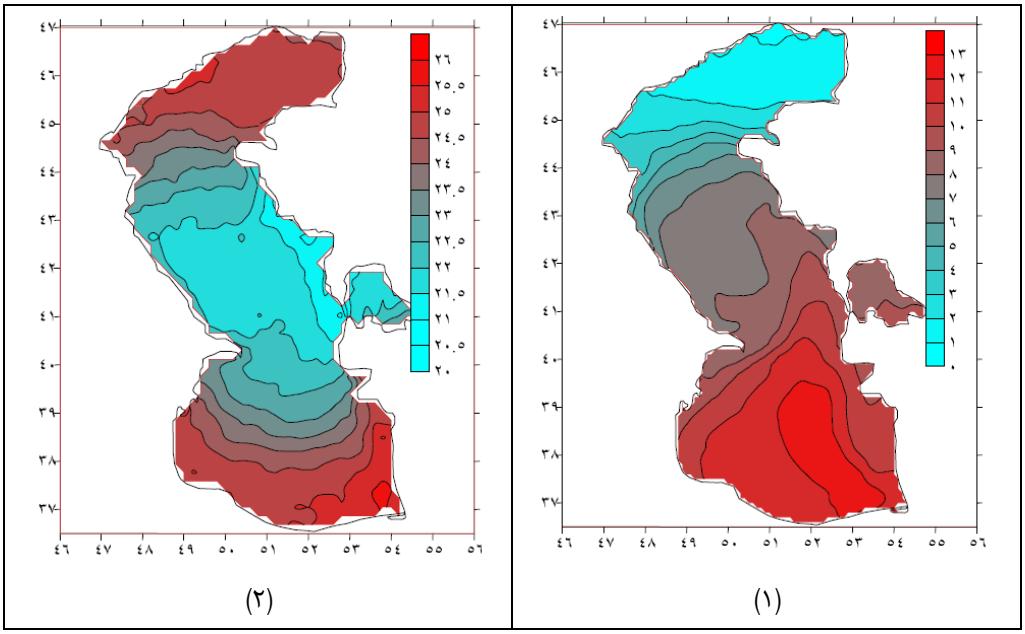
تغییرات روند دما از جنوب به شمال به ازای هر درجه عرض جغرافیایی در این الگوی نقشه‌ای، ۱/۱۹ درجه سانتی‌گراد کاهش دما دارد. این روند حاکی از آن است که تغییرات دمای سطح آب دریای خزر از یک حالت مداری پیروی می‌کند (شکل ۶). در این الگو مطابق جدول شماره ۲ مشخص می‌گردد که دما به میانگین صفر درجه نیز می‌رسد که این موضوع نشان می‌دهد که در شمال دریای خزر سبب یخ بستن می‌شود.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-25]

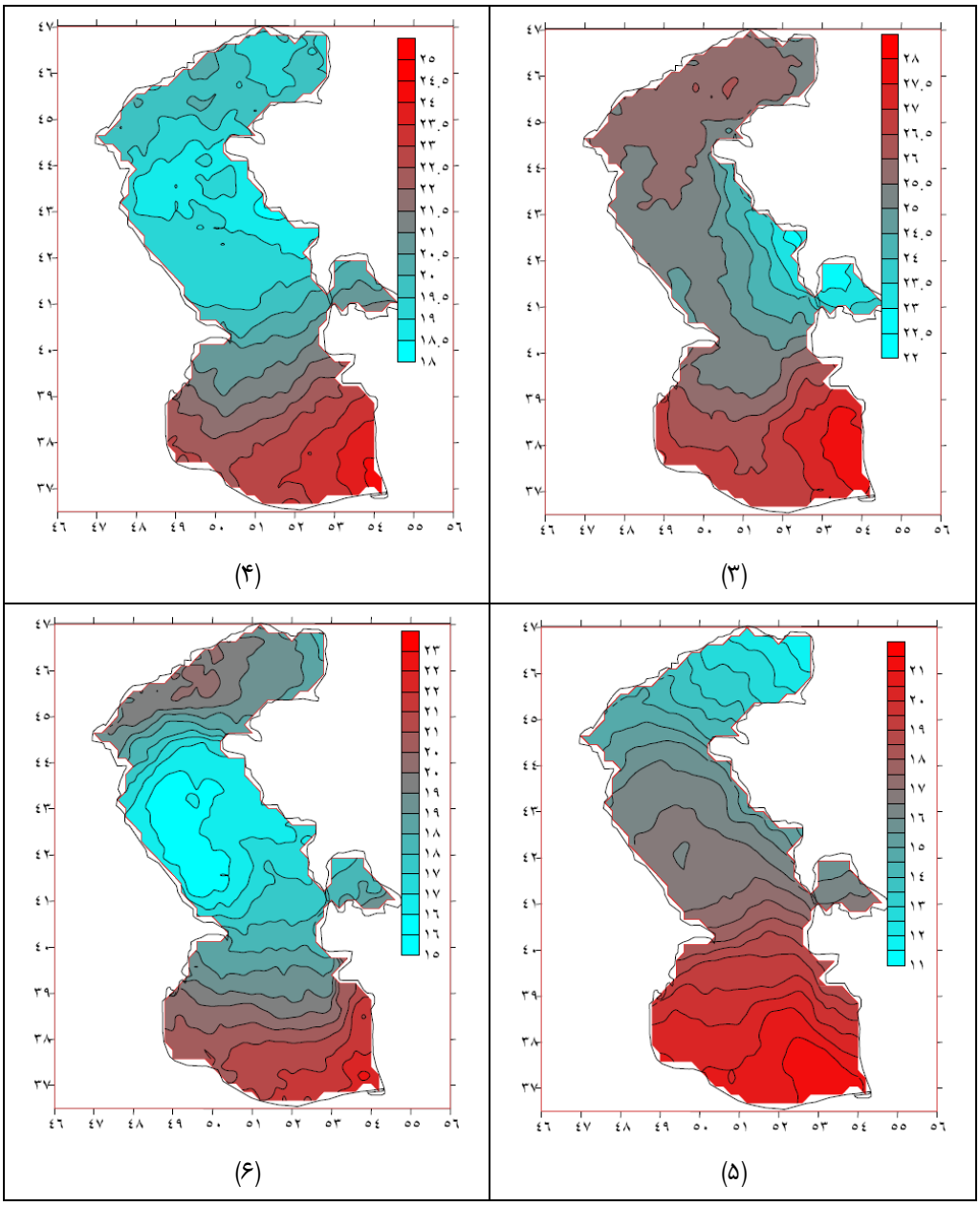
جدول ۲: ویژگی‌های آماری الگوی دمای سطح آب دریای خزر بر اساس تحلیل خوشه‌ای (۲۰۰۹- ۱۹۸۵)

ویژگی خوشه	دامنه میانگین درجه حرارت (°c)	دامنه حداقل درجه حرارت (°c)	دامنه حداکثر درجه حرارت (°c)	انحراف از میانگین (°c)	ضریب تغییرپذیری
خوشه یکم	۰ -۱۲	-۳ -۹،۵	۱۵ -۳۰	۱،۲ -۲،۷	۰ - ۴،۵
خوشه دوم	۲۰ -۲۶	۱۰،۵ -۲۱	۲۴ -۳۰	۱،۴ -۲،۸	۰،۰۶ - ۰،۱۵
خوشه سوم	۲۲ -۲۸	۲۰ -۲۷	۲۳،۵ -۳۰	۰ -۱،۵	۰،۰۲ -۰،۰۸
خوشه چهارم	۱۸ -۲۵	۱ -۱۴	۲۵،۵ -۳۱	۵ -۸،۵	۰،۲۴ - ۰،۴۷
خوشه پنجم	۱۱ -۲۲	-۲ -۱۲	۲۴،۵ -۳۰،۵	۴ -۶،۵	۰،۲۴ -۰،۶۴
خوشه ششم	۱۵ - ۲۳	۴ -۱۶	۲۴ - ۳۰	۲،۵ - ۴،۵	۰،۱۵ - ۰،۳۱

اما برای ارزیابی تغییرات دمایی از غرب به شرق خزر، بهتر است که خزر بر مبنای خزر جنوبی، میانی و شمالی موردمطالعه قرار گیرد؛ بنابراین در خزر جنوبی، تغییرات دمایی از غرب به شرق حاکی از آن است که درجه حرارت از یک‌روند افزایشی پیروی می‌کند، اما دامنه درجه حرارت در قسمت‌هایی از آن متفاوت است. بیشترین دامنه تغییرات دمایی در غرب ۵۱ درجه شرقی دیده می‌شود، به‌طوری‌که حداکثر دامنه شمالی جنوبی آن در حدود ۳ درجه سانتی‌گراد است، اما از حوالی ۵۱ تا ۵۲/۲ درجه شرقی دامنه تغییرات دمایی بسیار پایین است و میزان آن بین ۱۱/۴ تا ۱۲/۵ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. به‌هرحال با حرکت به سمت شرق تا حوالی ۵۴ درجه شرقی، دوباره دامنه تغییرات دما افزایش‌یافته و به ۲/۵ درجه سانتی‌گراد رسیده است (شکل ۷). در خزر میانی، تغییرات دمایی در راستای غرب به شرق تقریب به یک‌روند افزایشی تمایل دارد. لازم به توضیح بوده که دامنه تغییرات دما در حوالی بین ۵۱ تا ۵۲/۵ درجه شرقی نسبت به موقعیت غربی و شرقی بیشتر است (شکل ۸). در قسمت‌های شرق (در داخل خلیج قره‌بغاز) به دلیل کم‌عرض شدن (شمالی- جنوبی) بدنه آبی، دامنه دمایی نیز به حداقل می‌رسد، درحالی‌که کاهش دامنه در نواحی دیگر خزر میانی تا حدود زیادی به شرایط فیزیکی آب وابسته است.



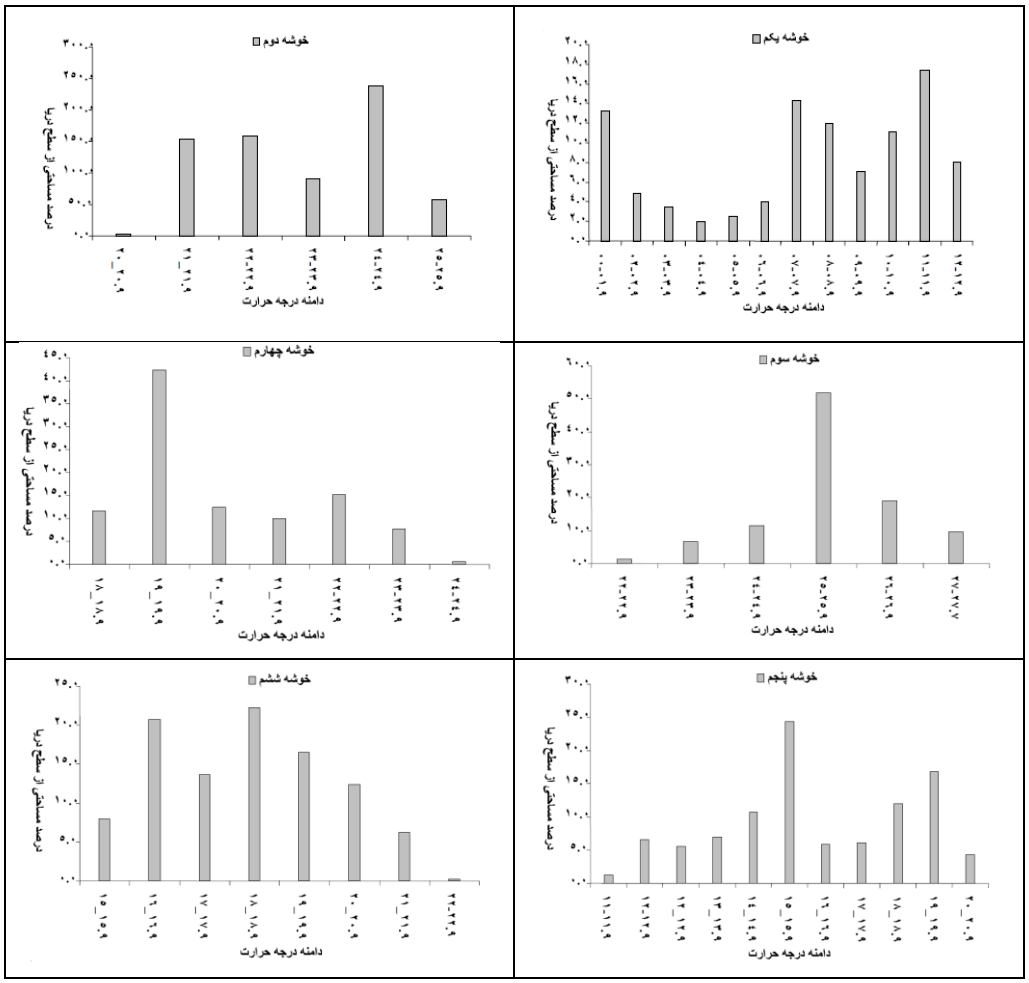
[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-25]



شکل ٤: نقشه‌های میانگین دمای سطح آب دریای خزر بر اساس الگوهای خوشه‌ای شش‌گانه.

اما تغییرات رژیم دمایی در خزر شمالی، نشان می‌دهد که از غربی‌ترین بخش خزر شمالی تا حوالی ۵۰/۷ درجه شرقی، دامنه تغییرات دمایی افزایش می‌یابد و میزان دامنه‌ی آن در حدود ۶ درجه سانتی‌گراد است. درحالی‌که در جهت شرق به‌طور ناگهانی دامنه آن کاهش‌یافته و در حوالی ۵۱/۲ تا ۵۲/۸ درجه شرقی، به حدود یک درجه سانتی‌گراد می‌رسد (شکل ۹).

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-25]



شکل ۵: نمودار توزیع مساحتی دمای سطح آب دریای خزر برحسب درصد برای خوشه‌های شش‌گانه.

شکل ۴ میانگین دمای سطح آب دریای خزر را برای الگوی خوشه‌ای دوم نشان می‌دهد. به‌طوری‌که دیده می‌شود میانگین درجه حرارت در این نقشه بین ۲۰ تا ۲۶ درجه سانتی‌گراد در تغییر است. گرم‌ترین بخش‌های خزر بر روی نواحی شمالی و جنوبی آن مشاهده می‌گردد، درحالی‌که دمای سطح آب درروی خزر میانی خنک‌تر از سایر نواحی است و درروی خزر جنوبی از جنوب به شمال، از یک‌روند کاهشی پیروی می‌کند. گرم‌ترین بخش خزر بر روی سواحل جنوب شرقی آن و با منحنی بیش از ۲۵ درجه سانتی‌گراد به ساحل بسته می‌شود. دامنه‌ی درجه حرارت درروی خزر جنوبی در حدود ۲۲ تا ۲۶ درجه سانتی‌گراد است. درحالی‌که درروی خزر شمالی از جنوب به شمال افزایش می‌یابد. هسته گرم در خزر شمالی، در حوالی مصب رودخانه ولگا با دمای بیش از ۲۵ درجه سانتی‌گراد به ساحل بسته‌شده است. میانگین درجه حرارت در خزر شمالی ۲۴ الی ۲۶ درجه سانتی‌گراد است. همان‌گونه که ذکر گردید، در الگوی خوشه‌ی دوم، خنک‌ترین قسمت خزر، خزر میانی بوده، به‌طوری‌که سواحل شرقی آن، با خط هم‌دمای ۲۱/۵ درجه سانتی‌گراد بسته‌شده و دمای ۲۱/۵ تا ۲۲ درجه سانتی‌گراد قسمت اعظم خزر میانی را در برمی‌گیرد.

توزیع مساحتی دمای سطح آب در این الگو نشان می‌دهد که دمای بین ۲۴ تا ۲۴/۹ درجه سانتی‌گراد، ۳۴/۲ درصد از کل مساحت دریای خزر را به خود اختصاص داده است و در رتبه‌های بعدی، دماهای بین ۲۲/۹- ۲۲ و ۲۱/۹- ۲۰ درجه سانتی‌گراد به ترتیب با ۲۲/۶ و ۲۲ درصد از کل مساحت دریای خزر، جایگاه دوم و سوم را در برگرفته‌اند. همچنین دمای ۲۰/۹- ۲۰ درجه سانتی‌گراد کمترین وسعت از کل دریای خزر را در این

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-25]

الگو به خود اختصاص داده است (شکل ۵). همان‌طور که از جدول (۱)، نیز مشاهده می‌شود، به ترتیب ماه‌های آگوست، جولای و ژوئن بیشترین فراوانی این الگو را به خود اختصاص داده و این الگو ۱۳ درصد فراوانی از کل ماه‌ها و خوشه‌های مختلف را پوشش می‌دهد.

به‌هرحال بر مبنای جدول ۲، ملاحظه می‌شود که حداکثر دمای برآورد شده در این الگوی خوشه‌ای بین ۲۴ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد بوده، از طرف دیگر، نتایج بر مبنای مؤلفه‌ی حداقل دما، نشان می‌دهد که پهنه‌ی دمایی بین ۱۰/۵ تا ۲۱ درجه سانتی‌گراد، به‌عنوان حداقل دمای رخداده در این خوشه می‌باشد. در جدول (۲)، مقادیر انحراف از میانگین خوشه‌ی دوم ارائه‌شده است که مطابق این جدول دامنه‌ی انحراف معیار از ۱/۲ تا ۴/۸ درجه سانتی‌گراد دما تغییر می‌باشد. به‌هرحال بر مبنای این مؤلفه‌ی آماری، مشخص گردید که بیشترین انحراف از معیار و ضریب تغییرات مربوط به خزر میانی و همچنین شمال شرق خزر جنوبی تا خلیج قره‌بغاز بوده است و کمترین میزان انحرافات معیار و ضریب تغییرات برای خزر شمالی و جنوبی تجربه گردیده است.

همان‌طور که شکل ۶ نشان می‌دهد، نیمرخ تغییرات دما بر اساس الگوی خوشه‌ای دوم مؤید وجود روند کاهشی تغییرات دما از سواحل جنوبی خزر تا عرض ۴۰/۶ درجه شمالی است. درحالی‌که از این محدوده تا عرض ۴۲/۷ درجه شمالی، درجه حرارت از ثبات برخوردار بوده و در پایین‌ترین سطح خود یعنی بین ۲۱ تا ۲۲/۵ درجه سانتی‌گراد قرارگرفته است. درحالی‌که مجدد تغییرات دما در جهت شمالی تا عرض ۴۶ درجه شمالی از روند افزایشی برخوردار است.

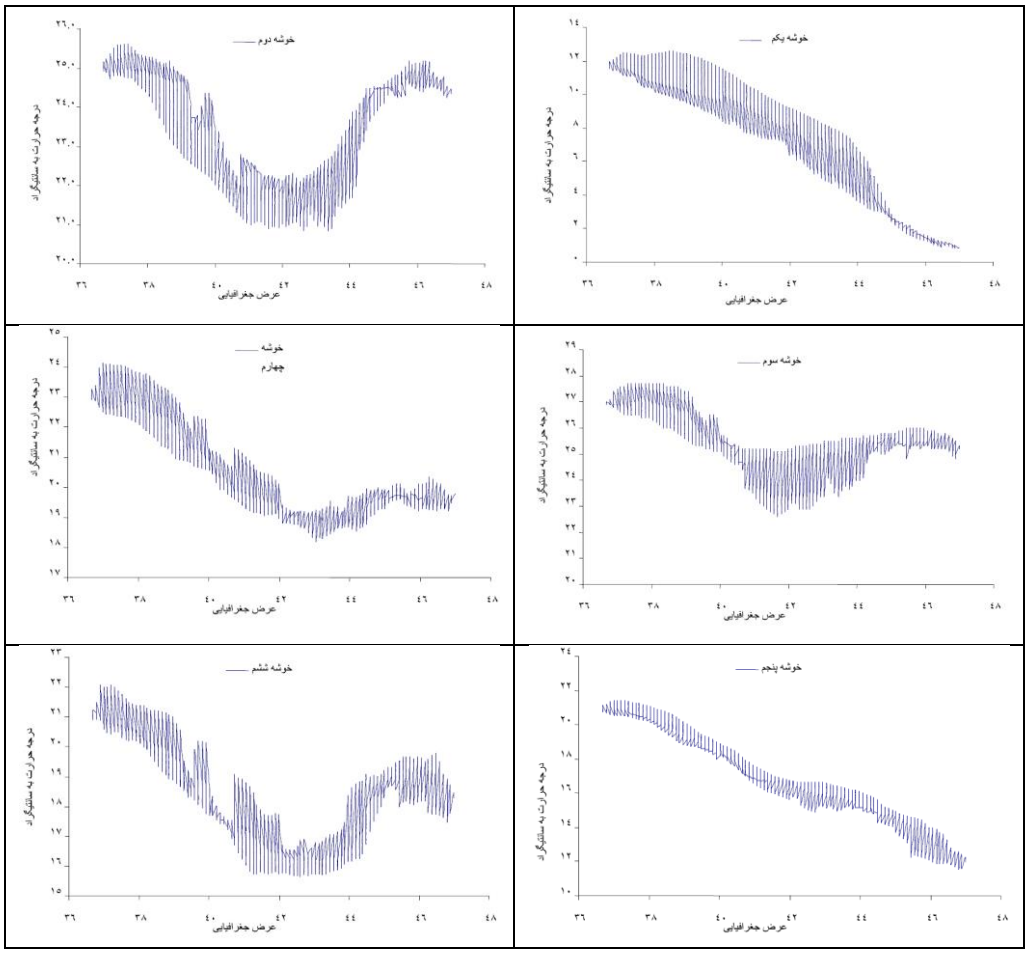
روند تغییرات دما در جهت مداری برای خزر جنوبی مؤید این موضوع بوده که با حرکت از غرب به شرق، دما افزایش ضعیفی را نشان می‌دهد و در مرکز سواحل جنوبی، دامنه تغییرات دما بسیار زیاد است و بعضاً به مرز ۳ درجه سانتی‌گراد نیز می‌رسد (شکل ۸). در ادامه تغییرات روند دما برای بخش میانی نیز، نسبت به سایر نواحی دیگر خزر متفاوت بوده. به‌طوری‌که در این بخش، درعین‌حال که خنک‌ترین قسمت خزر است، اما قسمت‌های سرد نیز به‌صورت هسته‌هایی در سواحل شرقی، خودنمایی می‌کنند. پروفیل کلی دما از غرب به شرق نیز نشان می‌دهد که دامنه تغییرات از حوالی سواحل غربی تا ۵۰/۳ درجه شرقی از یک دامنه کاهشی برخوردار بوده، سپس از ۵۰/۶ درجه شرقی دامنه تغییرات دمایی تفاوت کرده و دوباره با یک‌روند کاهشی دیگر تا حوالی ۵۲/۷ درجه طول شرقی ادامه یافته است. حال‌آنکه از این طول جغرافیایی دوباره یک‌روند افزایشی در دما دیده می‌شود که مربوط به خلیج قره‌بغاز است. به‌طورکلی از محدوده ۴۷/۶ تا ۵۲/۷ درجه شرقی دمای سطح آب خزر میانی در حدود ۱/۷ درجه سانتی‌گراد کاهش داشته است (شکل ۸). در آخر باید به تغییرات دمایی خزر شمالی در خوشه‌ی دوم اشاره نمود. همان‌طور که شکل ۹ نشان می‌دهد، تغییرات دمایی خزر شمالی، از غرب به شرق به محدوده‌های بالاتر از ۴۴ درجه شمالی در نظر گرفته‌شده است. دامنه تغییرات دمایی از غرب تا ۵۰/۷ درجه طول شرقی، پیوسته در حال افزایش است و این دامنه حداکثری افزایش دما تا سقف ۳ درجه افزایش داشته است. سپس از این محدوده به بعد دامنه تغییرات دمایی یک‌دفعه کاهش داشته. به‌گونه‌ای که به نظر می‌رسد دما در شمال شرق دریای خزر در یک محدوده وسیعی یکنواخت شده و به ثبات رسیده است.

بر اساس شکل ۴، میانگین دمای سطح آب دریای خزر در این الگو از ۲۲ الی ۲۸ درجه سانتی‌گراد تغییر می‌کند، به‌طوری‌که مشخص می‌گردد گرم‌ترین بخش دریای خزر در سواحل جنوب شرقی آن با میانگین هم‌دمای ۲۷ درجه سانتی‌گراد به‌صورت یک منحنی در سواحل شرقی آن بسته‌شده و علاوه بر این، خزر جنوبی با دمای بیش از ۲۵ درجه سانتی‌گراد گرم‌ترین بخش دریای خزر شناخته می‌شود. بر مبنای داده‌های میانگین، دومین منطقه گرمایی خزر در خوشه‌ی سوم، بر روی خزر شمالی قرار دارد و دامنه دمایی درروی خزر شمالی بین ۲۵ الی ۲۷ درجه سانتی‌گراد متغیر است؛ به‌عبارت‌دیگر تغییرپذیری میانگین دما در این بخش کمتر از سایر قسمت‌های دیگر است. درحالی‌که در خزر میانی تغییرپذیری دما از بیشترین میزان برخوردار بوده و از طرف دیگر این بخش از خزر با دامنه‌ی دمایی بین ۲۲ تا ۲۶ درجه سانتی‌گراد، به‌عنوان خنک‌ترین بخش دریای خزر در این الگوی خوشه‌ای شناخته می‌شود. یکی از مهم‌ترین ویژگی خزر میانی، بسته شدن خطوط هم‌دمای بر روی سواحل شرقی آن بوده که به‌احتمال‌زیاد، این خطوط هم‌دما ناشی از یک منطقه بالایی آب سرد است. به‌طوری‌که از زمان وقوع این الگو مشخص می‌گردد که در ماه‌های اگوست و سپتامبر اتفاق افتاده است؛ بنابراین به‌نوعی در این دوره زمانی هوا گرم است و از طرف دیگر در این مدت در سواحل شرقی و بر روی

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-25]

بیابان قره‌قوم یک چاله گرمایی هوا دیده می‌شود. پس به‌نوعی سرد شدن این منطقه از خزر با شرایط آب و هوایی هماهنگ نیست. به‌هرحال بر مبنای زمان‌های رخداد این الگو، آشکار می‌شود که کمترین فراوانی مربوط به این الگو است. همان‌گونه که از دوره آماری ۲۰۰۹- ۱۹۸۵ ملاحظه می‌شود، از ۳۰۰ ماه موردبررسی، تنها در ۸ ماه این الگو تکرار شده است که آن‌هم مربوط به ماه‌های اگوست و سپتامبر می‌باشد.

از طرف دیگر بر مبنای شکل ۴، می‌توان چنین نتیجه گرفت که توزیع مساحتی دمای سطح آب دریای خزر برای دمای بین ۲۵- ۲۵/۹ درجه سانتی‌گراد بیشترین وسعت دریای خزر را با ۵۱/۶ درصد در برگرفته است. درحالی‌که دماهای خنک‌تر کمترین وسعت رادارند. در ادامه می‌توان ذکر کرد که دومین منطقه دمایی ازنظر وسعت، مربوط به محدوده‌ی ۲۶ تا ۲۶/۹ درجه سانتی‌گراد است که حدود ۱۹/۱ درصد از سطح دریای خزر را تحت پوشش قرار می‌دهد (شکل ۵). در ادامه جدول ۲، انحراف از میانگین درجه حرارت برای دوره آماری خوشه سوم نشان می‌دهد که میزان آن بین صفر الی ۱/۵ درجه سانتی‌گراد بوده که بیشینه‌ی آن در سواحل شرقی خزر میانی قابل‌مشاهده است. از طرف دیگر ضریب تغییرپذیری نیز در این الگو از کمترین میزان خود در مقایسه با خوشه‌های دیگر برخوردار است (جدول ۲).



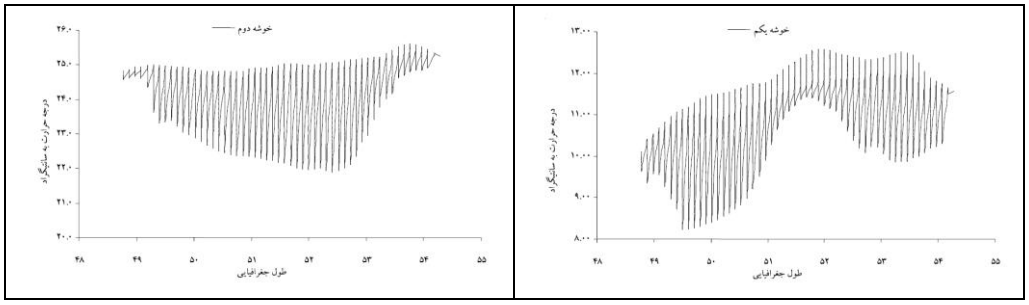
شکل ٦: روند تغییرات دمای سطح آب دریای خزر در امتداد عرض جغرافیایی از جنوب به شمال برای خوشه‌های شش‌گانه

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-25]

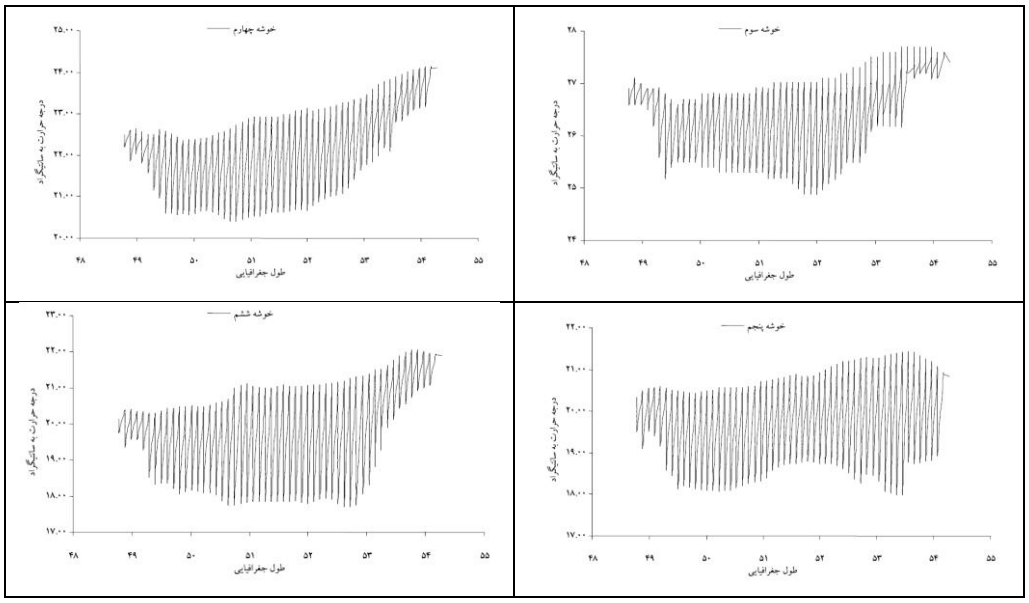
بر اساس الگوی خوشه‌ی شماره ۳، تغییرات نصف‌النهاری دمای سطح آب دریای خزر از جنوب به شمال، مطابق شکل ۶ نشان می‌دهد که از حوالی ۳۷ تا ۴۰/۷ درجه شمالی، درجه حرارت سطح آب از یک‌روند کاهشی برخوردار بوده، به‌گونه‌ای که درجه حرارت از ۲۷/۶ درجه سانتی‌گراد به ۲۴/۵ درجه تنزل یافته است. در ادامه می‌توان دید که از محدوده ۴۰/۷ تا ۴۴/۲ درجه شمالی، دامنه تغییرات دمایی بسیار زیاد بوده و این دامنه‌ی تغییرات بین ۲۳ تا ۲۵/۵ درجه سانتی‌گراد منتهی شده و از جنوب به شمال از یک‌روند افزایشی بسیار ضعیفی برخوردار است. در انتها نیز ملاحظه می‌شود که از عرض ۴۲/۲ درجه شمالی تا به سواحل شمالی خزر، روند افزایش ضعیفی دیده می‌شود و دامنه تغییرات دمایی نیز به کمتر از یک درجه سانتی‌گراد تنزل یافته است.

در ادامه تغییرات مداری دمای خزر، برای پهنه‌ی جنوبی آن از غرب به شرق، روند خاصی را نشان نمی‌دهد. علی‌رغم اینکه دامنه‌ی نوسانات دمایی درروی خزر جنوبی به بیش از ۳ درجه سانتی‌گراد می‌رسد، اما این دامنه دمایی در سواحل غربی و شرقی پهنه‌ی جنوبی خزر به کمترین میزان خود می‌رسد (شکل ۷). در خزر میانی، بر اساس الگوی خوشه‌ی سوم، مشاهده می‌شود که از غرب به شرق روند تغییرات و دامنه دما بسیار متفاوت است. به‌عنوان‌مثال از ساحل غربی تا ۵۰/۳ درجه طول شرقی روند خاصی در دما دیده نمی‌شود و دامنه تغییرات دمایی کمتر از یک درجه سانتی‌گراد است. درحالی‌که از حوالی ۵۰/۳ تا ۵۲/۷ درجه طول شرقی روند دما کاهشی و دامنه تغییرات دمایی بیش از ۲/۵ درجه سانتی‌گراد رسیده است. از طرف دیگر در محدوده خلیج قره‌بغاز، یک‌روند افزایشی ضعیفی از دما دیده می‌شود که دامنه دما نیز کاهش‌یافته است (شکل ۸). تغییرات درجه حرارت از غرب به شرق برای خزر شمالی نیز، روند خاصی را نشان نمی‌دهند؛ اما دامنه تغییرات آن بسیار متفاوت است. شاخص‌ترین این نوسانات مربوط به سواحل غربی تا محدوده ۵۰ درجه طول شرقی است که دامنه تغییرات دمایی کمتر از ۰/۵ درجه سانتی‌گراد است. درحالی‌که از این محدود تا حوالی ۵۰/۸ درجه، دامنه تغییرات دمایی افزایش‌یافته و دوباره در راستای شرق از میزان آن کاسته می‌شود (شکل ۹).

همان‌گونه که از شکل ۴، قابل‌رؤیت است، میانگین دمای سطح آب دریای خزر برای خوشه‌ی چهارم، بین دامنه‌های دمایی ۱۸ الی ۲۵ درجه سانتی‌گراد متغیر است. داده‌های دمایی این خوشه نیز نشان می‌دهد که گرم‌ترین بخش دریای خزر با منحنی دمای بیش از ۲۴ درجه‌ی سانتی‌گراد مربوط به سواحل جنوب شرقی آن می‌باشد. در این راستا با حرکت به‌طرف شمال از دمای سطح آب کاسته می‌شود، اما همانند قبل، خنک‌ترین بخش دریای خزر در قسمت میانی آن قرار دارد که خطوط هم‌دمای ۱۹ درجه سانتی‌گراد در سواحل شرقی آن قرار دارد و کشیدگی این زبانه تا به سواحل غربی آن دیده می‌شود. بر مبنای جدول ۱، این نتیجه استخراج می‌شود که بیشترین فراوانی زمانی الگوی چهارم، به ماه‌های آوریل، ژوئن و سپتامبر اختصاص دارد.



[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-25]



شکل ۷: روند تغییرات دمای سطح آب در امتداد طول جغرافیایی در خزر جنوبی برای خوشه‌های شش‌گانه

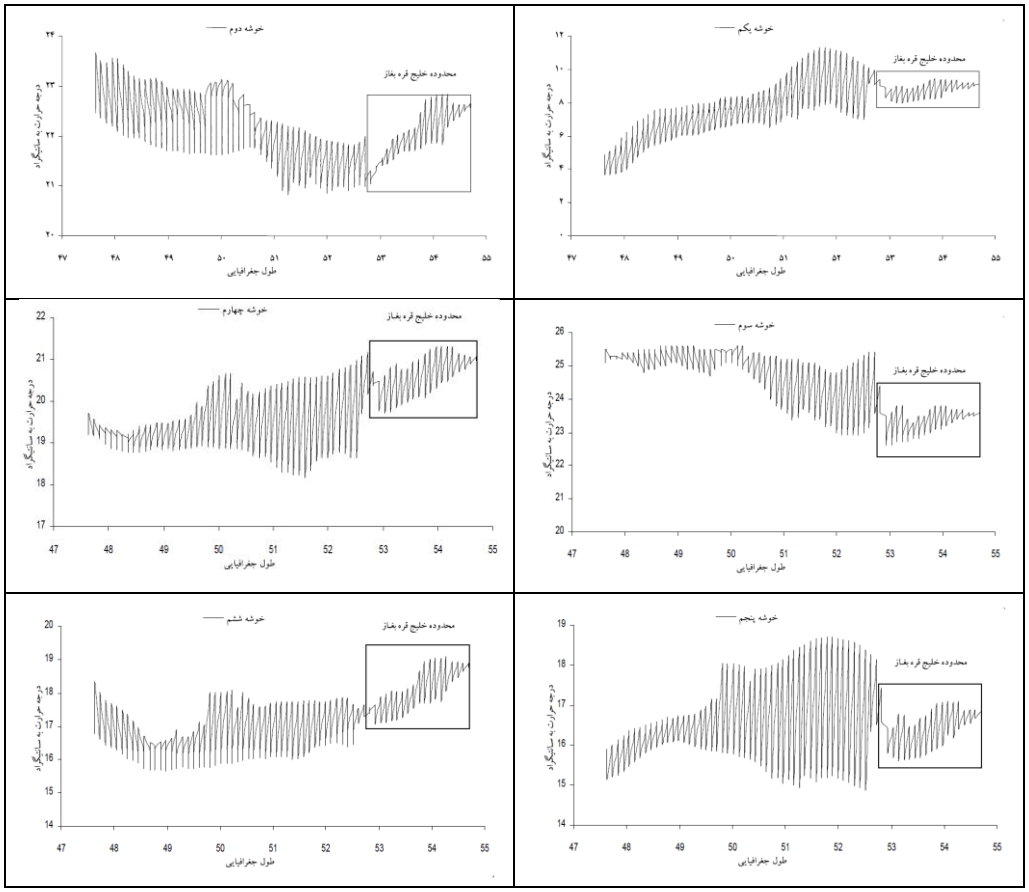
توزیع مساحتی دمای سطح آب دریای خزر بر اساس شکل ۵ گویای این نکته است که دمای بین ۱۹ الی ۱۹/۹ درجه سانتی‌گراد، مساحتی معادل ۴۲/۲ درصد از مساحت کل خزر را می‌پوشاند و سایر طبقات بین ۰/۶۷ تا ۱۵/۱۳ درصد در نوسان می‌باشند.

بر مبنای ویژگی آماری انحراف از معیار که در جدول ۳ نشان داده‌شده است، مشخص می‌گردد بیشترین تغییرپذیری دما در این الگو در خزر میانی، به‌صورت یک هسته در بخش شمالی آن دیده می‌شود. به‌طوری‌که حداکثر انحراف از میانگین، مقادیر بالای ۸ درجه سانتی‌گراد را نشان می‌دهد و کمترین انحراف نیز مربوط به سواحل جنوب شرق دریای خزر است. به‌هرحال دامنه انحراف از میانگین در الگوی شماره چهارم، بین ۵ تا ۸/۵ درجه سانتی‌گراد متغیر است. شایان‌ذکر بوده که ضریب تغییرپذیری دما در این خوشه بین ۲۴ تا ۴۷ درصد نوسان داشته است (جدول ۳).

شکل ۶ تغییرات درجه حرارت سطح آب دریای خزر را بر مبنای عرض جغرافیایی از جنوب به شمال نشان می‌دهد. همان‌طور که از شکل ملاحظه می‌شود، از سواحل جنوبی دریای خزر تا به عرض ۴۲ درجه شمالی، دمای سطح آب دریای خزر با یک‌روند خطی به ازای هر درجه عرض جغرافیایی، معادل ۰/۸۵ درجه سانتی‌گراد کاهش دما را تجربه کرده است. از این عرض جغرافیایی به‌طرف عرضه‌ای شمالی‌تر، یک آستانه‌ی دمایی بین ۱۸ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد دیده می‌شود و از عرض ۴۴ درجه به بالا، بر میزان دما افزایش‌یافته است.

در ادامه می‌توان به نتایج تغییرات دما در راستای طول جغرافیایی برای خزر جنوبی اشاره نمود. تغییرات دمایی در امتداد طول جغرافیایی در این بخش از خزر نشان می‌دهد که از غرب به شرق یک‌روند افزایشی وجود دارد که دامنه تغییرات دمایی از جنوب به شمال، برای محدوده‌ی ۵۱ تا ۵۲ درجه شرقی در حدود ۲/۵ درجه سانتی‌گراد است. برای خزر جنوبی، بیشترین میزان دما در سواحل شرقی به بیش از ۲۴ درجه سانتی‌گراد می‌رسد و در سواحل غربی دمای سطح آب در حدود ۲۲/۵ درجه سانتی‌گراد است (شکل ۷). در خزر میانی، تغییرات دما بر اساس الگوی خوشه‌ای چهارم، متفاوت از خزر جنوبی است. به‌طوری‌که از سواحل غربی تا حوالی ۴۰/۵ درجه شرقی درجه حرارت آب در حدود ۱۹ درجه سانتی‌گراد است و دامنه شمالی و جنوبی آن بسیار کم می‌باشد درحالی‌که از این طول جغرافیایی تا سواحل شرقی دامنه درجه حرارت بسیار زیاد شده است و در جهت شرق نیز از یک‌روند افزایشی ضعیفی برخوردار بوده. در خلیج قره‌بغاز دامنه دما کاهش‌یافته و در جهت شرق با یک‌روند افزایشی مشخص می‌گردد (شکل ۸). درنهایت، تغییرات دما در خزر شمالی، مؤید این موضوع بوده که در سواحل غربی و سواحل شرقی خزر شمالی، دامنه تغییرات دمایی کم است درحالی‌که در حوالی ۴۹ تا ۵۱ درجه شرقی تغییرات دمایی در حدود ۲/۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (شکل ۹).

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-25]



شکل ۸: روند تغییرات دمای سطح آب در امتداد طول جغرافیایی در خزر میانی برای خوشه‌های شش‌گانه

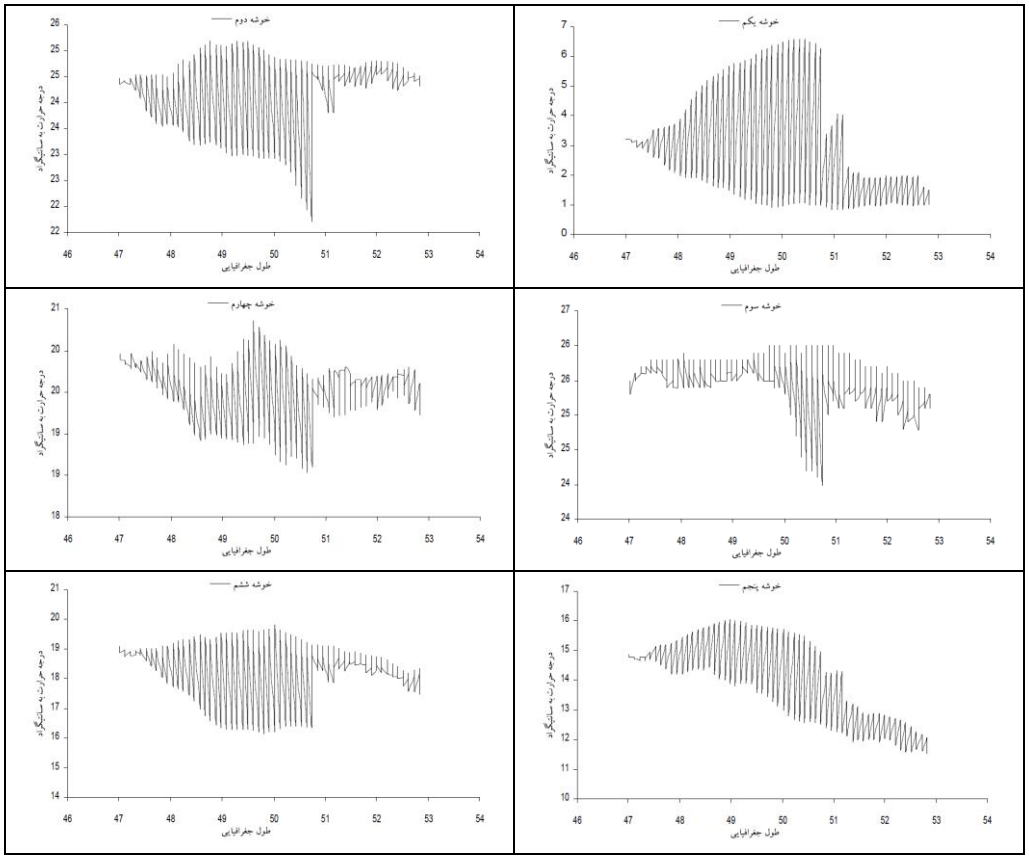
در جدول ۲، میانگین دمای سطح آب دریای خزر برای الگوی خوشه‌ی پنجم نشان داده‌شده است. به‌طوری‌که دامنه‌ی این میانگین بین ۱۱ الی ۲۲ درجه سانتی‌گراد متغیر بوده است. تغییرات دمای سطح آب نشان می‌دهد که همانند سایر الگوهای خوشه‌ای، گرم‌ترین منطقه بر روی دریای خزر در سواحل جنوب شرقی با منحنی هم‌دمای ۲۱ درجه سانتی‌گراد مشخص‌شده است. در این الگو، دمای سطح آب دریای خزر از جنوب به شمال کاهش می‌یابد. به‌نحوی‌که شمالی‌ترین بخش خزر با منحنی هم‌دمای ۱۲ درجه سانتی‌گراد به سمت ساحل بسته‌شده است. شایان‌ذکر بوده که منحنی‌های هم‌دمای سطح آب دریای خزر در این الگو در امتداد مداری کشیده شده است (شکل ۴).

شکل ۵، توزیع مساحتی دمای سطح آب دریای خزر را بر اساس درصد نشان می‌دهد. بر اساس این شکل، در خوشه‌ی پنجم، بیشترین مساحت با ۲۴/۳۷ درصد، به دامنه‌ی دمایی ۱۶ الی ۱۶/۹ درجه سانتی‌گراد اختصاص داشته که ازلحاظ مکانی بر محدوده‌ی خزر میانی جایابی شده است؛ اما در جایگاه بعد نیز، دمای بین ۲۰ الی ۲۰/۹ سانتی‌گراد با ۱۶/۷۴ درصد از مساحت کل خزر، در رتبه‌ی دوم قرار دارد. این ناحیه‌ی دمایی نیز در نیمه جنوبی خزر قرار دارد. توزیع زمانی این الگو بر اساس جدول ۱، نشان می‌دهد که این الگو پس از خوشه اول، بیشترین فراوانی وقوع را به خود اختصاص داده است و بیشترین تکرار آن در ماه‌های آوریل، می، سپتامبر، اکتبر، نوامبر و دسامبر است. دامنه‌ی انحراف از میانگین دما نیز در این الگوی خوشه‌ای بین ۲ الی ۶/۵ درجه سانتی‌گراد است که بیشترین انحرافات از میانگین در شمال شرق خزر شمالی با بیش از ۶ درجه سانتی‌گراد و کمترین میزان انحراف در سواحل شرقی خزر میانی، خلیج قره‌بغاز و بخش میانی خزر جنوبی دیده می‌شود. همچنین ضریب تغییرپذیری دما در این الگو، بین ۲۴ الی درصد ۶۴ می‌باشد (جدول ۲).

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-25]

نتایج این بخش از تحقیق روشن می‌کند که روند تغییرات دمای سطح آب دریای خزر از عرض‌های مربوط به سواحل جنوبی تا به سواحل شمالی، به‌گونه‌ای بوده که به ازای هر درجه عرض جغرافیایی به‌سوی شمال، دمای سطح آب، به میزان ۰/۸۸ درجه سانتی‌گراد کاهش می‌یابد (شکل ۶)؛ اما بر مبنای تغییرات رژیم دمایی خزر در راستای مداری، یافته‌ها در مورد خزر جنوبی، آشکار می‌سازد که روند خاصی برای پهنه‌های مختلف وجود ندارد، حال‌آنکه دامنه نوسانات دمایی برای این محدوده بین ۲ الی ۲/۵ درجه سانتی‌گراد متغیر است (شکل ۷). در خزر میانی، تغییرات دمای سطح آب خزر، نسبت به سایر بخش‌ها، قابل‌توجه‌تر است؛ زیرا بر اساس الگوی خوشه‌ی پنجم، از سواحل غربی تا حدود ۴۹/۷ درجه شرقی، یک‌روند افزایشی دما دیده می‌شود و میزان آن در حدود ۱ درجه سانتی‌گراد است. همچنین از طول جغرافیایی ۴۹/۷ تا سواحل شرقی، دامنه تغییرات دما حداکثر به ۳/۵ درجه سانتی‌گراد می‌رسد، ولی روند خاصی در جهت شرق دیده نمی‌شود. در خلیج قره‌بغاز نیز یک‌روند افزایشی در جهت شرق با دامنه تغییرات بسیار کم دیده می‌شود (شکل ۸).

برای خزر شمالی، تغییرات غربی شرقی در امتداد طول جغرافیایی آشکار می‌سازد که از غرب به شرق، یک‌روند کاهشی به مقدار ۰/۶۷ درجه سانتی‌گراد، به ازای هر درجه طول جغرافیایی وجود دارد. دامنه تغییرات دمایی به‌طرف شرق تا حوالی ۵۰/۷ درجه شرقی افزایش می‌یابد. به‌گونه‌ای که حداکثر میزان آن ۲/۵ درجه سانتی‌گراد بوده، اما از این محدوده به‌طرف شرق دامنه تغییرات دمایی تا به سواحل شرقی به کمتر از ۰/۵ درجه سانتی‌گراد می‌رسد (شکل ۹).



شکل ۹: روند تغییرات دمای سطح آب در امتداد طول جغرافیایی در خزر شمالی برای خوشه‌های شش‌گانه

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-25]

بر اساس شکل ۴، یافته‌ها نشان می‌دهند که الگوی خوشه‌ای ششم، میانگین دمای سطح آب ۱۵ الی ۲۳ درجه سانتی‌گراد را تجربه کرده است. به‌نحوی‌که در قالب یک حالت کلی، ملاحظه می‌گردد که دما از خزر جنوبی و شمالی به سمت خزر میانی کاهش‌یافته و بیشترین درجه حرارت در سواحل جنوب شرقی خزر دیده می‌شود؛ و دمای بیش از ۲۲ درجه سانتی‌گراد با یک هسته بسیار کوچکی به سواحل شرقی خزر بسته‌شده است. ویژگی‌های آماری این الگوی دمای سطح آب دریای خزر نشان می‌دهد که بیشترین فراوانی آن‌ها در ماه‌های می، ژوئن، ژولای و اگوست دیده می‌شود. در این الگو، بیشترین فراوانی زمانی رخداد مربوط به ماه‌های ژوئن، جولای، آوریل و آگوست می‌باشد (جدول ۱). از طرف دیگر، بیشترین مساحت این خوشه با ۲۲/۲۴ درصد از مساحت کل خزر، مربوط به محدوده‌ی دمایی ۱۸ تا ۱۸/۹ درجه سانتی‌گراد بوده و محدوده‌ی دمایی ۱۶ تا ۱۶/۹ درجه سانتی‌گراد با ۲۰/۷۴ درصد از کل مساحت خزر، در رتبه‌ی بعدی قرار دارد (شکل ۵).

به‌هرحال بر مبنای جدول ۲، ملاحظه می‌گردد که انحراف از میانگین دما برای این خوشه، بین ۲/۵ تا ۴/۵ درجه سانتی‌گراد نوسان داشته که بیشترین تغییرپذیری بر روی خزر میانی به‌صورت لکه‌هایی با بیش از ۴ درجه سانتی‌گراد است. همچنین خزر جنوبی نیز از انحراف دمایی کمی نسبت به سایر مناطق دیگر برخوردار است. قابل‌ذکر بوده که ضریب تغییرپذیری دمای سطح آب در این الگو خوشه‌ای، بین ۱۵ الی ۳۱ درصد در تغییر است.

تغییرات روند دمای سطح آب دریای خزر در این الگو نشان می‌دهد که به‌طور میانگین از سواحل جنوبی خزر در امتداد نصف‌النهاری تا حوالی ۴۲ درجه شمالی، نوسانات دما به‌صورت کاهشی بوده و این روند به ازای هر درجه عرض جغرافیایی در حدود ۱ درجه سانتی‌گراد است. درحالی‌که از این محدوده تا ۴۴ درجه شمالی به‌طور تقریبی پایدار است و این پایداری با دمای کمتر از ۱۷ درجه سانتی‌گراد دیده می‌شود. در ادامه از این عرض به‌طرف شمال، دوباره دمای آب افزایش‌یافته و بالاترین میزان دما در حوالی ۴۶ درجه شمالی دیده می‌شود (شکل ۶). یافته‌های این تحقیق برای تغییرات طولی دمای سطح آب بر مبنای پهنه‌های مختلف خزر جنوبی، میانی و شمالی، مؤید این موضوع است که با حرکت غرب به شرق درروی خزر جنوبی، یک‌روند افزایشی ضعیف دیده می‌شود (شکل ۷)؛ اما تغییرات دمای خزر میانی، مطابق با الگوی خوشه‌ای ششم، حاکی از یک تغییرپذیری شدید می‌باشد. به‌نحوی‌که از سواحل غربی تا حوالی ۴۸/۵ درجه شرقی، کاهش دما وجود داشته و از این محدوده تا حوالی ۴۹/۷ درجه شرقی دما به‌طور تقریبی پایدار بوده و خنک‌ترین بخش این محدود می‌باشد. سپس در راستای شرقی دوباره دامنه‌ی دما افزایش‌یافته و حداکثر به ۲ درجه سانتی‌گراد می‌رسد و این روند تا سواحل شرقی به‌طور تقریبی پایدار است. در ادامه در خلیج قره‌بغاز در جهت شرق یک‌روند افزایشی دما به‌صورت قابل‌توجهی دیده می‌شود (شکل ۸). تغییرات غربی- شرقی در خزر شمالی نیز مؤید این حقیقت است که از سواحل غربی تا حوالی ۵۰/۸ درجه طول شرقی، روند خاصی در جهت افزایش یا کاهش دما دیده نمی‌شود. حال‌آنکه دامنه‌ی نوسان آن به بیش از ۳ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. درحالی‌که از این طول جغرافیایی در راستای شرقی، دامنه دما بسیار کاهش‌یافته و میزان آن به کمتر از ۰/۵ درجه سانتی‌گراد می‌رسد و با یک‌روند کاهشی دیده می‌شود (شکل ۹).

بحث و نتیجه‌گیری

دمای سطح آب دریاها، اقیانوس‌ها و دریاچه‌ها یکی از شاخص‌های سنجش ویژگی‌های اقیانوس‌شناسی و هواشناسی می‌باشد، به‌طوری‌که در مسائل اقیانوس‌شناسی، هواشناسی، ماهیگیری و سیاست‌گذاری‌ها و برنامه‌ریزی‌های دریایی نقش مهمی ایفا می‌کند. یکی از پهنه‌های آبی که نقش مؤثری در ساختارهای طبیعی و انسانی نواحی هم‌جوار خود دارد، دریای خزر می‌باشد. لذا تحقیق حاضر به دنبال آشکارسازی، الگوهای مختلف دمای سطح آب دریای خزر با استفاده از روش تحلیل خوشه‌ای بوده است. به‌هرحال یکی از نتایج این تحقیق، استخراج ۶ الگوی خوشه‌ای دمای سطح آب خزر از ۳۰۰ ماه موردمطالعه بوده است. به ترتیب خوشه‌ی یکم و پنجم با فراوانی ۱۰۱ و ۹۵ ماه، بیشترین فراوانی‌ها و خوشه‌ی سوم با ۸ ماه، کمترین فراوانی ماه‌های موردمطالعه را به خود اختصاص داده‌اند. ویژگی آماری خوشه‌ی یک، نشان می‌دهد که بیشترین فراوانی زمانی آن،

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-25]

مربوط به نیمه‌ی دوم فصل سرد سال یعنی ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس و آوریل می‌باشد به‌طوری‌که در این دوره زمانی دما به زیر صفر نیز می‌رسد و این موضوع با نظر Ibrayev و همکاران (۲۰۱۰) در ارتباط با یخ بستن سطح آب دریای خزر در این الگو هماهنگ است و در خوشه‌ی پنجم، بیشتر فراوانی‌ها مربوط به دوره‌ی اول گرم سال یعنی ماه‌های آوریل، می، سپتامبر و نیمه‌ی اول دوره‌ی سرد سال، شامل ماه‌های اکتبر، نوامبر و دسامبر است. از نکات قابل‌توجه دیگر، شناسایی بیشینه‌ی مساحت پهنه‌ی آبی خزر، برای دامنه‌ی دمایی خوشه‌های مختلف مطالعاتی می‌باشد. به‌نحوی‌که برای خوشه‌ی یکم، حداکثر مساحت با ۱۷/۳ درصد از کل مساحت خزر، مربوط به دامنه‌ی دمایی ۱۱ تا ۱۱/۹ درجه‌ی سانتی‌گراد بوده و برای خوشه‌ی دوم، دامنه‌ی دمایی ۲۴ تا ۲۴/۹ درجه سانتی‌گراد با ۳۴/۲ درصد از کل مساحت خزر، بیشینه‌ی مساحت دمایی را به خود اختصاص داده است؛ اما در خوشه‌ی سوم و چهارم، به ترتیب بیشینه‌ی مساحت با ۵۱/۶ و ۴۲/۲ درصد، مربوط به دامنه‌های دمایی ۲۵ تا ۲۵/۹ درجه و برای خوشه‌ی چهارم متعلق به دامنه‌ی دمایی ۱۹ تا ۱۹/۹ درجه سانتی‌گراد است. برای خوشه‌های پنجم و ششم نیز، به ترتیب حداکثر مساحت‌ها با ۲۴/۳۷ و ۲۲/۲۴ درصد متعلق به دامنه‌های دمایی ۱۶ تا ۱۶/۹ درجه و برای خوشه‌ی ششم، اختصاص به محدوده‌ی دمایی ۱۸ تا ۱۸/۹ درجه سانتی‌گراد دارد. به‌هرحال در اکثر خوشه‌ها، سواحل جنوب شرق خزر جنوبی، به‌عنوان گرم‌ترین منطقه خزر شناخته شد و خزر میانی نسبت به سایر نواحی دیگر به‌عنوان خنک‌ترین ناحیه معرفی گردید. به‌طوری‌که با حرکت از خزر شمالی و جنوبی به ناحیه‌ی خزر میانی، از مقادیر دما کاسته شده است. یکی از مهم‌ترین ویژگی خزر میانی در خوشه‌ی سوم، بسته شدن خطوط هم‌دمای بر روی سواحل شرقی آن بوده که به‌احتمال‌زیاد، این خطوط هم‌دما ناشی از یک منطقه بالایی آب سرد در ماه‌های گرم آگوست و سپتامبر می‌باشد که با مطابق نظر پانین (۱۳۷۹) آنچه تحت عنوان آنومالی دمای منفی در طول سواحل شرقی خزر میانی همخوانی کاملی را نشان می‌دهد. از طرف دیگر در این خوشه به دلیل بالا رفتن شدید دما در خزر جنوبی احتمال وقوع بلوم جلبکی به وجود می‌آید که با نتایج تحقیق قانقرمه و روشن (۱۳۹۱) همخوانی دارد. به‌طوری‌که هم‌زمان با آن در سواحل شرقی و بر روی بیابان قره‌قوم یک چاله گرمایی هوا نیز دیده می‌شود. لازم به توضیح می‌باشد که بیشینه و کمینه‌ی ضریب تغییرات دمای سطح آب خزر به ترتیب، متعلق به خزر میانی و سواحل جنوب شرقی خزر جنوبی می‌باشد. درنهایت یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهد که در تحلیل‌های اقلیمی نمی‌توان تنها از میانگین‌های تقویمی مانند ماهانه استفاده نمود، زیرا یک الگوی دمایی صرفاً در یک ماه اتفاق نمی‌افتد و از طرف دیگر نیز ممکن است در بعضی سال‌ها در ماه‌های مختلف، الگوها متفاوت شوند، پس بنابراین بهترین حالت در تحلیل دمای سطح آب دریای خزر در حال حاضر استفاده از الگوهای خوشه‌ای غالب شش‌گانه است. این وضعیت با توجه به گرمایش جهانی و تغییرات سریع دمای سطح آب دریای خزر حتی ممکن است درآیند نیز تغییر کند. به‌هرحال یافته‌های این تحقیق می‌تواند به‌عنوان گامی مقدماتی در جهت مطالعات دیگر درزمینه‌ی شناسایی تأثیر شاخص‌های محلی، منطقه‌ی و جهانی اقلیمی بر نوسانات دمایی و تغییرات تراز آب دریای خزر، موردتوجه قرار گیرد.

منابع

پانین، ع.، مترجم: شمسی فولادی، ع. ۱۳۷۹. تبخیر و تبادل حرارتی دریای خزر. مرکز ملی مطالعات و تحقیقات دریای خزر، وزارت نیرو. تهران

ادب، ح.، عتباتی، ا.، احمدی، ا. و اسماعیلی، ر.، ۱۳۸۹. پایش زمانی دمای سطح دریا و کلروفیل a با استفاده از تحلیل تصاویر دورسنجی در دریای خزر. مجله بیولوژی دریا، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، سال دوم، شماره هشتم، صفحات ۱۲- ۱.

حسن لو، م. و سراجیان، م.، ۱۳۸۸. تحلیل حرکت جریانات دریایی در تصاویر حرارتی سطح آب دریا. نشریه دانشکده فنی دانشگاه تهران، دوره ۴۳، شماره ۴، صفحات ۳۸۹ - ۳۷۹.

خوشحال، ج. و قانقرمه، ع.، ۱۳۸۸. شناسایی و معرفی الگوهای همدیدی موجد ترازهای توفانی بالاتر از نیم متر در سواحل جنوبی خزر. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره‌ی ۹۵، صفحات ۱۵۲- ۱۳۱.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-25]

روشن، غ.، خوش‌اخلاق، ف. و کرم پور، م.، ۱۳۹۰. ارزیابی و اصلاح مدل مناسب تبخیر و تعرق بالقوه برای ایران. مجله‌ی پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۸، صفحات ۶۸- ۴۹.

غیور، ح. و مسعودیان، ا.، ۱۳۷٦. اثرات گرم شدن زمین‌بر چرخه آب در طبیعت. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۴۶، صفحات ۵۱- ۳۶.

قانقرمه، ع. و روشن، غ.، ۱۳۹۱. تحلیل اقلیم سینوپتیک شرایط شکل‌گیری بلوم جلبکی در خزر جنوبی. مجله‌ی جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره‌ی دوم، صفحات ۱۱۶- ۱۰۱.

قانقرمه، ع. و ملک، ج.، ۱۳۸٤. همزیستی مسالمت‌آمیز با نوسانات آب دریای خزر به‌منظور توسعه پایدار سواحل ایران (مطالعه موردی ساحل جنوب شرقی). مجله‌ی پژوهش‌های جغرافیایی، شماره‌ی ۵۴، صفحات ۱۱- ۱.

قانقرمه، ع.، ۱۳۹۱. تحلیل فراوانی حداکثر تراز توفانی سواحل جنوبی دریای خزر. مجله‌ی آمایش جغرافیایی فضا، شماره سوم، صفحات ۵۲- ۴۱.

قانقرمه، ع. و بیرودیان، ن.، ۱۳۹۱. دگرگونی‌های اقلیمی و نوسانات آبدهی رودخانه‌های بزرگ سواحل جنوبی دریای خزر. مجله‌ی آمایش جغرافیایی فضا، شماره‌ی دوم، صفحات ۵۶- ۴۳.

مفیدی، ع.، زرین، آ. و جانباز قبادی، غ.، ۱۳۸۷. تعیین الگوی همدیدی بارش‌های شدید زمستانه و مقایسه آن با الگوی بارش‌های شدید پاییزه در سواحل جنوبی دریای خزر. اولین اجلاس بین‌المللی تغییرات زیست‌محیطی منطقه خزر، ۳ تا ۴ شهریور ۱۳۸۷، دانشگاه مازندران بابلسر.

ناظم السادات، م. و قاسمی، ا.، ۱۳۸۳. تأثیر نوسان‌های دمای سطح آب دریای خزر بر بارش فصول زمستان و بهار نواحی شمالی و جنوب غربی ایران. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال هشتم، شماره چهارم، صفحات ۱۵- ۱.

Arpe, K., Bengtsson, L. G., Golitsyn, S., Mokhov, I. I., Semenov V. A. and Sporyshev, P. V., 2000. Connection between Caspian Sea level variability and ENSO. Geophysical Research Letters. 27, 2693–2696.

Arpe, K. and Leroy S. A. G., 2007. The Caspian Sea Level forced by the atmospheric 5 circulation as observed and modeled. Quaternary International, 173, 144–152,

Arpe, K., Leroy, S. A. G., Lahijani H. and Khan V., 2011. Impact of the European Russia drought in 2010 on the Caspian Sea level. Hydrology and Earth System Sciences. Discuss, 8, 7781–7803.

Brand, L. E. and Compton, A., 2007. Long-term increase in Karenia brevis abundance along the Southwest Florida Coast. Harmful Algae, 6(2): 232–252.

Ghavidel Rahimi, Y., Noori H. and Ysary T., 2010. Synoptic classification Caspian zone temperature based on thermodynamic variables in the upper levels of the atmosphere. Humanities Teacher - Planning Journal, Volume XIV, 13, 217-232.

Ginzburg, A.I., Andrey, G., Kostianoy A. and Sheremet N. A., 2005. Sea Surface Temperature Variability. The Handbook of Environmental Chemistry, l. 5: 59–81.

Ibrayev, R. A., zsoy, E. O¨., Schrum C. and Sur, H. I., 2010. Seasonal variability of the Caspian Sea three-dimensional circulation, sea level and air-sea interaction. Journal of Ocean Science, 6: 311–329.

Rodionov, S. N., 1994. Global and Regional Climate Interaction: The Caspian Sea Experience, Kluwer Academic Publishers, London.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-25]