

تحلیلی از ویژگی‌های مخاطره توفان‌های حاره‌ای مؤثر بر سواحل جنوبی ایران

یوسف قویدل رحیمی^{۱*}، اسماعیل عباسی^۲، منوچهر فرج‌زاده^۳

۱. دانشیار اقلیم‌شناسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۲. استادیار گروه محیط زیست، پژوهشکده خلیج فارس، دانشگاه خلیج فارس، ایران

۳. استاد اقلیم‌شناسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

پذیرش: ۹۵/۸/۱۵

دریافت: ۹۵/۵/۱۶

چکیده

حدوث وقایع فرین اقلیمی از جمله توفان‌های حاره‌ای سالانه مخاطرات جبران‌ناپذیری را در مناطق تحت سیطره خود بر جای می‌گذارد. شناخت این وقایع و علم به زمان رخداد آن‌ها می‌تواند در مدیریت حوادث غیرمترقبه ناشی از آن‌ها راه‌گشا باشد. هدف از انجام پژوهش حاضر بازساخت زمانی - مکانی توفان‌های حاره‌ای مؤثر بر سواحل جنوبی ایران است. داده‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل داده‌های بازتحلیل‌شده مرکز ملی پیش‌بینی محیطی آمریکا با تفکیک مکانی ۲ در ۲ درجه در سال‌های ۱۸۷۱-۲۰۱۲ و همچنین داده‌های مربوط به پایگاه ECMWF با قدرت تفکیک مکانی یک درجه است؛ نتایج نشان داد از نظر فراوانی زمانی در طی سال‌های ۱۸۷۱-۲۰۱۵ در مجموع ۳۰ توفان حاره‌ای سواحل جنوبی ایران را به صورت مستقیم و یا غیرمستقیم تحت تأثیر قرار داده است. بیشترین فراوانی ماهانه مربوط به ماه ژوئن با ۲۱ رخداد و پس از آن ماه ژوئیه با هفت مورد است. از نظر فراوانی مکانی تمامی توفان‌های شناسایی شده دریای عرب و عرض‌های تقریبی ۱۵ درجه شمالی را جهت تکوین و در نهایت توسعه خود برگزیده‌اند و بیشترین تعداد رخداد توفان که در ماه ژوئن اتفاق افتاده است از نظر حرکت و جابه‌جایی مسیر جنوب شرق-شمال غرب را انتخاب کرده‌اند.

واژگان کلیدی: توفان‌های حاره‌ای، فراوانی زمانی-مکانی، شاخص‌های ناپایداری، سواحل جنوبی ایران، دریای عرب

* نویسنده ی مسئول مقاله:



۱. مقدمه

چرخندهای حاره‌ای، فرایندهای آشفته‌گی طبیعی مهم در اکوسیستم‌های حاره و عرض‌های میانه در برخی از نواحی جهان است (1345Luja and Rodríguez-Estrella, 2010). چرخند حاره‌ای یک سیستم کم‌فشار با یک هسته گرم است که بر آب‌های حاره و جنب حاره شکل می‌گیرد (Roy and Kovordányi, 2012:41). جهت داشتن شرایط یک چرخند حاره‌ای، حداکثر سرعت باد درون سامانه کم‌فشار باید بیشتر از ۳۲ متر بر ثانیه باشد. با این وجود حدود ۸۰٪ از توفان‌های حاره‌ای که بر اقیانوس‌های حاره‌ای شکل می‌گیرند، سالانه تقریباً ۶۰٪ از آن‌ها به سرعت و شرایط چرخندها می‌رسند (امانوئل، ۱۹۹۱:۱۸۰). مدارک و شواهد نشان می‌دهد که چرخندهای شدید به طور قابل توجهی در دهه‌های اخیر افزایش یافته است و این روند احتمالاً ادامه خواهد یافت (لین و همکاران، ۲۰۱۳:۳۷۲). اشکال عمومی استخراج شده از داده‌های دوباره تحلیل شده، یک جابه‌جایی قطب‌سو در مکان حرکت توفان‌ها و افزایش شدت توفان‌ها و یک کاهش در مجموع تعداد آن‌ها در نیمکره جنوبی (سیموندز^۱ و کی^۲، ۲۰۰۰:۵۵۱) و در نیمکره شمالی (گولو^۳ و همکاران، ۲۰۰۱:۷۶۹) را نشان می‌دهد. افزایش اخیر دمای سطح دریا به نظر می‌رسد عاملی برای افزایش شدت (ویستر^۴ و همکاران، ۲۰۰۵:۱۸۴۴) و قدرت تخریبی بالقوه توفان‌های حاره‌ای در ۳۵ سال اخیر باشد (ایمانوئل، ۲۰۰۵:۸۶۶). شدت بالقوه چرخندهای حاره‌ای با گرمایش جهانی افزایش قابل ملاحظه‌ای می‌یابند (یان و همکاران، ۲۰۱۲:۴۶). اثرات چرخندهای حاره‌ای شامل نیروی تخریبی باد، امواج حاصل از توفان و سیلاب‌های عظیم که اغلب تأثیرات ویرانگر دارند را شامل می‌شود (کینگ و همکاران، ۲۰۱۰:۴۰۶) و در واقع چرخندهای حاره‌ای فجایع طبیعی است که بخش مهمی از خسارت، صدمات و بی‌خانمانی مخاطرات طبیعی را شکل می‌دهند (وانگ، ۲۰۰۸:۴۱۷). برای نمونه در توفان کاترینا بیش از ۱۸۰۰ نفر کشته شدند و هزینه‌ای بالغ بر ۸۰ میلیارد دلار به بار آورد (فرانک، ۲۰۱۲:۲). در میان توفان‌های ثبت‌شده در دریای عرب توفان گونو با چهار میلیارد دلار خسارت بیشترین خسارت را به سواحل عمان وارد کرده است (بلونت^۵ و همکاران، ۲۰۱۰:۲۰۷). همین‌طور توفان فت یکی دیگر از مخرب‌ترین توفان‌های حاره‌ای است که به

۱. Simmonds

۲. Keay

۳. Gulev

۴. Webster

۵. Blount

دریای عمان وارد شده و کشورهای واقع در حاشیه دریای یادشده را تحت تأثیر خود قرار داده است (قویدل و همکاران، ۲۰۱۵: ۳۴۸). در سال ۲۰۱۰ در مطالعه‌ای با عنوان اقلیم‌شناسی شدت چرخندهای حاره‌ای در اقیانوس هند شمالی طی دوره ۲۰۰۸-۱۹۸۰ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به این نتیجه رسیدند که تقریباً در طی یک دوره ۳۰ ساله، ۲۱ چرخند در رده ۳ یا بیشتر در این منطقه و در این میان پنج چرخند در دریای عرب شکل گرفته است (هواراو^۱ و چالنگ^۲، ۲۰۱۰: ۴). به طور میانگین هر ساله یک تا دو چرخند حاره‌ای بر دریای عرب شکل می‌گیرد و تعداد کمی از این توفان‌ها شدید شده و در طبقه توفان‌های سوپر چرخندی و خیلی شدید طبقه‌بندی می‌شوند (رامپف^۳ و همکاران، ۲۰۰۷: ۴۷۶). مشاهدات کلیدی جهت تجزیه و تحلیل چرخندهای حاره‌ای و پیش‌بینی آن‌ها بر دارهای باد است (لی مارشال^۴، ۱۹۹۸: ۱۴۲). در چند مطالعه اخیر سه تا از مدل‌های جهانی افزایش و سه مدل دیگر کاهش را در پاسخ فراوانی چرخندهای حاره‌ای به گازهای گلخانه‌ای به‌عنوان عامل مسلط گرمایش اقلیمی نشان داده‌اند (ناتسون^۵، ۲۰۱۰: ۴۷). از سال ۱۹۷۲ تا ۱۹۸۱ تنها دو چرخند حاره‌ای قوی در اقیانوس هند شمالی (یکی در خلیج بنگال و دیگری در دریای عرب) شکل گرفته و به ترتیب این فراوانی به ۴ و در نهایت ۹ چرخند در دو دهه بعدی افزایش یافته است (سینگ^۶، ۲۰۱۰: ۵۲). دو الگو برای فراوانی رخداد توفان‌های حاره‌ای در اقیانوس هند شمالی وجود دارد؛ الگوی اول با فراوانی توفان‌های حاره‌ای از ۱۹۴۵-۱۹۷۶ با مجموع تعداد ۴۷۶ توفان و الگوی دوم با فراوانی توفان کمتر، از سال ۱۹۷۷ به بعد است. تعداد توفان‌های حاره‌ای در اقیانوس هند شمالی در طی فاز سرد (۱۹۴۵-۱۹۷۶) ۴۷۶ توفان در حالی که تعداد کل توفان‌ها در طی فاز گرم (۱۹۷۷-۲۰۰۸) ۱۶۲ توفان است؛ چرخند گونو به عنوان قدرت‌مندترین چرخند در طی سالیان اخیر در دریای عرب شناخته شده است (پیونتکووسکی^۷ و ال‌ازیر^۸، ۲۰۱۰: ۳۳۹). شناخت مسیر چرخند و پیش‌بینی این‌که چرخند در چه جهتی حرکت خواهد کرد به‌عنوان یکی از مهم‌ترین توابع پیش‌بینی توسط بسیاری از سازمان‌های هواشناسی در سراسر جهان مورد

۱. Hoarau

۲. Chalonge

۳. Rumpf

۴. Le Marshall

۵. Knutson

۶. Singh

۷. Piontkovski

۸. Al-Azri



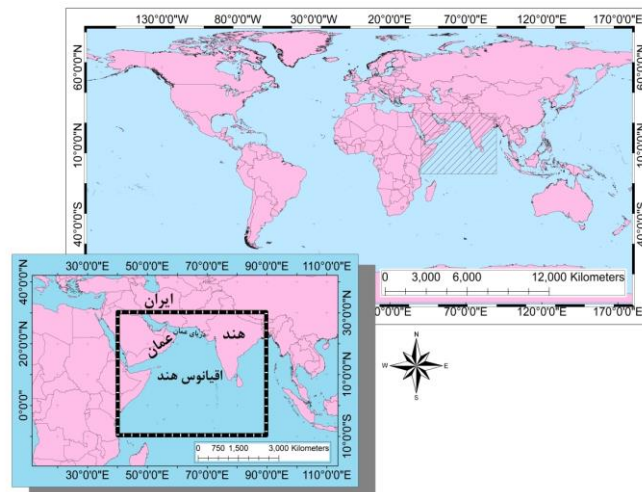
نظر قرار گرفته است (مک برید^۱ و هلند^۲، ۱۹۸۷: ۱۲۳۱). بررسی‌ها و شبیه‌سازی‌های انجام شده در خصوص افزایش دمای سطح آب در مناطق مختلف دنیا نشان داده که نرخ افزایش دمای سطح آب در منطقه خلیج فارس بحرانی بوده و براساس شبیه‌سازی‌های انجام یافته در آینده نچندان دور خلیج فارس از مراکز عمده پیدایش توفان‌های حاره‌ای سهمگین خواهد بود (لین و امانوئل، ۲۰۱۵: ۱). هدف از انجام مطالعه حاضر بررسی فراوانی زمانی- مکانی توفان‌های حاره‌ای مؤثر بر سواحل جنوبی ایران است.

۲. داده‌ها و روش‌ها

شکل ۱ پنجره تعریف شده با عرض ۱۰- درجه جنوبی تا ۳۰ درجه شمالی و ۴۰ درجه تا ۹۰ درجه شرقی را پوشش می‌دهد، ولی در این محدوده تعریف شده تنها به بررسی و واکاوی آن دسته از توفان‌های حاره‌ای که سواحل جنوبی ایران (دریای عمان) را تحت اثرات مخرب خود قرار داده‌اند، پرداخته شده است. جهت بازساخت و بررسی فراوانی زمانی- مکانی توفان‌های حاره‌ای مؤثر بر سواحل جنوبی ایران در مرحله اول اقدام به اخذ داده‌ها برای تعدادی از فراسنج‌های شاخص مانند ارتفاع ژئوپتانسیل، دمای سطح دریا، سرعت قائم، میزان انرژی در دسترس همرفت، شاخص بازداری همرفتی، فشار تراز دریا و تلاوایی نسبی جو شد که شامل داده‌های دوباره تحلیل شده مرکز ملی پیش‌بینی محیطی آمریکا با تفکیک مکانی ۲ در ۲ درجه و از تارنمای اینترنتی NCEP/NCAR قابل دسترسی است و یک دوره آماری (۱۴۲ ساله) از سال ۱۸۷۱-۲۰۱۲ را در برمی‌گیرد؛ همین‌طور داده‌های مورد استفاده به صورت چهار مشاهده‌ای در روز است.

۱. McBride

۲. Holland



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

درنهایت توفان‌های تأثیرگذار بر سواحل جنوبی پس از پردازش داده‌ها و ترسیم نقشه‌های جوی شناسایی شده و در ادامه اقدام به منشأیابی توفان‌های یادشده و مسیرهای ورود آنان به منطقه مطالعه شد. درواقع شناسایی رخداد توفان‌ها با استفاده از فراسنج‌های یادشده به روش دستی^۱ صورت گرفت؛ یعنی با ترسیم نقشه‌های جوی و در کنار هم قرار دادن آن‌ها و از طریق ناپایداری‌های ایجاد شده در زمان‌های خاص این توفان‌ها شناسایی گردید. ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ میلی‌بار نخستین مؤلفه یا فراسنجی که مورد پردازش قرار گرفت و به کمک این فراسنج نقشه‌های مربوط به پیچانه‌های جوی ترسیم و اقدام به مشخص کردن ناهنجاری‌های منفی تراز یادشده بر منطقه مطالعه شد. جهت تعیین مسیر توفان‌های شناسایی شده از نقشه‌های مربوط به پیچانه‌های جوی، فشار تراز دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل و فرارفت تاوایی تراز ۵۰۰ میلی‌بار و پوشش ابر استفاده گردید. این نقشه‌ها که در بازه‌های شش‌ساعته تهیه شده است با وارد کردن موقعیت مرکز پیچانه به محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی و سپس انطباق آن با سایر نقشه‌ها اقدام به مشخص کردن مسیر هر کدام از توفان‌های حاره‌ای شناسایی شده گردید.

۱. subjective Method



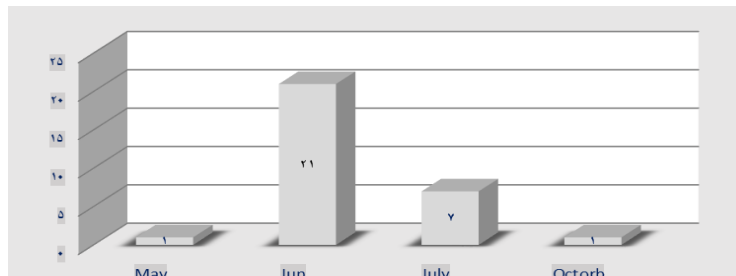
۳. نتایج

توفان‌های شناسایی‌شده توفان‌هایی هستند که از سال ۱۸۷۱-۲۰۱۲ سواحل جنوبی کشور را به صورت مستقیم (بارش‌های سنگین) یا غیرمستقیم (ایجاد امواج و مختل کردن فعالیت‌های بنادر و دریانوردی) تحت تأثیر مستقیم خود قرار داده‌اند. معیارشناسایی این توفان‌ها (۲۸ مورد آن نتایج بازساخت زمانی- مکانی از سال ۱۸۷۱-۲۰۱۲ است و دو مورد دیگر یعنی توفان آشوبا و نیلوفر حاصل رصد ماهواره‌ای است) مقایسه فراسنج‌های شاخص رخداد یک توفان حاره‌ای با وضعیت جو و شاخص‌های مورد بررسی در تمامی روزهای مورد بررسی به صورت ۶ ساعته از سال ۱۸۷۱ تا ۲۰۱۲ انجام گرفته است. فراسنج‌های یادشده شامل دمای سطح آب، پیچانه‌های جوی، میزان انرژی پتانسیل در دسترس همرفت، شاخص بازدارنده همرفت، تاوایی نسبی، سرعت قائم، سرعت باد و پوشش ابر است که جهت بازساخت آن‌ها اقدام به تعریف آستانه شاخص‌ها با توجه به مقادیر بحرانی هر شاخص در رخدادهای مشاهداتی (واقعی) شده است؛ بنابراین با بررسی این داده‌ها و شاخص‌های حاصل از آن‌ها از سال ۱۸۷۱-۲۰۱۲ در مواقعی که فراسنج‌های یادشده از مقادیر آستانه عبور کرده‌اند، توفان‌ها شناسایی و ثبت شده‌اند.

۴. تحلیل فراوانی زمانی

از نظر فراوانی زمانی در طی سال‌های ۱۸۷۱-۲۰۱۲ در مجموع ۲۸ توفان حاره‌ای سواحل جنوبی ایران را به صورت مستقیم و یا غیرمستقیم مورد تهدید قرار داده است. علاوه بر این دو توفان حاره‌ای دیگر که نسبت به سایر توفان‌ها تأثیرات غیرمستقیم و کمتری را بر مناطق واقع در سواحل جنوبی کشور ایران گذاشته‌اند و توسط ایستگاه‌های زمینی و ماهواره‌ها مورد رصد قرار گرفته‌اند، همین‌طور خارج از بازه زمانی مورد بررسی پژوهش حاضر نیز مورد مطالعه قرار گرفته است (توفان مورخ ۲۵-۳۱ اکتبر ۲۰۱۴ موسوم به توفان نیلوفر و توفان مورخ ۷-۱۲ ژوئن ۲۰۱۵ معروف به توفان آشوبا). از نظر فراوانی ماهانه وقوع توفان‌های حاره‌ای شناسایی شده بیشترین سهم را ماه ژوئن به خود اختصاص داده است. این در حالی است که مطالعات پیشین بیشترین فراوانی وقوع توفان‌های حاره‌ای را به طور کلی در حوضه اقیانوس هند شمالی اعم از دریای عرب و خلیج بنگال به ماه نوامبر دانسته‌اند؛ هر چند که باید یادآور شد از نظر تعداد وقوع توفان‌های حاره‌ای بیشترین سهم را در حوضه اقیانوس هند شمالی مربوط به خلیج بنگال و دریای عرب کمترین رخداد این مخاطره را داراست (شکل ۲).

ماه ژوئن با فراوانی ۲۱ توفان از ۳۰ توفان به وقوع پیوسته بالاترین فراوانی زمانی ماهانه را به خود اختصاص داده است. پس از ماه ژوئن از نظر فراوانی ماهانه وقوع توفان‌های حاره‌ای ماه ژوئیه با هفت توفان از ۳۰ توفان حاره‌ای شناسایی شده جایگاه دوم را کسب کرده است. ماه می و اکتبر هر یک با ثبت یک رخداد واقعه توفان کمترین آمار فراوانی را به خود اختصاص داده‌اند. مطالعات پیشین بر حوضه اقیانوس هند شمالی نیز ماه می را به‌عنوان ماه کمترین رخداد توفان حاره‌ای شناسایی کرده است. به نظر می‌رسد فصول انتقالی (بهار) در رخداد این فرین اقلیمی نقش به‌سزایی ایفا کرده باشد.



شکل ۲ فراوانی ماهانه توفان‌های حاره‌ای مؤثر بر سواحل جنوبی ایران (۱۸۷۱-۲۰۱۵)

فراوانی سالانه و روزانه توفان‌های حاره‌ای شناسایی شده مؤثر بر سواحل جنوبی ایران روند خاصی را از خود نشان نمی‌دهند و طولانی‌ترین بازه زمانی عدم وقوع توفان حاره‌ای در این پهنه مطالعاتی بین سال‌های ۱۹۵۴-۱۹۷۰ است که سال‌های بدون وقوع توفان حاره‌ای می‌توان نامید و بررسی‌ها نشان داد که در این برهه زمانی احتمالاً هیچ نوع توفان حاره‌ای که توانسته باشد سواحل جنوبی ایران را تهدید نماید به ثبت نرسیده است (جدول ۱).

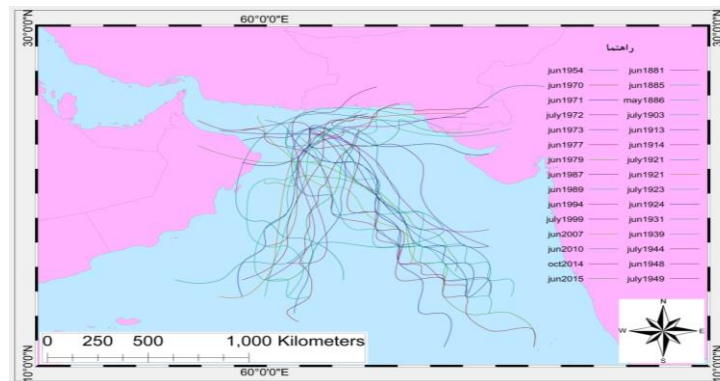
جدول ۱. فراوانی زمانی توفان‌های حاره‌ای مؤثر بر سواحل جنوبی ایران (عباسی، ۱۳۹۴: ۶۸)

مدت فعالیت	روز	ماه	سال	مدت فعالیت	روز	ماه	سال
۳	۸ تا ۱۰	Jun	۱۹۵۲	۵	۲۰ تا ۲۴	Jun	۱۸۸۱
۳	۱ تا ۳	Jun	۱۹۷۰	۶	۱۷ تا ۲۲	Jun	۱۸۸۵
۴	۱ تا ۴	Jun	۱۹۷۱	۳	۲۹ تا ۳۱	May	۱۸۸۶
۴	۱ تا ۴	July	۱۹۷۲	۳	۱۵ تا ۱۷	July	۱۹۰۳
۳	۸ تا ۱۰	Jun	۱۹۷۳	۹	۱ تا ۹	Jun	۱۹۱۳



۷	۱۰ تا ۱۶	Jun	۱۹۷۷	۳	۱۵ تا ۱۷	Jun	۱۹۱۴
۴	۱۷ تا ۲۰	Jun	۱۹۷۹	۷	۱۱ تا ۱۷	July	۱۹۲۱
۴	۹ تا ۱۶	Jun	۱۹۸۷	۹	۸ تا ۱۶	Jun	۱۹۲۱
۵	۹ تا ۱۳	Jun	۱۹۸۹	۳	۱۰ تا ۱۲	July	۱۹۲۳
۶	۷ تا ۱۲	Jun	۱۹۹۴	۵	۱۳ تا ۱۷	Jun	۱۹۲۴
۳	۶ تا ۸	July	۱۹۹۹	۴	۱۱ تا ۱۴	Jun	۱۹۳۱
۷	۱ تا ۷	Jun	۲۰۰۷	۷	۱۰ تا ۱۶	Jun	۱۹۳۹
۷	۱ تا ۷	Jun	۲۰۱۰	۹	۱ تا ۹	July	۱۹۴۴
۷	۲۵ تا ۳۱	Oct	۲۰۱۴	۴	۵ تا ۸	Jun	۱۹۴۸
۶	۷ تا ۱۲	Jun	۲۰۱۵	۳	۶ تا ۸	July	۱۹۴۹

به‌طور میانگین موقعیت مکانی شکل‌گیری و زایش توفان‌های حاره‌ای شناسایی‌شده در این حوضه مطالعاتی از نظر عرض جغرافیایی تقریباً عرض ۱۵ درجه شمالی، طول جغرافیایی به‌طور میانگین طول جغرافیایی ۶۰ و ۶۹ درجه شرقی است. تقریباً در این موقعیت جغرافیایی و یا احتمالاً کمی پایین‌تر از این موقعیت اغتشاشات حاره‌ای به‌عنوان ابتدایی‌ترین شکل و بنیه اولیه توفان حاره‌ای پی‌ریزی شده است. با توجه به چینش مناسب قائم باد افقی و واقع‌شدن در فاصله نسبتاً ایده‌آل نسبت به خط استوا جهت بهره‌گیری از اثرات نیروی کوریولیس، خمش‌های چرخندی لازم و همگرایی اولیه در مرکز کم‌فشار یا تاوه شکل‌گرفته بر سطح اقیانوس صورت می‌پذیرد؛ بنابراین موقعیت جغرافیایی یادشده از نظر عرض جغرافیایی جدای از موقعیت نصف‌النهار، جهت آغاز فعالیت توفان‌های حاره‌ای بسیار حیاتی است. عمده توفان‌های حاره‌ای شکل‌گرفته در ماه ژوئن از نظر موقعیت نصف‌النهار معمولاً نصف‌النهارات شرقی‌تر محدوده مورد مطالعه را برگزیده‌اند؛ در حالی که توفان‌های شکل‌گرفته در ماه ژوئیه از نظر موقعیت قرارگیری در نصف‌النهارات شرقی یا غربی منطقه مورد مطالعه سهمی تقریباً برابر را داراست (شکل ۳).



شکل ۳. موقعیت و مسیر حرکت ۳۰ توفان حاره‌ای شناسایی شده

۵. مسیر حرکت و جابه‌جایی عمومی توفان‌های حاره‌ای

مطالعات گذشته نشان داده‌اند که بیشتر مسیر حرکت توفان‌های حاره‌ای بر دریای عرب جنوب‌شرق- شمال‌غرب است. بررسی حاصل از این پژوهش نیز نشان داد که با توجه به بالاترین فراوانی زمانی ماهانه توفان‌های حاره‌ای مؤثر بر سواحل جنوبی ایران در ماه ژوئن و واقع شدن موقعیت زایش این توفان‌ها در نصف‌النهارات شرقی‌تر منطقه مورد مطالعه بیشتر مسیر حرکت و جابه‌جایی کلی این توفان‌های شناسایی شده نیز جنوب‌شرق- شمال‌غرب است. به طوری که از میان ۳۰ مورد توفان شناسایی شده ۱۵ مورد دارای چنین ویژگی است. به طور کلی توفان‌های حاره‌ای شناسایی شده چهار مسیر اصلی را جهت حرکت خود به شرح زیر انتخاب کرده‌اند.

- مسیر جنوب‌شرقی- شمال‌غربی با ۱۵ مورد فراوانی وقوع
- مسیر جنوبی- شمالی با ۴ مورد فراوانی وقوع
- مسیر جنوب‌غربی- شمال‌شرقی با ۷ مورد فراوانی وقوع
- مسیرهای کج و معوج (جنوب‌شرقی- شمال‌غربی- شمالی و در نهایت شمال شرقی با سه مورد فراوانی وقوع و مسیر جنوب‌غربی- شمال‌شرقی- شمالی و در نهایت شمال غربی با یک مورد فراوانی وقوع)

مسیرهای کلی توفان‌های حاره‌ای شناسایی شده در سه مورد نخست خلاصه می‌شود، ولی در تعدادی از آن‌ها به خصوص در روزهای پایانی فعالیت توفان معمولاً با تغییراتی در جهت خود همراه بوده که به اصطلاح به توفان‌های حاره‌ای با مسیر کج و معوج معروف است. این اتفاق بیشتر در توفان‌ها با مسیر جنوب شرق- شمال غرب رخ داده است. بدین

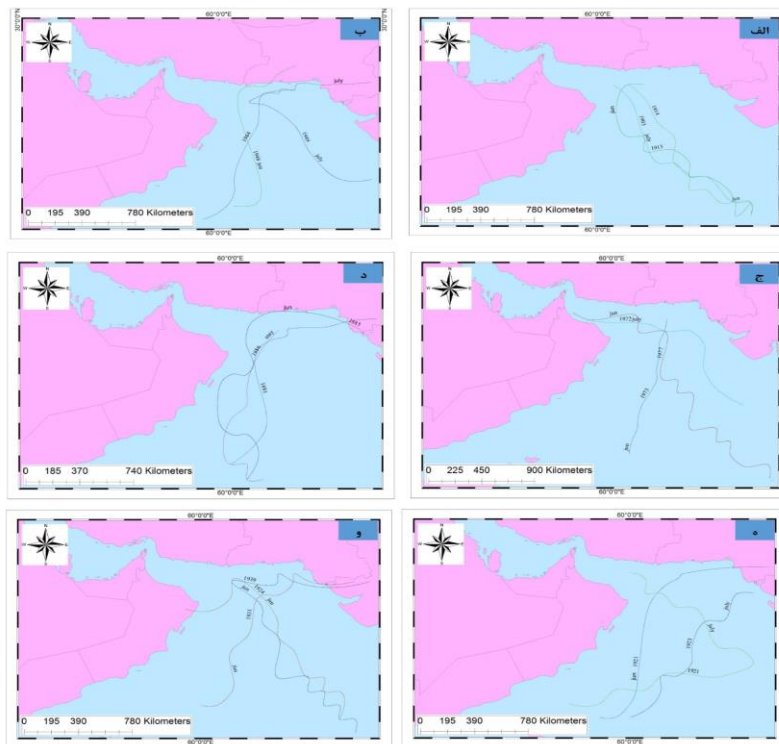


شرح که در ابتدا مسیر حرکت و جابه‌جایی آن‌ها جنوب‌شرق - شمال‌غرب بوده و سپس به سمت شمال تغییر مسیر داده و سرانجام با انحراف به سمت شمال‌شرق و با ورود به خشکی مضمحل گشته‌اند (توفان فت در ژوئن ۲۰۱۰ نمونه‌ای از این توفان‌ها با مسیر کج و معوج است).

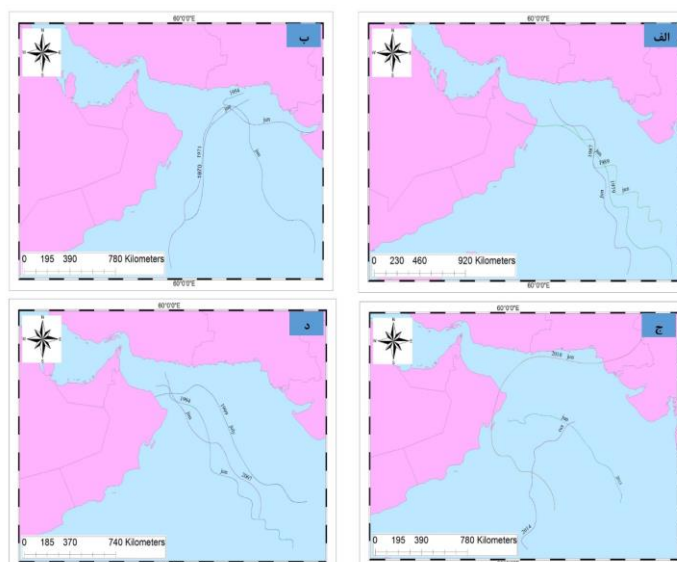
۶. منطقه اضمحلال توفان و نزدیک‌ترین موقعیت چشم توفان حاره‌ای

نسبت به سواحل جنوبی ایران

با توجه به اهمیت اثرگذاری توفان‌های حاره‌ای بر سواحل جنوبی کشور ایران تنها توفان‌های که به نظر می‌رسید چنین شرایطی را دارا بوده‌اند مورد رصد قرار گرفته‌اند؛ بنابراین هیچ یک از توفان‌های حاره‌ای شناسایی شده از این قاعده مستثنا نیست. با توجه به قطر متوسط توفان‌های حاره‌ای که حدود ۵۰۰ کیلومتر است تمامی توفان‌های شناسایی و مورد بررسی قرار گرفته وارد مرزهای آبی ایران شده و به صورت مستقیم (ورود به خشکی) و غیرمستقیم (ایجاد خیزاب، سیل و...) سواحل جنوبی ایران را تحت تأثیر مخاطرات ناشی از خود قرار داده است. بررسی‌ها نشان داد که در هیچ یک از توفان‌های حاره‌ای شناسایی شده چشم توفان وارد مرزهای خشکی ایران نشده است. شعاع ۲۵۰ کیلومتری این توفان‌ها عموماً به صورت مستقیم و غیرمستقیم منطقه مورد مطالعه را مورد هجوم خود قرار داده است (شکل‌های ۵.۴)



شکل ۴. مسیر حرکت ۱۸ توفان حاره‌ای



شکل ۵. مسیر حرکت ۱۲ توفان حاره‌ای

۶- بحث و نتیجه‌گیری

از نظر فراوانی زمانی در طی سال‌های ۱۸۷۱-۲۰۱۲ در مجموع ۲۸ توفان حاره‌ای سواحل جنوبی ایران را به صورت مستقیم و یا غیرمستقیم تحت تأثیر قرار داده است. علاوه بر این دو توفان حاره‌ای دیگر که نسبت به سایر توفان‌ها تأثیرات غیرمستقیم و کمتری را بر مناطق واقع در سواحل جنوبی کشور ایران گذاشته‌اند و توسط ایستگاه‌های زمینی و ماهواره‌ها مورد رصد قرار گرفته و در عین حال خارج از بازه زمانی مورد بررسی پژوهش حاضر نیز مورد مطالعه قرار گرفته است (توفان مورخ ۲۵-۳۱ اکتبر ۲۰۱۴ موسوم به توفان نیلوفر و توفان مورخ ۷-۱۲ ژوئن ۲۰۱۵ معروف به توفان آشوبا). آشکارسازی ۲۸ مورد توفان یادشده از این منظر مهم است که عموماً اقلیم‌شناسان ایران توفان حاره‌ای را از مخاطرات کم بسامد و جدید تلقی کرده‌اند و دلیل بارز آن مطالعات تک‌نگاری موجود در این زمینه است. از نظر فراوانی ماهانه وقوع توفان‌های حاره‌ای شناسایی شده بیشترین سهم را ماه ژوئن به خود اختصاص داده است. مطالعات پیشین بیشترین فراوانی وقوع توفان‌های حاره‌ای را به‌طور کلی در حوضه اقیانوس هند شمالی اعم از دریای عرب و خلیج بنگال به ماه نوامبر دانسته‌اند. از نظر تعداد وقوع توفان‌های حاره‌ای بیشترین سهم در حوضه اقیانوس هند شمالی مربوط به خلیج بنگال و دریای عرب کمترین رخداد این مخاطره را داراست. ماه ژوئن با فراوانی ۲۱ توفان از ۳۰ توفان به وقوع پیوسته بالاترین فراوانی زمانی ماهانه را به خود اختصاص داده است. پس از ماه ژوئن از نظر فراوانی ماهانه وقوع توفان‌های حاره‌ای ماه ژوئیه با هفت توفان از ۳۰ توفان حاره‌ای شناسایی‌شده جایگاه دوم را کسب کرده است. ماه می و اکتبر هر یک با ثبت یک رخداد واقعه توفان کمترین آمار فراوانی را به خود اختصاص داده است. مطالعات پیشین بر حوضه اقیانوس هند شمالی نیز ماه مه را به‌عنوان یک ماه با کمترین رخداد توفان حاره‌ای شناسایی کرده است. به نظر می‌رسد فصول انتقالی (بهار) در رخداد این فرین اقلیمی نقش به‌سزایی ایفا کرده باشد. فراوانی سالانه و روزانه توفان‌های حاره‌ای شناسایی‌شده مؤثر بر سواحل جنوبی ایران روند خاصی را از خود نشان نمی‌دهند و طولانی‌ترین بازه زمانی عدم وقوع توفان حاره‌ای در این پهنه مطالعاتی بین سال‌های ۱۹۵۴-۱۹۷۰ است که سال‌های بدون وقوع توفان حاره‌ای می‌توان نامید و بررسی‌ها نشان داد که در این برهه زمانی احتمالاً هیچ نوع توفان حاره‌ای که توانسته باشد سواحل جنوبی ایران را تهدید کند به ثبت نرسیده است.

فراوانی مکانی توفان‌های حاره‌ای مؤثر بر سواحل جنوبی ایران از سه جنبه منطقه زایش و شروع فعالیت توفان‌های حاره‌ای، مسیر حرکت و جابه‌جایی توفان‌های حاره‌ای و منطقه اضمحلال توفان و نزدیک‌ترین موقعیت چشم توفان حاره‌ای نسبت به سواحل جنوبی ایران که دارای اهمیت ویژه‌ای است، نشان داد که میانگین موقعیت مکانی شکل‌گیری و زایش توفان‌های حاره‌ای شناسایی شده در این حوضه مطالعاتی از نظر عرض جغرافیایی تقریباً عرض ۱۵ درجه شمالی است، ولی از نظر طول جغرافیایی به‌طور میانگین طول جغرافیایی ۶۰ و ۶۹ درجه شرقی است. تقریباً در این موقعیت جغرافیایی و شاید کمی پایین‌تر از این موقعیت اغتشاشات حاره‌ای به‌عنوان ابتدایی‌ترین شکل و بنیه اولیه توفان حاره‌ای پیریزی شده‌اند. با توجه به چینش مناسب قائم باد افقی و واقع‌شدن در فاصله نسبتاً ایده‌آل نسبت به خط استوا جهت بهره‌گیری از اثرات نیروی کوریولیس، خمش‌های چرخندی لازم و همگرایی اولیه در مرکز کم فشار یا تاوه شکل گرفته بر سطح اقیانوس صورت می‌پذیرد؛ بنابراین موقعیت جغرافیایی یادشده از نظر عرض جغرافیایی جدا از موقعیت نصف‌النهاری، جهت آغاز فعالیت توفان‌های حاره‌ای بسیار حیاتی است. عمده توفان‌های حاره‌ای شکل گرفته در ماه ژوئن از نظر موقعیت نصف‌النهاری معمولاً نصف‌النهارات شرقی‌تر محدوده مورد مطالعه را برگزیده‌اند؛ در حالی که توفان‌های شکل گرفته در ماه ژوئیه از نظر موقعیت قرارگیری در نصف‌النهارات شرقی یا غربی منطقه مورد مطالعه سهمی تقریباً برابر دارد. مطالعات گذشته نشان داده‌اند که بیشتر مسیر حرکت توفان‌های حاره‌ای بر دریای عرب جنوب‌شرق- شمال‌غرب است. بررسی‌های حاصل از این پژوهش نیز نشان داد که با توجه به بالاترین فراوانی زمانی ماهانه توفان‌های حاره‌ای مؤثر بر سواحل جنوبی ایران در ماه ژوئن و واقع شدن موقعیت زایش این توفان‌ها در نصف‌النهارات شرقی‌تر منطقه مورد مطالعه، عمدتاً مسیر حرکت و جابه‌جایی کلی این توفان‌های شناسایی شده نیز جنوب شرق- شمال غرب است؛ به طوری که از بین ۳۰ مورد توفان شناسایی شده ۱۵ مورد دارای چنین ویژگی است. توفان‌های حاره‌ای شناسایی شده چهار مسیر اصلی را جهت حرکت خود انتخاب کرده‌اند. با توجه به اهمیت اثرگذاری توفان‌های حاره‌ای بر سواحل جنوبی کشور ایران، تنها توفان‌هایی با چنین شرایطی مورد واکاوی قرار گرفته است؛ بنابراین هیچ یک از توفان‌های حاره‌ای شناسایی شده خارج از این قاعده نیست. با توجه به قطر متوسط توفان‌های حاره‌ای که حدود ۵۰۰ کیلومتر است تمامی توفان‌های شناسایی شده و مورد بررسی قرار گرفته وارد مرزهای آبی ایران شده و به صورت مستقیم (ورود به خشکی) و غیرمستقیم (ایجاد خیزاب، امواج و...) سواحل جنوبی ایران را تحت تأثیر مخاطرات ناشی از



خود قرار داده است. شعاع ۲۵۰ کیلومتری این توفان‌ها عموماً به صورت مستقیم و غیرمستقیم منطقه مورد مطالعه را مورد هجوم خود قرار داده است. براساس شبیه‌سازی‌های اخیر خلیج فارس یکی از مراکز مهم توفان‌های تندری در آینده تحت تأثیر تغییر اقلیم قلمداد شده است. با توجه به بازسازی زمانی- مکانی انجام شده به نظر می‌رسد که وقوع توفان‌های تندری در سواحل جنوبی ایران مسبوق به سابقه بوده و دلیل ناگاهی در این زمینه عدم ثبت یا فقدان داده‌های مربوط به کم و کیف وقوع توفان‌های حاره‌ای در منطقه مورد مطالعه است. این مطالعه از حیث این که سواحل جنوبی ایران دارای اهمیت اساسی اقتصادی- اجتماعی است و قطعاً مخاطره یادشده تبعات شدید اقتصادی- اجتماعی و زیست‌محیطی به همراه خواهد داشت، حائز اهمیت کاربردی ویژه قلمداد کرد.

۷. منابع

- عباسی، اسماعیل، بازساخت زمانی- مکانی توفان‌های حاره‌ای مؤثر بر سواحل جنوبی ایران، رساله دکتری، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۹۴.
- Abbasi, E., Reconstructison of temporal – Spatial of the tropical storms affecting the southeast coasts of Iran. Ph.D. Thesis. Tarbiat Modares University, 2015. [In Persian]
- Blount, C., Fritz, H. M & AL-Harthy, A. H. M., Coastal vulnerability assessment based on historic tropical cyclones in the Arabian Sea. *Indian Ocean Tropical Cyclones and Climate Change*. Springer, 2010.
- Emanuel, K. A., The theory of hurricanes. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 23, 179-196, 1991.
- Emanuel, K., Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years. *Nature*, 436, 686-688, 2005.
- Frank, J., The Impact of Hurricane Katrina on Gulf Coast Libraries and Their Disaster Planning, 2011.
- Ghavidel, Y., Abbasi, E. & Farajzadeh, M., Analysis of the effect of Tropical Cyclone Phet on the occurrence of heavy rainfall and floods in Chabahar, Iran. *Weather*, 70, 348-352, 2015.
- Gulev, S., Zolina, O. & Grigoriev, S., Extratropical cyclone variability in the Northern Hemisphere winter from the NCEP/NCAR reanalysis data, *Climate Dynamics*, 17, 795-809, 2001.
- Hoarau, K. & Chalonge, L., A Climatology of Intense Tropical Cyclones in the North Indian Ocean Over the Past Three Decades

(1980-2008). *Indian Ocean Tropical Cyclones and Climate Change*. Springer. 2010.

- King, D., Davidson, J. & Anderson-Berry, L., Disaster Mitigation and Societal Impacts. *Global Perspectives on Tropical Cyclones: From Science to Mitigation*, 4, 409, 2010.
- Knutson, T. R., Tropical Cyclones and Climate Change: An Indian Ocean Perspective. *Indian Ocean Tropical Cyclones and Climate Change*. Springer, pp 47-49, 2010.
- Le Marshall, J., Cloud and water vapour motion vectors in tropical cyclone track forecasting- a review. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 65, 141-151, 1998.
- Lin, C.-H., Hou, S.-K., Fuh-Yuan Shih, F. & Su, S., The Effect of Tropical Cyclones (Typhoons) on Emergency Department Visits. *The Journal of emergency medicine*, 45, 372-379, 2013
- Lin, N & K Emanuel, Grey swan tropical cyclones, *Nature Climate Change*, doi:10.1038/nclimate 2777, 2015.
- Luja, V. H. & Rodríguez-Estrella, R. 2010. Are tropical cyclones sources of natural selection? Observations on the abundance and behavior of frogs affected by extreme climatic events in the Baja California Peninsula, Mexico. *Journal of Arid Environments*, 74, 1345-1347.
- McBride, J. L. & Holland, G. J. 1987. Tropical-cyclone forecasting: A worldwide summary of techniques and verification statistics. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 68, 1230-1238.
- Piontkovski, S. & Al-Azri, A. 2010. Influence of a tropical cyclone Gonu on phytoplankton biomass (chlorophyll A) in the Arabian Sea. *Indian Ocean tropical cyclones and climate change*. Springer.
- Roy, C. & Kovordányi, R. 2012. Tropical cyclone track forecasting techniques—A review. *Atmospheric research*, 104, 40-69.
- Rumpf, J., Weindl, H., Höpfe, P., Rauch, E. & Schmidt, V. 2007. Stochastic modelling of tropical cyclone tracks. *Mathematical Methods of Operations Research*, 66, 475-490.
- Simmonds, I. & Keay, K. 2000. Variability of Southern Hemisphere extratropical cyclone behavior, 1958-97. *Journal of Climate*, 13, 550-561.
- Singh, O. 2010. Recent Trends in Tropical Cyclone Activity in the North Indian Ocean. *Indian Ocean Tropical Cyclones and Climate Change*. Springer.

- Wang, X., Wu, L., Ren, F., Wang, Y. & Li, W. 2008. Influences of tropical cyclones on China during 1965–2004. *Advances in Atmospheric Sciences*, 25, 417-426.
- Webster, P. J., Holland, G. J., Curry, J. A. & Chang, H.-R. 2005. Changes in tropical cyclone number, duration, and intensity in a warming environment. *Science*, 309, 1844-1846.
- Yan, Y., QI, Y. & Zhou, W. 2012. Variability of tropical cyclone occurrence date in the South China Sea and its relationship with SST warming. *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 55, 45-59.