

# آشکارسازی تأثیرات آنومالی‌های حرارتی ناشی از سیگنال‌های کلان‌مقیاس جوی - اقیانوسی در رخدادهای سفید شدگی آبسنگ‌های مرجانی خلیج فارس

خاطره اژدری معمره<sup>۱</sup>، امیر گندمکار<sup>۲\*</sup>، کیوان کبیری<sup>۳</sup>

۱- دانش‌آموخته دکتری آب و هواشناسی، گروه جغرافیا، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران. پست الکترونیکی:

azh.khatereh@yahoo.com

۲- دانشیار، گروه جغرافیا، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، پست الکترونیکی: aagandomkar@iaun.ac.ir

۳- دانشیار گروه سنجش‌ازدور، پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی، تهران، ایران. پست الکترونیکی: kabiri@inio.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۹۹/۶/۲۱

\* نویسنده مسوول

تاریخ دریافت: ۹۹/۵/۱۷

## چکیده

سیگنال‌های دور پیوندی جوی اقیانوسی یکی از مهم‌ترین پیش‌رانه‌های آنومالی‌های منطقه‌ای اقلیم است. این الگوهای دور پیوند اقلیمی می‌توانند با تغییر در ویژگی‌های دمایی سطح آب هر منطقه، نقش اساسی در رخداد سفید شدگی و مرگ‌ومیر کلونی‌های مرجانی داشته باشند. هدف اصلی این تحقیق ارزیابی تأثیر سیگنال‌های کلان‌مقیاس جوی اقیانوسی بر اپیزودهای سفید شدگی آبسنگ‌های مرجانی خلیج فارس است. در این راستا داده‌های مربوط به ۳۵ شاخص دور پیوند اقلیمی طی دوره آماری ۱۹۸۰-۲۰۱۵ (دوره ۳۶ ساله) از مرکز پیش‌بینی‌های اقلیمی پایگاه جوی اقیانوسی ایالات متحده (NOAA)، اخذ گردید. اپیزودهای سفید شدگی آبسنگ‌های خلیج فارس نیز از پایگاه جهانی پایش جهانی مرجان‌ها، استخراج شد. نتایج حاصل از آنالیز همبستگی بیانگر آن بود که از بین ۳۵ شاخص دور پیوند جوی اقیانوسی عمده تأثیرگذار در اقلیم زمین، دو شاخص دور پیوندی نوسان چند دهه‌ای اقیانوس اطلس (AMO) و شاخص تغییرات دمای سطح آب اقیانوس آرام استوایی در منطقه NINO3.4، با آنومالی‌های دمایی سطح دریا در منطقه خلیج فارس، همبستگی معنی‌داری در سطح اطمینان ۰/۹۵ ارائه کرده است. همبستگی آشکار شده دمای سطح آب در منطقه خلیج فارس در ماه‌های فصل گرم (ژوئن تا سپتامبر) که بیشترین ریسک سفید شدگی آبسنگ‌ها وجود داشته است، بیانگر آن بود که دو شاخص AMO و NINO3.4، توانسته‌اند، به‌صورت معنی‌داری اپیزودهای سفید شدگی را توجیه کنند. نتایج حاصل از تحلیل فراوانی رخدادهای سفید شدگی مرجان‌های خلیج فارس، بیانگر آن بود که همه رخدادها ثبت شده در ارتباط با فاز مثبت AMO بوده است. در مورد شاخص NINO3.4 نیز نتیجه مشابهی به دست آمد که فاز مثبت این الگوی دور پیوند باعث ایجاد دماهای مخاطره‌آمیز بالا در خلیج فارس شده و رخدادهای سفید شدگی عمومی در صخره‌های مرجانی این منطقه را ایجاد کرده است به طوری که از ۱۲ رخداد در منطقه، ۷ مورد در فاز مثبت این شاخص ثبت شده است و تنها ۳ مورد در فاز منفی آن بوده است. با آگاهی از اینکه این دو الگوی دور پیوند در بین ۳۵ الگوی دور پیوند اصلی کنترل‌کننده اقلیم، پیش‌رانه‌های اصلی ایجاد رخدادهای سفید شدگی و مرگ‌ومیر مرجان‌ها در خلیج فارس هستند،

لذا با آگاهی و پایش دقیق این الگوهای دور پیوند، می‌توان تا حدود زیادی اقدامات محافظتی را برای کلنی‌های مرجانی منطقه با کارایی بالاتری انجام داد.

کلمات کلیدی: آبسنگ‌های مرجانی، الگوهای دور پیوند جوی اقیانوسی، دمای سطح آب، خلیج فارس.

## ۱. مقدمه

مرجانی در تعادل بخشیدن به میزان کربن و نیتروژن، حفظ خطوط ساحلی در برابر تخریب ناشی از هجوم مداوم امواج، توفان و سیل، ایجاد محیط‌زیست دریایی و مواد مغذی برای زنجیره غذایی و همچنین تعادل بخشیدن به سیستم ظریف طبیعت نقش اساسی دارند (Bruno et al., 2007). در آب‌های جنوب ایران محیط‌هایی هرچند اندک و پراکنده از آب سنگ‌های مرجانی وجود دارد که عمدتاً در اطراف جزایر خلیج فارس و تا حدودی نیز در خلیج چابهار قرار گرفته‌اند. در دو دهه اخیر به دلایل متعدد زیست‌محیطی و انسانی، فرایند تخریب و مرگ‌ومیر مرجان‌ها روند افزایشی معنی‌داری داشته است. یکی از مهم‌ترین علل مرگ‌ومیر مرجان‌ها فرایند سفید شدگی<sup>۱</sup> مرجان‌ها است (Berkelmans and Willis, 1999) که زمانی رخ می‌دهد که رابطه همزیستانه بین این تک‌سلولی و آبسنگ‌های مرجانی میزبان آن‌ها طی فشارهای اقلیمی و زیست‌محیطی از بین برود در نتیجه میزبان که همان آبسنگ مرجانی است، زوگزانتلای خود را دفع کرده و در نتیجه آن اسکلت کربنات کلسیم سفید شده آن نمایان می‌شود و سیکل تغذیه مرجان مختل شده و مرجان دچار قحطی می‌گردد و در صورت تداوم فرایند بدون بازگشتی به نام مرگ رخ می‌دهد (Lesser et al., 2011). سیگنال‌های دور پیوند کلان‌مقیاس جوی اقیانوسی، در واقع آنومالی‌ها یا آنومالی‌های هستند که در دما یا فشار برخی نواحی اقیانوسی یا قاره‌ای رخ داده و اثرات آن‌ها در آب‌وهوای درون سالی و بین سالی نواحی بسیار دورتر از کانون فعالیت، قابل مشاهده است. این سیگنال‌های جوی اقیانوسی، در مقیاس فصلی تا دهه‌ای، می‌توانند آب‌وهوای نواحی مختلف را تحت تأثیر قرار دهند. فازهای مثبت و منفی این الگوهای دور پیوند، در دما و بارش نواحی مختلف کشور توسط محققین داخلی بررسی شده است. اما تأثیرگذاری الگوهای کلان‌مقیاس دور پیوند در رخداد مخاطره‌آمیز سفید شدگی مرجان‌ها یا آبسنگ‌های مرجانی تاکنون مورد مطالعه قرار نگرفته است. الگوهای دور پیوند اگر بتوانند تغییرات دمایی معنی‌دار دمایی در آب‌های پیرامون آبسنگ‌های مرجانی ایجاد کنند، به‌ویژه در دوره

آبسنگ‌های مرجانی در حال حاضر بزرگ‌ترین ساختارهای زیست‌شناختی زمین می‌باشند و هزاران سال طول کشیده است تا تشکیل شوند، با این وجود، اکوسیستم آبسنگ‌های مرجانی در دهه‌های اخیر، به میزان هشدار دهنده‌ای در سرتاسر جهان رو به کاهش بوده است. سفید شدگی مرجان‌ها که یکی از نمایه‌های از بین رفتن تعادل اکوسیستمی آبسنگ‌های مرجانی است، از مهم‌ترین علل کاهش و مرگ‌ومیر مرجان‌ها در سراسر جهان بوده است (Wilkinson, 2008). در واقع فرایند تشکیل آبسنگ‌های مرجانی ماحصل همزیستی نوعی از تک‌سلولی‌های تاژک‌دار به نام زوگزانتله (Zooxanthellae) با مرجان‌ها است. ارتباط بین جلبک تک‌سلولی زوگزانتله و آبسنگ‌های مرجانی یک ارتباط همزیستی است بدین معنی که این جلبک‌ها فتوسنتز می‌کنند و برای آبسنگ اکسیژن، انرژی و مواد مغذی تأمین می‌کنند و علاوه بر این با ترسیب کربنات کلسیم، اسکلت کلسیمی آبسنگ‌ها را نیز تشکیل می‌دهند، در مقابل آب سنگ‌ها برای این جلبک‌های تک‌سلولی محیطی برای رشد و همچنین نیتروژن، فسفر و دی‌اکسید کربن فراهم می‌کنند. اهمیت اکولوژیکی این مرجان‌ها از این لحاظ است که حیات تعداد زیادی از گونه‌های دریایی از جمله انواع ماهی‌ها، به وجود و زنده بودن این مرجان‌ها بستگی مستقیم دارد که این ماهی‌ها خود سرفصل زنجیره غذایی مهمی در محیط اقیانوس محسوب می‌شوند. از این رو هرگونه تخریب و یا مرگ‌ومیری در مرجان‌ها می‌تواند کل گونه‌های زنده دریایی و پیرو آن حیات بسیاری از موجودات زنده خشکی زی (از جمله انسان‌ها) را تحت تأثیر قرار دهد. بزرگ‌ترین و مهم‌ترین جامعه مرجانی جهان بانام حصار بزرگ مرجانی (Great Barrier Reef) در اطراف استرالیا واقع شده است که می‌توان اثر آن را در محیط‌زیست اقیانوس‌ها با تأثیر جنگل‌آمازون در محیط‌زیست خشکی مقایسه کرد (Li et al., 2012). حیات ۲۵ درصد آبزیان مستقیم یا غیرمستقیم به این آب سنگ‌های مرجانی وابسته است و زندگی بیش از نیم میلیارد نفر از مردم جهان که در مناطق ساحلی زندگی می‌کنند هم به این آبسنگ‌ها متکی است. صخره‌های

<sup>1</sup> Bleaching

دمای آستانه‌ای آغاز فرایند سفید شدگی ۲ درجه بالاتر از دمای بیشینه گرم‌ترین ماه سال با تداوم دو هفته است. Dutra و همکاران (۲۰۱۸) بررسی تأثیرات گرمایش جهانی بر جوامع مرجانی اقیانوس آرام را مورد بررسی قرار داده‌اند، ایشان مشاهده کردند که تغییر اقلیم در کنار عوامل متعدد دیگری که غالباً منشأ انسانی دارند، می‌تواند، مهم‌ترین علت تخریب جوامع مرجانی باشند. Andro و همکاران (۲۰۱۶) نشان دادند که فرایند تخریب و مرگومیر مرجان‌ها، برآیند پیچیده‌ای از عوامل انسانی و تغییر اقلیم و تغییر ویژگی‌های شیمیایی آب است. Francesco و Paparella و همکاران (۲۰۱۹) به مطالعه اثر تعدیل‌کنندگی بادهای تابستانی در سفیدشدگی مرجانها در سفید شدن مرجان در خلیج فارس (خلیج عربی) پرداختند نتیجه این مطالعه نشان داد که با استفاده از داده‌های مشاهده شده از سال ۲۰۱۲ به بعد و داده‌های شبیه‌سازی شده از ۲۰۰۸ - ۲۰۱۱، مشاهده شد که شدت سفید شدن مرجان‌ها طی دهه گذشته با تعداد روزهای تجمعی بالاتر از آستانه‌های سفیدشدن (به جای کل روزها) مرتبط بود. همچنین بادهای ۴ متر بر ثانیه یک آستانه مهم برای عبور یا عدم عبور مرجان از دمای آستانه سفید شدن است. جاوید و همکاران (۱۳۹۷) به مطالعه مروری بر اثر گرمایش جهانی بر سفیدشدگی اکوسیستم‌های مرجانی جهان و خلیج فارس پرداختند نتایج این مطالعه نشان داد که بالاترین آستانه سفیدشدگی شناخته شده، در جوامع مرجانی خلیج فارس دیده شده است که یک زیرمجموعه زیست‌زمین‌شناسی از جوامع مرجانی هند-آرام است. با وجود ظرفیت استثنایی مرجان‌های خلیج فارس در بقا نسبت به درجه حرارت‌های بالا در مقایسه با مرجان‌های سایر مناطق، زمانی که دما از آستانه تحمل آن‌ها فراتر رود، این مرجان‌ها نیز سفید خواهند شد. با این وجود، در حالی که گونه‌های بسیار نزدیک به مرجان‌های خلیج فارس، در مناطق دیگر معمولاً در دماهای بالاتر از ۳۲ درجه سانتی‌گراد سفید می‌شوند، هم زیست‌های مرجانی خلیج فارس دماهای بالاتر از ۳۶ درجه سانتی‌گراد را تحمل می‌کنند، بنابراین درجه حرارت‌های فصلی بسیار بالایی را تجربه می‌کنند (بیش از ۳۳ درجه سانتی‌گراد) و این مرجان‌ها سفیدشدگی‌های بسیار زیادی را در طی سال‌های ال‌نینوی ۱۹۹۷ و ۱۹۹۸ متحمل شده‌اند، این در حالی است که درجه حرارت گاهی تا بیش از ۳۸ درجه سانتی‌گراد نیز بالا می‌رود. در مقایسه مرجان‌های خلیج فارس با دریای سرخ که چنین درجه حرارت فصلی بالایی را تجربه نمی‌کنند (اصولاً ۲۹ درجه سانتی‌گراد)،

گرم سال که استرس‌های حرارتی برای این آبسنگ‌های بالا است، می‌تواند منجر به مرگومیرهای فراوان مرجان‌ها شوند (Wilkinson, 2008). مرجان‌ها زمانی در معرض سفید شدن آسیب‌پذیر می‌شوند که دمای آب دریا بیشتر از دماهایی باشد که معمولاً در گرم‌ترین ماه تجربه می‌کنند (Li et al., 2012). خلیج فارس نیز به‌عنوان یکی از محصورترین محیط‌های زیست دریایی و زیستگاه مرجان‌ها شناخته می‌شود (Sheppard et al., 2010). وقایع مخرب مربوط به سفیدشدگی مرجان‌ها در خلیج فارس مانند سایر نقاط جهان در سه دهه اخیر رخ داده است. (Goudie, 2005؛ Wilkinson et al., 2008؛ Riegl et al., 2011). خلیج فارس دریای قاره‌ای کم‌عمق و نیمه بسته‌ای است. این خلیج با دماهای آبی که از ۱۰ تا ۴۰ درجه سلسیوس و شوری آبی که از ۲۸ تا ۶۰ گرم بر لیتر در نوسان است در معرض نوسانات گسترده‌ی آب و هوایی نیز می‌باشد، اثر هم‌افزای افزایش دماها و افزایش شوری آب دریا با هم در دو دهه اخیر تنش بی‌سابقه‌ای را به اکوسیستم‌های مرجانی خلیج فارس وارد کرده است (Rezai et al., 2010). اگر در تابستان دمای سطح آب به‌طور مداوم مدتی به اندازه ۲ درجه سانتی‌گراد بالاتر از میانگین حداکثر دمای گرم‌ترین ماه سال همان منطقه باشند یا دمای تابستانی آب منطقه ۴ الی ۸ درجه سانتی‌گراد از میانگین دمای سطح آب‌های آزاد بالاتر باشد، می‌تواند هشدار برای آغاز فرایند سفیدشدگی باشد (Baker et al., 2008). در حال حاضر مرجان‌های خلیج فارس دماهایی را تجربه می‌کنند که انتظار می‌رود مرجان‌های سایر نقاط جهان تا سال ۲۰۹۹، با آن روبرو شوند (IPCC, 2014). مرجان‌های خلیج فارس هم اکنون از عهده دماهای پیش‌بینی شده برای مرجان‌های سایر نقاط در آینده برمی‌آیند و دمای تابستان را تا چندین درجه سانتی‌گراد بالاتر تحمل کنند (Coles and Riegl, 2013). با این وجود در برابر بی‌نظمی‌های دما و تأثیرات بلندمدت آن آسیب‌پذیرند (Donner et al., 2009).

Kabiri و همکاران (۲۰۱۴) از روش درجه گرمای هفتگی برای پیش‌بینی حوادث سفیدشدن در جوامع مرجانی جزیره کیش استفاده کردند و آستانه‌های درجه گرمای هفتگی را به‌عنوان هشدار برای پیش‌بینی سفید شدگی در منطقه مورد مطالعه معرفی کرده و سپس با استفاده از تکنیک پیرس کیفیت پیش‌بینی‌ها را در قالب اعداد و ارقام مورد ارزیابی قرار دادند. مطالعه Baker و همکاران (۲۰۰۸)، در زمینه مدل‌سازی تأثیر روندهای دمایی بر میزان سفید شدگی آبسنگ‌ها بیانگر آن بود که

پایش‌های منظم دمای سطح آب انجام می‌گیرد و اطلاعات جامعی از وضعیت آبسنگ‌های مرجانی وجود دارد. در این تحقیق از دودسته داده اصلی استفاده گردید: داده‌های حرارتی مربوط به دمای ماهانه سطح دریا و داده‌های حرارتی مربوط به دمای هوای ارتفاع دو متری سطح دریا و داده‌های مربوط به پایگاه اطلاعات آبسنگ‌های مرجانی. داده‌های حرارتی مورد استفاده در این تحقیق از که عبارت است از دمای سطح آب و دمای هوا در ارتفاع دو متری سطح آب، از پایگاه اقلیمی مرکز اروپایی پیش‌بینی‌های میان‌مدت هواشناسی (ECMWF) نسخه Era-Interim برای دوره آماری ۱۹۸۰-۲۰۱۵ به تفکیک ماهانه اخذ گردید. داده‌های دمای ارتفاع دو متری سطح آب نیز برای همان منطقه، از پایگاه داده مذکور با رزولوشن فضایی ۰/۱۲۵ درجه قوسی برای همان ماه‌ها اخذ گردید. داده‌های دمایی تنها برای دوره‌ای از سال که ریسک رخداد سفید شدگی وجود دارد یعنی دوره فوق گرم سال (ژوئن تا سپتامبر) مورد بررسی قرار گرفت.

جدول ۱: داده‌های مورد استفاده در تحقیق

دقت فضایی	منبع	
۰/۱۲۵ درجه قوسی	ECMWF-Era-Interim	دمای سطح آب (دوره پایه)
۰/۱۲۵ درجه قوسی	ECMWF-Era-Interim	دمای هوای ارتفاع دو متری (دوره پایه)
	NOAA	شاخص‌های دور پیوند مرکز تشخیص اقلیمی

در جدول ۲ شاخص‌های دور پیوند جوی اقیانوسی استفاده شده برای تحلیل همبستگی با دمای سطح آب و دمای هوای ارتفاع دو متری منطقه مورد مطالعه ارائه شده است، همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌گردد، ۳۴ شاخص دور پیوند جوی اقیانوسی مورد استفاده قرار گرفته است، که از این تعداد، ۱۵ شاخص مربوط به الگوی دور پیوند جوی اقیانوسی مادر جولیان و ۵ شاخص نیز مربوط به خانواده NINO ها بوده است. در مرحله بعد اقدام به آنالیز همبستگی بین این شاخص‌ها با دو فاکتور دخیل در رخداد سفیدشدگی آبسنگ‌های خلیج فارس، یعنی دمای سطح آب و دمای ارتفاع دو متری هوا گردید. از تحلیل همبستگی پیرسون، در سطح اطمینان ۰/۹۵ ( $P\_value=0.05$ )، استفاده شد. در مرحله بعد با آشکارسازی الگوهایی که در سطح اطمینان مذکور همبستگی بالایی با دمای سطح آب و دمای هوای منطقه داشتند، با استفاده از تحلیل چند متغیره T-student دوطرفه اقدام به بررسی ارتباط بین فازهای مختلف الگوی دور پیوندی که ارتباط معنی‌داری با رخداد‌های سفید شدگی منطقه نشان داد، گردید.

مرجان‌های خلیج فارس، در جریان ال نینوی نوسان جنوبی ۱۹۹۸ هم آسیب‌های کمتری دیده‌اند. هدف از این پژوهش بررسی تأثیر الگوهای کلان‌مقیاس جوی اقیانوسی بر روی ایجاد رخداد‌های سفید شدگی آبسنگ‌های خلیج فارس می‌باشد.

## ۲. مواد و روش‌ها

در شکل ۱ منطقه و جزایر مرجانی مورد مطالعه در شمال و جنوب خلیج فارس مشخص شده است. جزیره کیش در بخش شمالی خلیج فارس و جزایر شمالی امارات متحده عربی در بخش جنوبی خلیج فارس به عنوان نمونه‌های موردی جزایر مرجانی خلیج فارس در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته‌اند. این منطقه دارای آب‌وهوای نیمه حاره‌ای است که در اکثر فصول سال گرم و مرطوب می‌باشد. تابستان‌های آن داغ و رطوبت هوا گاهی به ۱۰۰٪ نیز می‌رسد و زمستان‌های آن ملایم است.



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه

دمای معمول آب در اطراف این جزایر (کیش و جزایر شمالی امارات متحده عربی) بین ۲۲ تا ۳۳ درجه سانتی‌گراد است در حالی که در تابستان‌های بسیار گرم این میزان به ۳۵ و گاهی بیشتر از آن هم می‌رسد. میانگین کمینه‌های دمای هوا در زمستان ۱۵ درجه و میانگین بیشینه‌های دمای هوا در تابستان ۳۸ درجه می‌باشد. مرجان‌های خلیج فارس، تا اندازه زیادی محدود به جزیره‌ها هستند. آبسنگ‌های مرجانی این منطقه عمدتاً از نوع حاشیه‌ای می‌باشد. سکونتگاه‌های مرجانی متعدد و گونه‌های مرجانی مانند "اکروپورا"، "پورایتس"، "فاویا"، "پلاتی جایرا" را می‌توان در این نواحی مشاهده کرد. همچنین در این محدوده

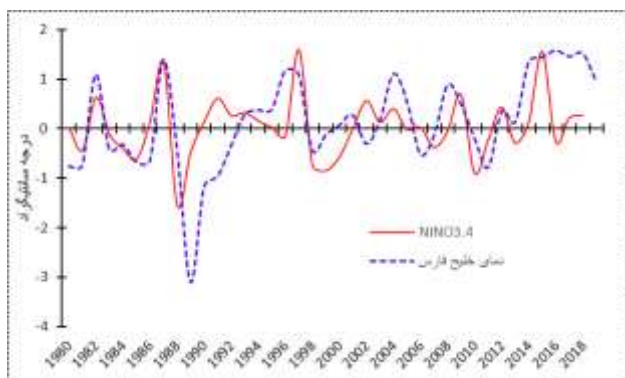


داد. در جدول ۳ میزان همبستگی دو شاخص دور پیوند AMO و NINO3.4 با دمای هوا و دمای سطح آب خلیج فارس طی ماه‌هایی که ریسک سفید شدگی آبسنگ‌های خلیج فارس به‌طور چشمگیری بالا می‌رود، ارائه شده است. همان‌طور که در این جدول دیده می‌شود، در همه ماه‌هایی که ریسک سفید شدگی به‌صورت قابل‌توجهی بالا است و اپیزودهای سفید شدگی در آن‌ها ثبت شده است، همبستگی معنی‌دار و بالایی بین دمای سطح دریا و دمای هوای منطقه مورد مطالعه (خلیج فارس) که مرجان‌های آن‌ها مدنظر این تحقیق است، با شاخص NINO3.4 و شاخص AMO مشاهده شده است.

جدول ۴: ماتریس همبستگی شاخص‌های دور پیوند جوی اقیانوسی مورد استفاده در این تحقیق با دو شاخص دمای هوا و دمای سطح دریا در طی ماه‌های رخداد سفید شدگی (ژوئن تا سپتامبر)

ضریب همبستگی R (در سطح اطمینان ۹۵ درصد)		شاخص‌های دور پیوندی جوی اقیانوسی	
NINO3.4	شاخص AMO	نام شاخص	۱
۴۷	0.41	ژوئن	دمای هوا
۴۶	0.45	جولای	
۴۱	0.39	اگوست	
۴۰	0.39	سپتامبر	دمای سطح آب
۴۵	0.46	ژوئن	
۴۹	0.39	جولای	
۴۸	0.39	اگوست	
۴۷	0.42	سپتامبر	

در نمودار شکل ۴ همبستگی سری زمانی بین ۱۹۸۰ و ۲۰۱۸ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، همبستگی یک نوع هماهنگی کامل و دقیق بین آنومالی‌های شاخص نوسان جنوبی در منطقه NINO3.4 با دمای سطح دریا در منطقه مورد مطالعه است.



شکل ۴: همبستگی بین شاخص NINO3.4 و آنومالی‌های دمای سطح دریا در سال‌های وقوع سفید شدگی در منطقه خلیج فارس طی دوره آماری ۱۹۸۰-۲۰۱۸

آمریکای شمالی و بخش‌های غرب و مرکز آسیا تحت تأثیر قرار می‌دهد.

جدول ۳: ماتریس همبستگی شاخص‌های دور پیوند جوی اقیانوسی مورد استفاده در این تحقیق با دو شاخص دمای هوا و دمای سطح دریا در طی ماه‌های رخداد سفید شدگی (ژوئن تا سپتامبر)

ضریب همبستگی R (در سطح اطمینان ۹۵ درصد)		شاخص‌های دور پیوندی جوی اقیانوسی	
ارتفاع دو متری	دمای سطح آب	نام شاخص	۱
*	*	الگوی غرب اقیانوس آرام	۲
*	*	الگوی اقیانوس آرام و شمال آمریکا	۳
*	*	نوسان‌های دهه‌ای اقیانوس آرام	۴
*	*	شاخص نوسان اطلس شمالی	۵
*	*	الگوی آرام شرقی	۶
*	*	الگوی شرق اطلس و غرب روسیه	۷
*	*	الگوی اطلس شرقی	۸
*	*	الگوی شمالگان	۹
**/-0.41	**/-0.44	نوسان چند دهه‌ای اقیانوس اطلس	۱۰
*	*	الگوی اسکاندیناوی	۱۱
*	*	الگوی انتقالی آرام	۱۲
*	*	نوسان رود باد نزدیک حاره‌ای شرق آرام	۱۳
*	*	شاخص نوسان جنوبی	۱۴
*	*	نینو ۴	۱۵
**/-0.۳۸۹	**/0.45	نینو ۳،۴	۱۶
*	*	نینو ۳	۱۷
*	*	نینو ۱،۲	۱۸
*	*	شاخص چند متغیره انسو	۱۹
*	*	الگوی دو قطبی اقیانوس هند	۲۰
*	*	الگوی قطب-اوراسیا	۲۱
*	*	الگوی مادن جولیان در منطقه اقیانوس آرام	۲۲
*	*	الگوی مادن جولیان در منطقه ۳ افریقا-هند	۲۳
*	*	نمایه فاز نوسان مادن جولیان	۲۴
*	*	نمایه شدت و دامنه نوسان مادن جولیان	۲۵
*	*	نوسان مادن جولیان در منطقه ۲۰ درجه شرقی	۲۶
*	*	نوسان مادن جولیان در منطقه ۷۰ درجه شرقی	۲۷
*	*	نوسان مادن جولیان در منطقه ۸۰ درجه شرقی	۲۸
*	*	نوسان مادن جولیان در منطقه ۱۰۰ درجه شرقی	۲۹
*	*	نوسان مادن جولیان در منطقه ۱۲۰ درجه شرقی	۳۰
*	*	نوسان مادن جولیان در منطقه ۱۴۰ درجه شرقی	۳۱
*	*	نوسان مادن جولیان در منطقه ۱۶۰ درجه شرقی	۳۲
*	*	نوسان مادن جولیان در منطقه ۱۲۰ درجه غربی	۳۳
*	*	نوسان مادن جولیان در منطقه ۴۰ درجه غربی	۳۴
*	*	نوسان مادن جولیان در منطقه ۱۰ درجه غربی	۳۵

منطقه NINO3.4 که در اقیانوس آرام استوایی (۵ درجه عرض شمالی و جنوبی) در طول‌های ۱۸۵ درجه شرقی تا ۱۲۰ درجه شرقی قرار گرفته است. این شاخص نوسان جنوبی که در واقع از تفاوت میانگین دمای این بخش از اقیانوس آرام استوایی با میانگین دمای بلندمدت سطح آب همین بخش از اقیانوس، به‌دست آمده است، همبستگی معنی‌داری با فراوانی رخداد‌های سری زمانی اپیزودهای سفید شدگی مرجان‌های خلیج فارس نشان

در نمودار شکل ۵ نیز همان‌طور که مشاهده می‌گردد، شاخص چند دهه‌ای اقیانوس اطلس AMO نیز همبستگی قابل توجهی با نوسانات دمای سطح آب خلیج فارس ارائه کرده است. در فاز مثبت این شاخص که از سال ۲۰۰۰ آغاز شده است و تاکنون نیز ادامه دارد (داده‌های شاخص مذکور تا سال ۲۰۱۴ در دسترس بوده است)، میانگین دمای اقیانوس اطلس شمالی بالاتر از میانگین بلندمدت است، هم‌زمان در این دوره میانگین دمای سطح آب خلیج فارس به طور متوسط ۱/۲ درجه بالاتر از دوره‌ای بوده است که فاز منفی این شاخص حاکم بوده است.

جدول ۵: میانگین دمای سطح آب خلیج فارس (ژوئن تا سپتامبر) در دوره‌های با حاکمیت فازهای مثبت و منفی دو شاخص NINO3.4 و AMO

شاخص‌های دوره پیوند	فازهای دو شاخص	میانگین دمای تابستان (ماه‌های ژوئن تا سپتامبر) - درجه سلسیوس	آماره معنی‌داری T-student اختلاف
AMO	فاز مثبت	۳۳/۴	Sig=0.002
	فاز منفی	۳۰/۱	
NINO3.4	فاز مثبت	۳۲/۱	Sig=0.04
	فاز منفی	۳۰/۵	

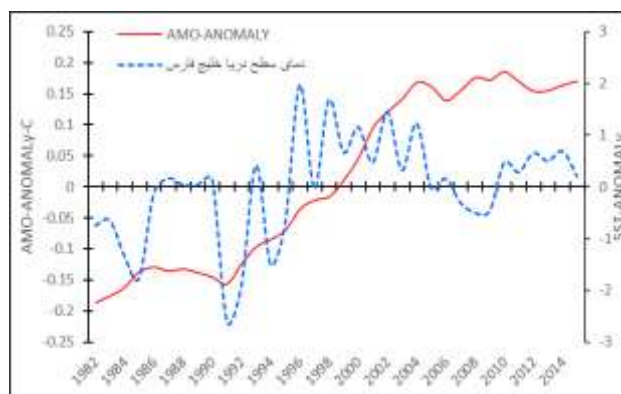
در جدول ۶ توزیع فراوانی رکوردهای سفید شدگی در آبسنگ‌های مرجانی جزایر خلیج فارس طی دوره آماری ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۷ ارائه شده است.

جدول ۶: فراوانی رکوردهای سفید شدگی آبسنگ‌های مرجانی خلیج فارس در دوره‌های با حاکمیت فازهای مثبت و منفی دو شاخص NINO3.4 و AMO

سال ثبت شدگی آبسنگ‌های مرجانی خلیج فارس	شمال خلیج فارس	جنوب خلیج فارس	AMO	NINO3.4
۱۹۹۶	جزیره کیش	ابوظبی	فاز مثبت	خنثی
۱۹۹۸	جزیره کیش	ابوظبی	فاز مثبت	فاز منفی
۱۹۹۹	جزیره کیش	-	فاز مثبت	فاز منفی
۲۰۰۲	جزیره کیش	جبل علی (امارات)	فاز مثبت	فاز مثبت
۲۰۰۷	جزیره کیش	ابوظبی	فاز مثبت	خنثی
۲۰۰۹	-	دبی	فاز مثبت	فاز مثبت
۲۰۱۰	-	ابوظبی	فاز مثبت	فاز مثبت
۲۰۱۱	-	ابوظبی	فاز مثبت	فاز منفی
۲۰۱۲	جزیره کیش	ابوظبی	فاز مثبت	فاز مثبت
۲۰۱۵	جزیره کیش	-	فاز مثبت	فاز مثبت
۲۰۱۶	جزیره کیش	امارات	فاز مثبت	فاز مثبت
۲۰۱۷	جزیره کیش	امارات	فاز مثبت	فاز مثبت

همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌گردد، طی این دوره آماری ۲۱ ساله، ۱۲ رخداد سفید شدگی در خلیج فارس ثبت شده است که از این تعداد رخداد سفید شدگی ۳ رخداد مربوط به سال‌های قبل از ۲۰۰۰ و ۹ رخداد سفید شدگی نیز بعد از سال ۲۰۰۰ ثبت شده است. غالب این رخدادهای سفید شدگی فراگیر بوده است و هم در شمال خلیج فارس (جزیره کیش) و هم در جزایر جنوب خلیج فارس (جزایر امارات متحده) ثبت شده است.

شکل ۵: همبستگی بین شاخص AMO و آنومالی‌های دمای سطح دریا در سال‌های وقوع سفید شدگی در منطقه خلیج فارس طی دوره آماری ۱۹۸۰-۲۰۱۴



شکل ۵: همبستگی بین شاخص AMO و آنومالی‌های دمای سطح دریا در سال‌های وقوع سفید شدگی در منطقه خلیج فارس طی دوره آماری ۱۹۸۰-۲۰۱۴

بعد از آشکارسازی ارتباط بین دو شاخص دور پیوند AMO و NINO3.4، اقدام به تفکیک فازهای مثبت و منفی این دو شاخص گردید و ویژگی‌های دمایی خلیج فارس در این دو فاز مورد بررسی قرار گرفت. همان‌طور که مشاهده می‌گردد، دو فاز اصلی یا عمده در ارتباط با شاخص NINO3.4 و AMO قابل تصور است. میانگین دمای سطح آب خلیج فارس در فازهای مثبت و منفی شاخص نوسان چند دهه‌ای اقیانوس اطلس (AMO) به ترتیب برابر ۳۳/۴ و ۳۰/۱ درجه سانتی‌گراد بوده است که گویای آن است اختلاف دمای سطح آب خلیج فارس در دو فاز مذکور برابر ۳/۳ درجه سلسیوس بوده است که این اختلاف بر اساس آماره معنی‌داری آزمون T-student در سطح اطمینان ۹۵ درصد (P\_value=0.05) معنی‌دار بوده است (Sig=0.002). در مورد شاخص NINO3.4 نتایج مشابهی به دست آمد. همان‌طور که در جدول ۴ دیده می‌شود، میانگین دمای سطح آب خلیج فارس در فاز منفی این شاخص برابر ۳۰/۵ درجه سلسیوس و در فاز مثبت برابر ۳۲/۱ درجه سلسیوس بوده است که گویای ۱/۶ درجه

NINO3.4 به نوسانات دمایی سطح اقیانوس آرام حاره‌ای اختصاص دارد. نوسان‌های چند دهه‌ای اقیانوس اطلس (AMO) و نوسان دمای سطح آب دریا در منطقه NINO3.4، از پدیده‌های بزرگ‌مقیاس اقیانوسی می‌باشند که تا اندازه زیادی با نوسان‌های آب و هوایی و اقلیمی پهنه‌های گرمسیری و فرا گرمسیری در پیوند می‌باشند. این دو پدیده با دوره‌های نوسان دمای سطح آب پهنه اقیانوس‌های اطلس و آرام حاره‌ای شناخته می‌شوند. به‌گونه‌ای که پدیده نوسان‌های چند دهه‌ای اقیانوس اطلس، با نوسان‌های دمای سطح آب گستره‌های شمالی اقیانوس اطلس در بازه زمانی ۲۰-۴۰ سال و پدیده NINO3.4 با نوسان‌های دمای سطح آب گستره‌های گرمسیری اقیانوس آرام در بازه زمانی زیر سالانه در پیوند می‌باشند. نتایج حاصل از تحلیل همبستگی بین دمای سطح آب خلیج فارس که در واقع مهم‌ترین متغیر دخیل در رخداد سفید شدگی آبسنگ‌های مرجانی و مرگ‌ومیر مرجان‌ها است، نشان داد که تغییرات دمایی این منطقه، وابستگی بسیار نزدیکی با دو شاخص دور پیوند مذکور دارد. فازهای مثبت این دو شاخص توأم با دماهای بالاتری در دوره‌هایی ریسک رخداد سفید شدگی در خلیج فارس بوده‌اند. نتایج حاصل از تحلیل دمای سطح آب در خلیج فارس بیانگر آن بود در فاز مثبت AMO میانگین دمای ماهانه سطح آب خلیج فارس در دوره‌ای که ریسک سفید شدگی وجود دارد (ماه‌های ژوئن تا سپتامبر) طور متوسط برابر ۳۳/۴ درجه سلسیوس بوده است در حالی که در فاز منفی این شاخص میانگین دمای سطح آب همین منطقه (طی ماه‌های ژوئن تا سپتامبر) ۳۰/۱ درجه سلسیوس بوده است. در مورد ارتباط بین دمای سطح آب خلیج فارس در دوره‌ای که ریسک سفید شدگی وجود دارد یعنی دوره ۴ ماهه ژوئن تا سپتامبر، با شاخص NINO3.4 نیز الگوی مشابهی آشکار گردید. در این مورد نیز نتایج بیانگر آن بود که در فازهای مثبت شاخص NINO3.4 میانگین دمای سطح آب خلیج فارس در دوره مذکور، ۱/۶ درجه سلسیوس بالاتر از دوره با حاکمیت فاز منفی این شاخص بوده است. بنابراین به‌طور کلی این دو شاخص دور پیوند یعنی AMO و NINO3.4، با تأثیرگذاری معنی‌داری که بر روی دمای سطح آب خلیج فارس در دوره گرم سال داشته‌اند، می‌توانند تنش‌های مخاطره‌آمیز حرارتی برای آبسنگ‌های مرجانی منطقه ایجاد کنند. استرس‌های حرارتی ناشی از افزایش دمای سطح آب نسبت به آستانه تحمل مرجان‌ها، می‌تواند منجر به ایجاد یک رخداد سفید شدگی عمومی یا محلی شود. برای تأیید این همبستگی بین

همان‌طور که در جدول ۷ ارائه می‌شود، تمامی رخداد‌های ثبت‌شده سفید شدگی در آبسنگ‌های مرجانی خلیج فارس، در فاز مثبت شاخص دور پیوند چند دهه‌ای اقیانوس اطلس، ارائه شده است. از لحاظ شاخص NINO3.4، ۷ رکورد سفید شدگی آبسنگ‌های مرجانی خلیج فارس در فازهای مثبت NINO3.4 بوده است در حالی که در فاز منفی این شاخص دور پیوند تنها ۳ رکورد سفید شدگی در آبسنگ‌های مرجانی ثبت شده است.

#### ۴. بحث و نتیجه‌گیری

در دهه‌های اخیر روند نابودی و مرگ‌ومیر آبسنگ‌های مرجانی ناشی از مجموعه‌ای از عوامل طبیعی و انسانی تسریع و تشدید شده است. در این میان نقش گرمایش جهانی بر ایجاد و تسریع فرایند مرگ‌ومیر مرجان‌ها، بسیار مهم است. افزایش دمای آب‌ها، باعث ایجاد استرس‌های حرارتی کشنده‌ای به آبسنگ‌های مرجانی می‌شود. این استرس‌های حرارتی در صورت تداوم در ابتدا باعث آغاز فرایند سفید شدگی و در صورت تداوم باعث مرگ مرجان خواهد شد. تغییرات ویژگی‌های آب و هوایی دارای ابعاد متفاوتی است. نوسانات فصلی و تغییرات درون سالی شرایط دمایی که یک نوع سیکل سالانه به شمار می‌رود، مخاطره‌ای اساسی برای آبسنگ‌های مرجانی به شمار نمی‌رود چون آن‌ها توانایی زیست در این شرایط را داشته و با این وضعیت سازگاری پیدا کرده‌اند. اما تغییرات دوره‌ای در مقیاس بین سالی تا دهه‌ای می‌توانند، مخاطرات اساسی برای آبسنگ‌های مرجانی ایجاد کرده و منجر به ایجاد رخداد‌های سفید شدگی و مرگ‌ومیر آن‌ها شوند. الگوهای دور پیوند کلان‌مقیاس جوی اقیانوسی یکی از مهم‌ترین عوامل مداخله‌گر در ایجاد نوسانات اقلیمی دوره‌ای در هر منطقه‌ای هستند. این الگوها، می‌توانند دما و بارش مناطقی بسیار دورتر از کانون فعالیت خود را متأثر ساخته و تبعات متعددی به بار آورند. در این تحقیق مشاهده گردید که آنومالی‌های دمای سطح دریا در منطقه خلیج فارس که محل تمرکز یکی از کلنی‌های آبسنگ‌های مرجانی مهم جهان است، از بین ۳۵ شاخص دور پیوند، با دو شاخص دور پیوند NINO3.4 و شاخص نوسان چند دهه‌ای اقیانوس اطلس AMO همبستگی معنی‌داری دارد. وجه مشترک این دو شاخص‌ها این است که هر دو آن‌ها مربوط به تغییرات دمایی سطح اقیانوس هستند که شاخص AMO به نوسانات دمایی اقیانوس اطلس و شاخص



Chambault P., Moesgaard ., Toby A., Rikke G., Tervo O., Laidre K.L., Peter H.M., (2018), Sea surface temperature predicts the movements of an Arctic cetacean: the bowhead whale, *Scientific Reports* 8: 70-86

Coles, S.L., And Riegl, B.M., 2013. Thermal tolerances of reef corals in the Gulf: A review of the potential for increasing coral survival and adaptation to climate change through assisted translocation. *Mar. Pollut. Bull.* 72: 323-332

Donner, S., Heron, S., Skirving, W., 2009. Future scenarios: a review of modeling efforts to predict the future of coral reefs in an era of climate change. In: van Oppen MJH, Lough JM, editors. *Coral Bleaching*. Berlin: Springer, *Ecol Stud* 205: 159–173.

Goudie, D., 2005. Sustainability planning: pushing against institutional barriers. In: Tiezzi, E., Brebbia, C.A., Jorgensen, S.E., and Almorza Gomar, D., (eds.) *Ecosystems and Sustainable Development V*. WIT Transactions on Ecology and the Environment, WIT Press, Southhampton, UK: 215-224.

Kabiri, K., Moradi, M., 2014. Historical Remotely Sensed Sea Surface Temperature Data for Prediction of Coral Bleaching Event in Kish Island, the Persian Gulf. *Journal of the Persian Gulf*, 5: 50-55

Kavousi, J., Tavakoli-Kolour, P., Mohammadzadeh, M., Bahrami, A., Barkhordari, A., 2014. Mass coral bleaching in the northern Persian Gulf, 2012. *Scientia Marina* 78: 397-404.

Lesser, M.P., 2011. Coral Bleaching: Causes and Mechanisms. In: Dubinsky Z., Stambler N. (eds), *Coral Reefs: an ecosystem in transition*. Springer Science, New York, pp. 405-419.

Li, Y., Lee, S-K., Muhling, BA., Lamkin, JT., Enfield, DB., 2012. Significant reduction of the Loop Current in the 21st century and its impact on the Gulf of Mexico. *Journal of Geophysical Research*, 117: 39-50.

افزایش دمای سطح آب خلیج فارس در فازهای مثبت این دو شاخص اقدام به تحلیل توزیع فراوانی رخدادهای سفید شدگی ثبت شده در مرجان‌های خلیج فارس، به تفکیک فازهای مثبت و منفی این دو شاخص دور پیوندی گردید. نتایج بیانگر آن بود که کلیه رخدادهای سفید شدگی ثبت شده در مرجان‌های خلیج فارس، در فاز مثبت شاخص نوسان چند دهه‌ای اقیانوس اطلس AMO بوده است. در مورد شاخص NINO3.4 نیز نتایج مشابه بود، از تعداد ۱۲ رخداد سفید شدگی ثبت شده از سال ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۷، ۷ رکورد سفید شدگی مرجان‌های خلیج فارس در فازهای مثبت NINO3.4 بوده است در حالی که در فاز منفی این شاخص دور پیوند تنها ۳ رکورد سفید شدگی در مرجان‌های خلیج فارس ثبت شده است.

## منابع

جاوید، پگاه، فرخی، ناصر، بختیاری زاده، محمد رضا، ۱۳۹۷، مروری بر اثر گرمایش جهانی بر سفیدشدگی اکوسیستم های مرجانی جهان و خلیج فارس، همایش ملی تغییر اقلیم و اکوسیستم های آبی.

Bajjouka T., Mouquetb P., Ropertc M., Quodd J., Ludovic H., Bigotf L., Le Dantecg, N., Delacourth C., Populus J., 2019. Detection of changes in shallow coral reefs status: Towards a spatial approach using hyperspectral and multispectral data, *Ecological Indicators* 96: 174–191

Baker, A.C., Glynn, P.W., Riegl, B., 2008. Climate change and coral reef bleaching: an ecological assessment of long-term impacts, recovery trends and future outlook. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 80: 435–471.

Berkelmans, R., Willis, B., 1999. Seasonal and local spatial patterns in the upper thermal limits of corals on the inshore Central Great Barrier Reef. *Coral Reefs* 18: 219-228.

Bruno, F., Elizabeth R., Kenneth, S., Cathie, A., Willis, Bette L., Harvell, C. Drew, Sweatman, Hugh, and Melendy, Amy M., 2007. Thermal stress and coral cover as drivers of coral disease outbreaks. *Public Library of Science Biology*, 5: 0001-0008.

- F., Baldwin, R., Bishop, J., Benzoni, F., Dutrieux, E., Dulvy, N., Durvasula, S., Jones, D., Loughland, R., Medio, D., Nithyanandan, M., Pilling, G., Polikarpov, I., Price, A., Purkis, S. Riegl, B. Saburova, M. Namin, K., Wilson O. And Zainal, K., 2010. "The Gulf: A Young Sea in Decline," *Marine Pollution Bulletin*, 60: 3-38.
- Wilkinson, C., 2008. *Status of Coral Reefs of the World: 2008 Global Coral Reef Monitoring Network and Reef and Rainforest Research Center*. Townsville, Australia. 296p.
- Francesco, P., Chenhao, X., Grace, O., Vaughan, J. A., 2019. Coral bleaching in the Persian/Arabian Gulf is modulated by summer winds, *Journal Frontiers in Marine Science*, 6:1-15
- Pramanik, M., 2015, *Climate Change and Sea Surface Temperature: Modelling the Effects on Coral Bleaching*, *Journal of Earth Science & Climatic Change*, 2:5-9
- Rezai, H., Samimi, K., Kabiri, K., Kamrani, E., Jalili, M., Mokhtari, M., 2010. Distribution and abundance of the corals around Hengam and Farurgan islands, the Persian Gulf. *Journal of the Persian Gulf* 1: 7-16.
- Riegl, B.M., Purkis, S.J., 2012. Coral reefs of the gulf: Adaptation to climatic extremes in the world's hottest sea. *Coral Reefs of the Gulf*, pp. 1-4.
- Riegl, B.M., Purkis, S.J., Al-Cibahy, A.S., Abdel-Moati, M.A., Hoegh-Guldberg, O., 2011. Present limits to heat-adaptability in corals and population-level responses to climate extremes. *PLoS* 6: 70-82
- Sheppard, C., Al-Husiani, M., Al-Jamali, F., Al-Yamani,