

مقایسه تطبیقی چرخندهای حاره‌ای شمال دریای عرب و دریای عمان طی دهه اخیر (۲۰۱۵-۲۰۰۵)

فائزه شجاع - دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

محمود خسروی<sup>۱</sup> - دانشیار اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

علی‌اکبر شمسی‌پور - دانشیار اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۳/۱۴ تاریخ تصویب: ۱۳۹۵/۸/۵

### چکیده

طوفان‌های حاره از پدیده‌های مهم پیرامون خط استوا هستند که در نیمه گرم سال در نیمکره شمالی یا جنوبی ایجاد می‌شوند. این چرخندها با گذر از اقیانوس و تکیه بر منبع عظیم انرژی گرمایی نهان تبخیر، قدرت قابل توجهی می‌یابند و در مدت کوتاهی به یکی از مخرب‌ترین مخاطرات طبیعی تبدیل می‌شوند. هدف این مطالعه، مقایسه و تحلیل ساختاری چرخندهای دریای عرب و عمان به منظور بررسی نقش پارامترهای جوی، اقیانوسی در تعیین مسیر حرکت آنهاست. بدین منظور با استفاده از آمار موجود در مرکز مشترک اخطار طوفان، اطلاعات مربوط به چرخندها تهیه شد. همچنین با استفاده از داده‌های باز تحلیل پایگاه ECMWF متغیرهای فشار سطح دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال، دمای سطح ۱۰۰۰ هکتوپاسکال و دمای سطح دریا در محدوده ۵- تا ۴۰ درجه عرض شمالی و ۴۰ تا ۸۰ درجه طول شرقی برای مدت زمان حیات چرخند استخراج گردید. تولید و تحلیل نقشه‌ها نیز در محیط GRADS و ArcGis با استفاده از تغییرات آزیموت، روابط همبستگی و قوانین کشش و رانش انجام شد. نتایج نشان داد که در لحظه تشکیل، جهت حرکت همه چرخندها به‌غیر از گونو شمال غرب بوده و همبستگی قوی منفی بین دما و فشار سطح دریا در زمان شروع وجود داشته است. اما به‌جز چرخند گونو در سایر چرخندها زمان تغییر مسیر با زمان رسیدن آن به اوج، یکی نیست. تحلیل نقشه‌های فشار سطح دریا نیز نشان داد که مسیر حرکت چرخندهای مورد مطالعه از قوانین کشش و رانش پیروی کرده و حاکمیت پرفشارها در فصل سرد باعث شده چرخندهای نیلوفر و چاپالا نسبت به سایر، به سمت عرض-های بالا گسترش پیدا نکنند.

کلیدواژه‌ها: چرخندهای حاره، محدوده دریای عرب و عمان، تغییرات آزیموت، قوانین کشش و رانش.

## مقدمه

چرخندهای حاره از پدیده‌های مهم پیرامون خط استوا هستند که بر مناطق جنب حاره در دو نیمکره تأثیر می‌گذارند. این طوفان‌ها عموماً از اقیانوس‌ها و دریا‌های حاره‌ای، یعنی جایی که دمای سطح آب دریا حداقل ۲۷ درجه سلسیوس است منشأ می‌گیرند. تا سال ۲۰۰۶ بیشتر دانشمندان بر این باور بودند که سیکلون‌زایی در شمال اقیانوس هند قبل و بعد از مونسون اتفاق می‌افتد، اما توسعه غیرمعمول دو سیکلون گونو و یمین<sup>۱</sup> در ماه ژوئن ۲۰۰۷ نگرانی‌هایی را مبنی بر گرم شدن بیشتر دریای عرب نسبت به خلیج بنگال به وجود آورد به طوری که گونو را به یکی از قوی‌ترین چرخندهای رخ داده در دریای عرب تبدیل کرد (رانا<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۴: ۶۱). سفیر-سیمپسون<sup>۳</sup> برای طبقه‌بندی شدت سیکلون‌های حاره‌ای و هاریکن‌ها، مقیاسی را بر اساس پنج مقوله شدت ارائه کردند که عموماً از آن برای طبقه‌بندی خطر سیکلون‌ها استفاده می‌شود (خسروی و پودینه، ۱۳۸۹: ۶۶).

جدول ۱. شدت هاریکن‌ها بر اساس معیار سفیر سیمپسون

یک	دو	سه	چهار	پنج	طبقه
۴۲-۸۲	۸۳-۹۵	۹۶-۱۱۲	۱۱۳-۱۳۶	۱۳۷-۱۵۲	مقیاس فات
۱۱۹-۱۵۳	۱۵۴-۱۷۷	۱۷۸-۲۰۸	۲۰۹-۲۵۱	۲۵۲-۲۹۶	کیلومتر بر ساعت

پژوهش‌های صورت گرفته نشان می‌دهد با افزایش جهانی دمای سطحی آب دریاها، تعداد و شدت طوفان‌ها از سال ۱۹۷۰ افزایش یافته است (امانوئل<sup>۴</sup>، ۲۰۰۵). همچنین آمارها حاکی از آن است که هر سال افزون بر ۸۰ طوفان حاره‌ای در جهان روی می‌دهد (نئومان<sup>۵</sup>، ۱۹۹۳) که از این تعداد حدود ۷ درصد از آن‌ها در شمال اقیانوس هند (دریای عرب و خلیج بنگال) رخ داده و ۲ درصد فقط در منطقه دریای عرب تشکیل می‌شوند (سازمان هواشناسی جهانی، ۲۰۰۸). مهم‌ترین نگرانی دانشمندان هوا و اقلیم‌شناسی در سال‌های اخیر تغییرات اقلیمی ناشی از گرمایش کلی زمین و به تبع آن وضع آب‌وهوای دهه‌های آتی کره زمین است. به نظر می‌رسد که وقوع طوفان‌های حاره‌ای نوظهور (مثل طوفان گونو و فت) یکی از نشانه‌های تغییر اقلیم در محدوده اقیانوس هند و دریای عرب است (قویدل رحیمی، ۱۳۹۰: ۱۰۱). عموماً طوفان‌هایی که در دریای عرب تشکیل می‌شوند تمایل دارند که به سمت غرب (عمان) و شمال (پاکستان و هند) حرکت نمایند و به ندرت به دریای عمان وارد می‌شوند، آمار انتشار یافته توسط

1 yemyen  
2 Rana  
3 saffir- Simpson  
4 Emanuel  
5 Neumann

سازمان هواشناسی هند نشان می‌دهد که تعدادی از این طوفان‌های قوی وارد دریای عمان شده که می‌توانند سواحل ایران و عمان را تحت تأثیر خود قرار دهند (مشهدی و همکاران، ۱۳۹۲: ۳۸). به دلیل آثار شدید اقلیمی و اقتصادی - اجتماعی که چرخندهای حاره بر جای می‌گذارند، در نواحی مختلف دنیا پژوهش پیرامون این مسئله از اهمیت زیادی برخوردار بوده و مطالعات متعددی بر روی آن انجام گرفته است. عالم<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۰۳: ۱۱۱۹) چرخندهای منطقه خلیج بنگال را طی سال‌های ۱۹۷۴-۱۹۹۹ مورد مطالعه قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که این طوفان‌ها دونقطه اوج در ماه‌های می و نوامبر دارند. زو<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۰۷: ۱۵۲۳) فعالیت چرخندهای زمستانه را در شمال اقیانوس آرام در طول سال‌های ۱۹۵۸-۲۰۰۴ بررسی کردند. همچنین تحلیل سال‌به‌سال تغییرات در فرکانس چرخندهای حاره‌ای ماقبل مونسون حاکی از این است که در ماه می، شروع طوفان‌ها همراه با آغاز بادهای موسمی جنوب غربی بوده و در ماه نوامبر زمانی تشکیل می‌شوند که فشار سطح دریا در بخش بزرگی از خلیج بنگال بسیار بالا باشد (اوان<sup>۳</sup> و کامارگو<sup>۴</sup>، ۲۰۱۰: ۱۴۰). بررسی و مطالعه چرخندهای حاره‌ای منطقه بنگلادش نیز نشان داد که ۵ طوفان طی سال‌های ۱۹۸۱، ۱۹۸۸، ۱۹۹۸، ۱۹۹۹ و ۲۰۰۷ به ناحیه جنوب غربی بنگلادش اصابت کرده و ۵ طوفان دیگر در سال‌های ۱۹۹۱، ۱۹۹۲، ۱۹۹۵، ۱۹۹۷ و ۲۰۰۶ محدوده شمال و شمال شرق بنگلادش را تحت تأثیر قرار داده است (وحیدوزمان<sup>۵</sup>، ۲۰۱۱: ۵۳۰). در مطالعات دیگر، داره<sup>۶</sup> و مک برید<sup>۷</sup> (۲۰۱۱: ۳۷۹۸) همچنین می<sup>۸</sup> و پاسکورو<sup>۹</sup> (۲۰۱۳: ۳۷۴۵) تأثیرات دمای سطح دریا را در ارتباط با چرخندهای حاره مطالعه کردند.

در ایران تحقیقات انجام گرفته پیرامون چرخندهای حاره‌ای و ویژگی‌های آن‌ها اندک بوده و به ابعاد گوناگون آن‌ها پرداخته نشده است. از معدود مطالعات انجام گرفته در این زمینه می‌توان به پژوهش گلشنی و تائبی (۱۳۸۷: ۲۵) اشاره کرد که طوفان حاره‌ای گونو و امواج ناشی از آن را در دریای عمان مدل‌سازی کردند. همچنین خسروی و پودینه (۱۳۸۹: ۵۴) تأثیر اقلیمی چرخند حاره‌ای گونو بر جنوب شرق ایران را مطالعه کردند، نتایج حاصل از نقشه‌های ترکیبی نشان داد که با افزایش قدرت گونو، محور مراکز پرفشار جنب‌حاره‌ای در سطوح پایینی جو به سمت شرق و در سطوح میانی به سمت شمال جابه‌جاشده است و این جابجایی شرایط را برای همرفت شدید و بارش سنگین مهیا ساخته است از طرفی تغییرات در سمت و سرعت بادهای با تداوم، همزمان با فعالیت گونو بر روی منطقه، باعث تغییرات معنی‌داری در آن‌ها در مقایسه با شرایط نرمال اقلیمی گردیده است. لشکری و کیخسروی (۱۳۸۹: ۱) نیز با

1 Alam

2 Zhu

3 Evan

4 Camargo

5 Wahiduzzaman

6 Dare

7 McBride

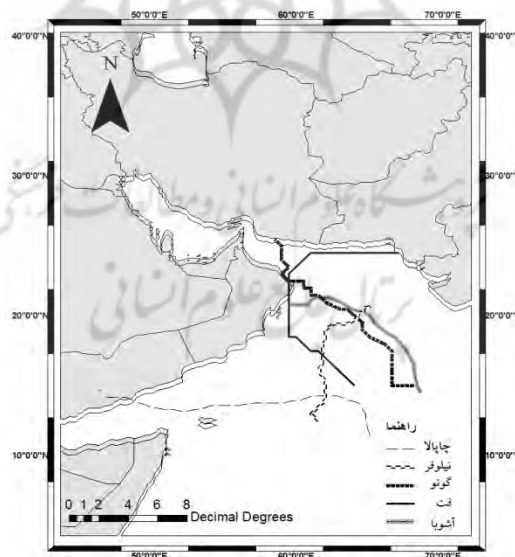
8 Mei

9 Pasquero

تحلیل سینوپتیکی طوفان گونو، اثرات آن را بر جنوب شرق ایران بررسی کردند. قویدل رحیمی (۱۳۹۰:۱۰۱) با استفاده از معادلات ترمودینامیک و نقشه‌های مربوطه، جریان رطوبت جو طی بارش فوق سنگین ناشی از طوفان حاره‌ای فت در سواحل چابهار را مورد تجزیه و تحلیل قرار داد. سلمانیان و همکاران (۱۳۹۱:۷۹) به بررسی و چگونگی پیدایش چرخند حاره‌ای فت و تعیین مسیر حرکت آن بر اساس قاعده کشش و رانش، به همراه اثرات آن بر دو فرا سنج بارش و دما پرداختند، نتایج نشان داد که حرکت چرخند از قاعده کشش و رانش پیروی می‌کند که می‌توان با استفاده از این قاعده گذرگاه جابجایی طوفان‌های اقیانوس هند شمالی را پیش‌بینی نمود. همچنین تحلیل مخاطرات طوفان حاره‌ای نیلوفر حاکی از این بود که عمیق شدن ناوه تراز ۵۰۰ میلی‌بار با محور جنوب غربی-شمال شرقی یک کم ارتفاع بریده را بر روی دریای عرب پدید آورده که در پی آن یک منطقه همگرایی قوی در ترازهای زیرین جو و بر روی سطح دریا شکل گرفته است (قویدل رحیمی، ۲۰۱۳:۲۱). هدف این مطالعه نیز، مقایسه و تحلیل ساختاری چرخندهای دریای عرب و عمان به منظور بررسی تأثیر تغییرات پارامترهای جوی، اقیانوسی روی مسیر حرکت آن‌ها در محدوده مورد مطالعه است.

#### منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه شامل حوضه دریای عرب، عمان و سواحل آن‌ها بوده که در این پژوهش از ۵- تا ۴۰ درجه عرض شمالی و ۴۰ تا ۸۰ درجه طول شرقی را در برمی‌گیرد (شکل ۱).



شکل ۱. موقعیت محدوده مورد مطالعه (منبع: نگارندگان)

## مواد و روش‌ها

داده‌های موردنیاز و روش انجام کار در پژوهش حاضر به شرح زیر می‌باشد:

الف- مشخص کردن وضعیت چرخندهای حاره‌ای گونو، فت، نیلوفر، آشوبا و چاپالا از نظر سرعت باد، شدت و مسیر حرکت از زمان تشکیل تا اضمحلال و همچنین تعیین نقاط اشتراک و افتراق آن‌ها با استفاده از داده‌های موجود در پایگاه<sup>۱</sup> JTWC. مرکز مشترک اخطار طوفان نیروی هوایی و دریایی (JTWC) اطلاعات جامعی از طوفان‌ها را در سامانه‌ای به نام رهیابی بهینه یا Best Tracking ذخیره کرده است (مزرعه فراهانی و همکاران، ۱۳۹۴: ۲۷۴). اطلاعات سامانه رهیابی بهینه چرخندهای حاره‌ای شامل موقعیت، شدت طوفان و شعاع بیشینه سرعت در فاصله‌های زمانی ۶ ساعته است و مناطقی که این سامانه را پوشش می‌دهند دربرگیرنده طوفان‌های منطقه شمال غرب اقیانوس آرام (WP) شمال اقیانوس هند (IO) و نیم‌کره جنوبی (HS) هستند (مزرعه فراهانی و همکاران، ۱۳۹۴: ۲۷۴).

ب- ترسیم مسیر چرخندها در محیط ArcGIS و محاسبه آزیموت مسیر آن‌ها به روش دستی. آزیموت زاویه‌ای افقی است که امتداد موردنظر با راستای شمال و در جهت حرکت عقربه‌های ساعت می‌سازد. این زاویه بر روی صفحه افق اندازه‌گیری می‌شود.

ب- استخراج نقشه‌های میانگین، از متغیرهای فشار سطح دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال، دمای سطح ۱۰۰۰ هکتوپاسکال و دمای سطح دریا برای طول دوره لازم از زمان آغاز تا خاتمه چرخند که بدین منظور از داده‌های باز تحلیل پایگاه ECMWF، تولیدشده به وسیله مرکز پیش‌بینی‌های میان‌مدت اروپا با قدرت تفکیک مکانی ۰/۵ درجه طول و عرض جغرافیایی برای ساعت ۱۲ UTC استفاده گردید.

ج- ترسیم نقشه‌ها در محیط GRADS و تحلیل و تفسیر آن‌ها با استفاده از روابط همبستگی و قوانین کشش و رانش.

به منظور بررسی ارتباط بین دو متغیر فشار سطح دریا و دمای سطح دریا و تأثیر این ارتباط بر مسیر حرکت چرخندها از ضریب همبستگی استفاده شد:

ضریب همبستگی معیاری برای بیان میزان رابطه بین دو متغیر است که از رابطه (۱) به دست می‌آید:

$$p = \frac{\text{cov}(x,y)}{\sqrt{\text{var}(x)\text{var}(y)}} \quad \text{رابطه شماره (۱)}$$

برای محاسبه ضریب همبستگی در درجه اول نیاز به محاسبه و تعیین کواریانس دو متغیر است که به صورت  $\text{cov}(x,y)$  نمایش داده می‌شود.

امروزه روش‌ها و مدل‌های مختلفی در پیش‌بینی مسیر حرکت چرخندهای حاره‌ای وجود دارد. سلمانیان و همکاران (۱۳۹۱: ۸۱) نشان دادند که از طریق برقراری ارتباط بین تغییرات فشار در ترازهای پایینی و میانی جو

می‌توان به اصول و قواعدی دست‌یافت که با به‌کارگیری آن‌ها بتوان مسیر حرکت چرخندهای حاره‌ای این بخش از اقیانوس هند را به‌طور قابل قبولی پیش‌بینی نمود مجموعه این اصول به نام قوانین کشش و رانش نام‌گذاری شده است که عبارت‌اند از:

الف- سامانه‌های کم‌فشاری و زبانه‌های آن‌ها (برخلاف سامانه‌های پرفشاری) با هر ماهیتی به سمت یکدیگر کشیده می‌شوند به‌گونه‌ای که مراکز کم‌فشار تر و وسیع‌تر سبب مکش سامانه‌های کم‌فشاری ضعیف‌تر اطراف خود شده که درنهایت تقویت هر چه بیشتر تاوایی سامانه‌های غالب را دربر خواهد داشت.

ب- سامانه‌های پرفشاری باعث رانش و جابجایی هسته‌های کم‌فشاری اطراف خود می‌شوند به شکلی که اگر مراکز پرفشار به‌صورت تقریباً مماس در شمال و غرب هسته‌های صعودی قرار گیرند باعث جابجایی آن‌ها به سمت جنوب و غرب شده و اگر مراکز پرفشار در جنوب و شرق آن‌ها قرار بگیرند منجر به جابجایی هسته‌های کم‌فشار به سمت شمال و شرق خواهند شد. البته این حالت به جهت حرکت مراکز فشار بستگی خواهد داشت به شکلی که اگر هر دو سامانه در جهت خلاف هم حرکت نمایند هیچ کنشی بین آن‌ها وجود نخواهد داشت.

ج- پیش روی دو سامانه پرفشاری به سمت یکدیگر در جهت عمود بر راستای ارتباط دو سامانه کم‌فشاری، باعث قطع ارتباط سامانه‌های کم‌فشاری خواهد شد.

د- قرارگیری یک هسته کم‌فشاری در میان دو پرفشار ایستا در منطقه حاره ترجیحاً با روند شمالی-جنوبی یا شرقی-غربی منجر به تقویت تاوایی هسته کم‌فشار دینامیکی می‌گردد (مرکز همگرایی دریای سرخ).

## نتایج و بحث

۱- بررسی چرخندهای حاره‌ای محدوده دریای عرب و عمان

### الف- چرخند حاره‌ای گونو

گونو قوی‌ترین طوفان حاره‌ای ثبت‌شده در دریای عرب و همچنین شدیدترین چرخند شناخته‌شده در شمال اقیانوس هند می‌باشد (رانا و همکاران، ۲۰۱۴: ۶۱). این چرخند در ۱ ژوئن ۲۰۰۷ در شرق دریای عرب تشکیل شد و پس از آن به سمت شمال غرب حرکت کرد و با رسیدن به سواحل کشور عمان مسیر خود را به سمت سواحل شمالی دریای عمان تغییر داد و بخش‌هایی از هرمزگان و جنوب سیستان و بلوچستان را تحت تأثیر قرارداد (شکل ۲-۱). حداکثر شدت آن در ۴ ژوئن بوده که به شکل یک سوپر طوفان حاره‌ای درآمد و در رده ۴ طبقه‌بندی سفیر سیمپسون قرار گرفته است. در روزهای پنجم و ششم شدت طوفان همچنان بالا بوده ولی به رده‌های ۲ و ۱ نزول کرده است و بالاخره در روز ۷ ژوئن به‌صورت کم‌فشار حاره‌ای درآمد است. جدول ۲ وضعیت طوفان گونو را از زمان آغاز تا خاتمه از نظر قدرت و مسیر حرکت نشان می‌دهد. با توجه به ویژگی سیکلون‌های حاره در نیم‌کره

شمالی، که جهت گردش بادها خلاف جهت عقربه‌های ساعت است، ترسیم آزیموت مسیر برای چرخند گونو طی روزهای اول تا هفتم نشان می‌دهد که در روز اول زاویه آزیموت برابر ۲۷۰ درجه، کاملاً به سمت غرب بوده و با ۹۰ درجه تغییر مسیر به سمت شمال جابجا شده است. با افزایش سرعت در روزهای چهارم و پنجم ۵۵ درجه به طرف غرب منحرف شده و جهت شمال غرب- جنوب شرق پیدا کرده است. در نهایت با کاهش سرعت چرخند به سمت شمال منحرف شده است (روزهای ششم و هفتم) (شکل ۲-۱A).

### ب- چرخند حاره‌ای فت

چرخند حاره‌ای فت دومین چرخند قدرتمند ثبت شده در دریای عرب می‌باشد (حجاج<sup>۱</sup> و بدری<sup>۲</sup>، ۲۰۱۲: ۱۷۴). این چرخند از یک مرکز کم فشار در دریای عرب توسعه پیدا کرد و به صورت یک اغتشاش حاره‌ای در ۳۱ می سازمان‌دهی گردید و به طرف شمال غرب حرکت کرد. در روزهای دوم و سوم در شدیدترین وضعیت خود در رده ۲ مقیاس سفیر سیمپسون قرار گرفت. سامانه در تاریخ ۴ ژوئن در شمال شرق سواحل عمان بین محدوده N ۱۵/۵۰ E ۵۹/۵۰ فرونشست (شکل ۲-۱B). تصور بر این بود که با حرکت به سمت شمال-شمال شرق، به سواحل عمان برخورد کند اما در ۵ ژوئن تضعیف شد و با تغییر مسیر به صورت کم فشار حاره‌ای درآمد و ۶ ژوئن از سواحل پاکستان نزدیک جنوب کراچی عبور کرد. فت یکی از نادرترین چرخندهای رخ داده طی سال‌های ۱۸۷۷-۲۰۰۹ در دریای عرب است که با داشتن طولانی‌ترین مسیر در سال‌های اخیر و طول عمری معادل ۷/۶ روز، سه کشور عمان، پاکستان و هند را متأثر کرد (حجاج و بدری، ۲۰۱۲: ۱۷۴). جدول ۲ وضعیت چرخند فت را نشان می‌دهد. چرخند فت از سی و یکم می تا دوم ژوئن روی آزیموت ۳۱۵ درجه قرار گرفته است. با افزایش سرعت در روز دوم، ۴۰ درجه به سمت شمال منحرف شده و در روزهای چهارم و پنجم با ۴۰ درجه تغییر مسیر جهت شمال شرق پیدا کرده است. در روزهای پنجم و ششم زاویه آزیموت ۹۰ درجه و کاملاً به سمت شرق می‌باشد.

### ج- چرخند حاره‌ای نیلوفر

چرخند نیلوفر قوی‌ترین چرخند حاره‌ای در سال ۲۰۱۴ در شمال اقیانوس هند می‌باشد. نیلوفر در ۲۵ اکتبر ۲۰۱۴ از یک منطقه کم فشار بین هند و شبه جزیره عرب به صورت یک اغتشاش حاره‌ای منشأ گرفت (شکل ۲-۱C). در روزهای بعد سیستم شدت گرفت و در ۲۶ اکتبر به یک کم فشار حاره‌ای تبدیل گردید. حداکثر شدت آن در ۲۹ اکتبر بود که از نظر مقیاس سفیر سیمپسون در رده ۳ قرار گرفت و در همان زمان در غرب هند فرونشست. برش قوی باد باعث شد از قدرت طوفان در روزهای بعد کاسته شود و به صورت یک منطقه کم فشار در ۳۱ اکتبر در محدوده گجرات هند تبدیل گردد. مشخصات چرخند نیلوفر در جدول ۲ نشان داده شده است. مسیر حرکت نیلوفر در ۲۵

1 Haggag

2 badry

اکتبر شمال غرب بوده و زاویه آزیموت معادل ۳۱۵ درجه می‌باشد. در ادامه با ۳۰ درجه انحراف از ۲۶ تا ۲۹ اکتبر به سمت شمال حرکت کرده و در روزهای ۳۰ و ۳۱ اکتبر با ۴۰ درجه تغییر مسیر جهت شمال شرق- جنوب غرب پیدا کرده است (شکل ۲- C).

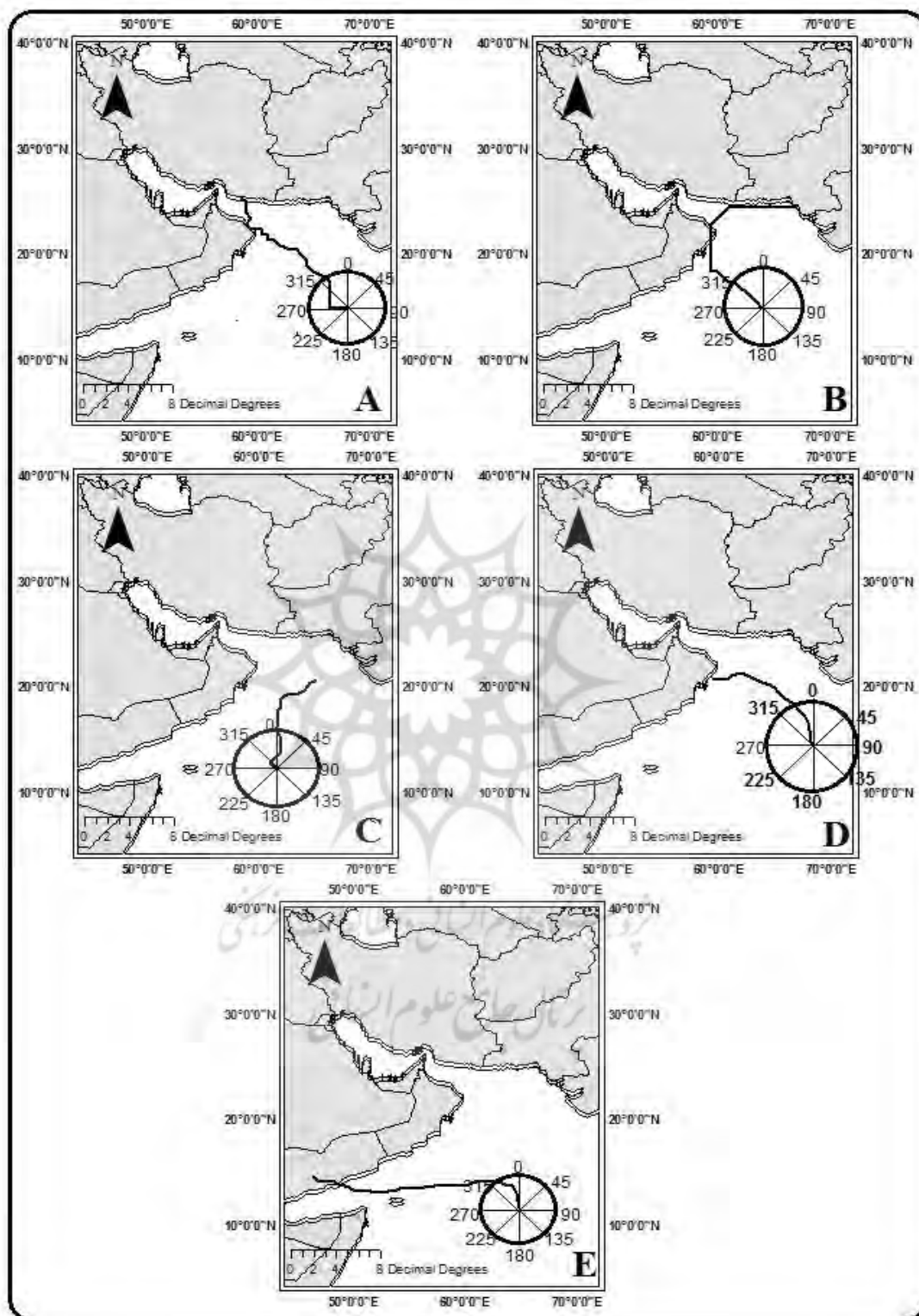
#### د- چرخند حاره‌ای آشوبا

تحت تأثیر شروع به موقع مونسون جنوب غرب یک مرکز کم فشار بر روی دریای عرب در ۶ ژوئن ۲۰۱۵ تشکیل شد و پس از شدت یافتن به سمت شمال، شمال غرب حرکت کرد. سامانه در هشت ژوئن با سرعت بیشتری تشدید گردید و در همین زمان چرخند حاره‌ای آشوبا نامیده شد (شکل ۲- D). در تاریخ ۹ ژوئن تا ۵۰۰ کیلومتری سواحل عمان نزدیک شد و تا ۱۰ ژوئن به بالای سواحل عمان رسید و پس از آن شروع به تضعیف شدن کرد. در تاریخ ۱۱ و ۱۲ ژوئن آشوبا به آرامی به طرف غرب، نزدیک جزیره مصیره، در جنوب سواحل عمان حرکت کرد. از آنجایی که سرعت بادها در چرخند آشوبا خیلی زیاد نبود، طبق طبقه‌بندی سفیر سیمپسون در هیچ طبقه‌ای قرار نگرفت (جدول ۲). زاویه آزیموت چرخند آشوبا از ۶ تا ۱۰ ژوئن با انحرافات جزئی تقریباً روی ۳۴۰ درجه قرار گرفته است. در روز ۱۰ ژوئن ۲۰ درجه به سمت جنوب منحرف شده و در روزهای ۱۱ و ۱۲ با ۵۰ درجه تغییر مسیر کاملاً جهت غرب پیدا کرده است.

#### ز- چرخند حاره‌ای چاپالا

چاپالا در ۲۸ اکتبر ۲۰۱۵ به شکل یک اغتشاش حاره‌ای از یک منطقه کم فشار در دریای عرب منشأ گرفت و با حرکت به سمت غرب در ۳۰ اکتبر به حداکثر شدت خود رسید (شکل ۲- E) به طوری که بر اساس مقیاس سفیر سیمپسون در رده ۴ قرار گرفت پس از رسیدن به نقطه اوج، سیستم شروع به تضعیف شدن کرد و در محدوده خلیج عدن تبدیل به طوفان حاره‌ای شد (۲ نوامبر). پس از آن با حرکت به سمت غرب-شمال غرب از ساحل یمن عبور کرد و با قرار گرفتن در جنوب غرب ریان تبدیل به یک اغتشاش حاره‌ای شد. مشخصات چاپالا در جدول ۲ نشان داده شده است. چاپالا در ۲۸ اکتبر روی آزیموت ۳۶۰ درجه قرار گرفته و جهت شمالی داشته است از ۲۹ اکتبر به بعد با ۴۰ درجه تغییر جهت و انحرافات جزئی به سمت غرب جابجا شده و در نهایت ۳ نوامبر با ۲۰ درجه انحراف به سمت شمال شرق حرکت کرده است.





شکل ۲. آزمون مسیر چرخندها: A- گونو، B- فت، C- نیلوفر، D- آشوبا، E- چاپالا (منبع: نگارندگان)

جدول ۲. مشخصات چرخندها از نظر قدرت و مسیر حرکت از زمان تشکیل تا اضمحلال

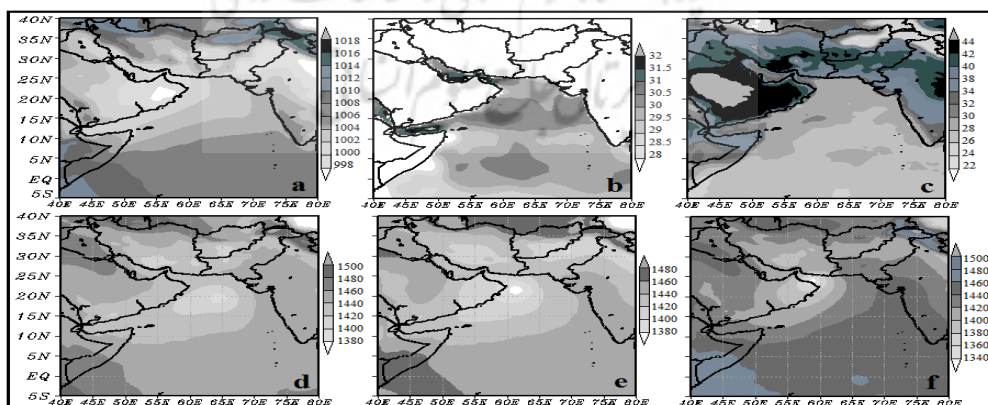
درجه	باد (kn)	فشار مرکزی (hPa)	طول جغرافیا بی	عرض جغرافیا بی	زمان (UTC)	درجه	مشخصات نام چرخند
Depression (D) Cyclonic Storm (CS) Severe Cyclonic Storm(SCS) Extremely Severe Cyclonic Storm (ESCS) Super Cyclonic Storm (SUCS) Very Severe Cyclonic Storm (VSCS) Very Severe Cyclonic Storm (VSCS) Cyclonic Storm (CS)	۲۵	۱۰۰۲	۶۸/۰	۱۵/۰	۱۸:۰۰	۲۰۰۷/۰۶/۰۱	گونو
	۴۵	۹۹۲	۶۷/۰	۱۵/۰	۱۲:۰۰	۲۰۰۷/۰۶/۰۲	
	۵۵	۹۸۸	۶۶/۵	۱۷/۵	۱۲:۰۰	۲۰۰۷/۰۶/۰۳	
	۱۱۵	۹۳۴	۶۴/۰	۲۰/۰	۱۲:۰۰	۲۰۰۷/۰۶/۰۴	
	۱۲۷	۹۲۰	۶۴/۰	۲۰/۰	۱۵:۰۰	۲۰۰۷/۰۶/۰۴	
	۹۰	۹۶۰	۶۱/۰	۲۱/۵	۱۲:۰۰	۲۰۰۷/۰۶/۰۵	
	۷۷	۹۷۰	۵۹/۰	۲۴/۰	۱۲:۰۰	۲۰۰۷/۰۶/۰۶	
	۴۵	۹۸۸	۵۸/۵	۲۵/۵	۰۳:۰۰	۲۰۰۷/۰۶/۰۷	
D D CS VSCS VSCS SCS CS D	۲۵	۱۰۰۱	۶۴/۰	۱۵/۰	۰۶:۰۰	۲۰۱۰/۰۵/۳۱	فت
	۲۵	۱۰۰۱	۶۳/۵	۱۵/۵	۱۲:۰۰	۲۰۱۰/۰۵/۳۱	
	۳۵	۹۹۴	۶۲/۵	۱۶/۵	۱۲:۰۰	۲۰۱۰/۰۶/۰۱	
	۸۵	۹۶۴	۶۰/۵	۱۸/۰	۱۲:۰۰	۲۰۱۰/۰۶/۰۲	
	۷۰	۹۷۸	۵۹/۵	۲۰/۰	۱۲:۰۰	۲۰۱۰/۰۶/۰۳	
	۶۰	۹۸۴	۵۹/۵	۲۳/۰	۱۲:۰۰	۲۰۱۰/۰۶/۰۴	
	۴۰	۹۹۲	۶۱/۵	۲۴/۵	۱۲:۰۰	۲۰۱۰/۰۶/۰۵	
	۲۵	۹۹۳	۶۷/۰	۲۴/۵	۱۲:۰۰	۲۰۱۰/۰۶/۰۶	
D D CS VSCS ESCS ESCS VSCS CS D	۲۵	۱۰۰۴	۶۱/۵	۱۲/۵	۰۰:۰۰	۲۰۱۴/۱۰/۲۵	نیلوفر
	۲۵	۱۰۰۳	۶۱/۰	۱۳/۰	۱۲:۰۰	۲۰۱۴/۱۰/۲۵	
	۴۰	۹۹۴	۶۲/۰	۱۴/۲	۱۲:۰۰	۲۰۱۴/۱۰/۲۶	
	۷۰	۹۸۲	۶۲/۰	۱۵/۰	۱۲:۰۰	۲۰۱۴/۱۰/۲۷	
	۱۰۰	۹۵۴	۶۱/۸	۱۶/۷	۱۲:۰۰	۲۰۱۴/۱۰/۲۸	
	۱۰۵	۹۵۴	۶۲/۰	۱۸/۲	۰۰:۰۰	۲۰۱۴/۱۰/۲۹	
	۸۰	۹۷۴	۶۲/۲	۱۹/۲	۱۲:۰۰	۲۰۱۴/۱۰/۲۹	
	۴۰	۱۰۰۱	۶۴/۶	۲۰/۵	۱۲:۰۰	۲۰۱۴/۱۰/۳۰	
۲۵	۱۰۰۴	۶۵/۱	۲۰/۷	۰۰:۰۰	۲۰۱۴/۱۰/۳۱		
D D CS CS CS CS D	۲۵	۱۰۰۴	۶۸/۵	۱۴/۵	۰۳:۰۰	۲۰۱۵/۰۶/۰۷	آشویا
	۲۵	۱۰۰۳	۶۸/۰	۱۶/۰	۱۲:۰۰	۲۰۱۵/۰۶/۰۷	
	۳۵	۹۹۴	۶۶/۵	۱۸/۶	۱۲:۰۰	۲۰۱۵/۰۶/۰۸	
	۴۰	۹۹۰	۶۳/۰	۲۱/۰	۱۲:۰۰	۲۰۱۵/۰۶/۰۹	
	۴۵	۹۹۰	۶۱/۱	۲۱/۲	۱۲:۰۰	۲۰۱۵/۰۶/۱۰	
	۳۵	۹۹۴	۶۰/۰	۲۰/۸	۱۲:۰۰	۲۰۱۵/۰۶/۱۱	
	۲۵	۹۹۶	۵۹/۵	۲۰/۸	۰۰:۰۰	۲۰۱۵/۰۶/۱۲	
	D DD SCS SCS ESCS ESCS ESCS ESCS VSCS CS D	۲۵	۱۰۰۵	۶۵/۰	۱۱/۵	۰۳:۰۰	
۳۰		۱۰۰۱	۶۴/۷	۱۲/۵	۱۲:۰۰	۲۰۱۵/۱۰/۲۸	
۵۵		۹۹۰	۶۳/۳	۱۴/۱	۱۲:۰۰	۲۰۱۵/۱۰/۲۹	
۱۱۵		۹۴۰	۶۰/۸	۱۴/۲	۰۹:۰۰	۲۰۱۵/۱۰/۳۰	
۱۱۵		۹۴۰	۶۰/۶	۱۴/۱	۱۲:۰۰	۲۰۱۵/۱۰/۳۰	
۱۰۵		۹۵۰	۵۷/۹	۱۳/۸	۱۲:۰۰	۲۰۱۵/۱۰/۳۱	
۱۰۰		۹۵۶	۵۴/۶	۱۳/۶	۱۲:۰۰	۲۰۱۵/۱۱/۰۱	
۸۵		۹۶۸	۵۰/۵	۱۳/۴	۱۲:۰۰	۲۰۱۵/۱۱/۰۲	
۴۰		۹۹۸	۴۷/۳	۱۴/۲	۱۲:۰۰	۲۰۱۵/۱۱/۰۳	
۲۵		۱۰۰۳	۴۶/۵	۱۴/۸	۰۰:۰۰	۲۰۱۵/۱۱/۰۴	

## تغییرات فشار و دما در مدت زمان استقرار چرخندها

## الف- گونو

نقشه میانگین فشار سطح دریا گویای این مهم است که در طول مدت حاکمیت گونو تمرکز سامانه‌های کم فشار بیشتر در محدوده  $25^{\circ}\text{N}$  -  $20^{\circ}\text{N}$  و  $60^{\circ}\text{E}$  -  $55^{\circ}\text{E}$  بوده است. همچنان که مطابق شکل ۳-۲ سامانه کم فشاری با فشار مرکزی ۹۹۸ هکتوپاسکال نواحی مختلف کشور عمان، دریای عمان، تنگه هرمز و بخش‌هایی از خلیج فارس را در بر گرفته است. در همین زمان در نقشه میانگین دمای سطح دریا مشاهده می‌شود که حداکثر دما مربوط به مناطقی است که از فشار مرکزی بسیار پایینی برخوردار هستند به طوری که نواحی دریای عمان تا بخش‌هایی از خلیج فارس دماهای ۳۱ تا ۳۲ درجه سلسیوس را تجربه می‌کنند (شکل ۳-۲). علیرغم اینکه منحنی ۱۰۰۵ هکتوپاسکال محدوده خلیج عدن را در بر گرفته اما دمای سطح دریا در این ناحیه بالاست. با توجه به شکل ۳-۲ متوسط دمای هوا در سطح ۱۰۰۰ هکتوپاسکال بر دمای سطح دریا تقریباً منطبق است و نواحی مختلف دریای عرب بالاترین مقادیر را دارا می‌باشند.

در روزهای نخست شکل‌گیری چرخند گونو پرفشار جنب حاره مستقر در جنوب و جنوب غرب شبه‌قاره هند زمینه فشار به چرخند و جابه‌جایی آن به سمت عرض‌های بالا را فراهم کرده است مطابق شکل ۳ که روزهای اوج چرخند گونو را نشان می‌دهد (چهارم، پنجم و ششم ژوئن)، سامانه‌های پرفشار از سه طرف آن را احاطه کرده‌اند و از طرف دیگر، پرفشار مستقر بر روی هندوستان با تشکیل پشته قوی تا جنوب پاکستان پیشروی کرده است و این مسئله منجر به قطع ارتباط کم فشار مونسون با سامانه‌های کم فشار دریای عرب گردیده است (اصل سوم از قاعده کشش و رانش). با توجه به اینکه سامانه‌های کم فشار قوی‌تر سبب مکش نواحی ضعیف‌تر می‌شوند، طی روزهای بعد مرکز کم فشار مستقر در نواحی داخلی ایران به سمت جنوب شرق کشیده شده و با چرخند مستقر بر روی دریای عمان ادغام می‌گردند (اصل یک از قاعده کشش و رانش).



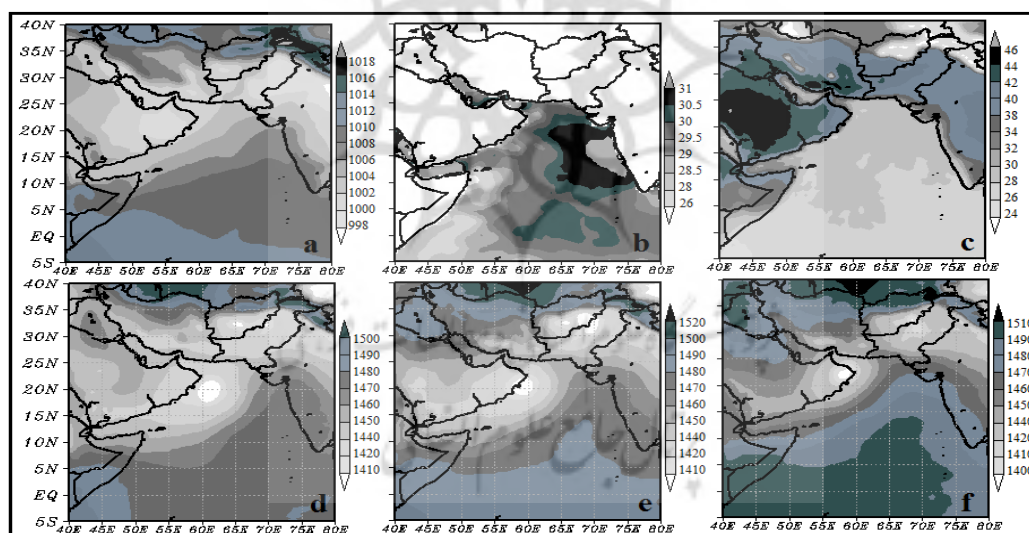
شکل ۳. نقشه‌های تغییرات فشار سطح دریا (a)، دمای سطح دریا (b)، دمای سطح ۱۰۰۰ ه پ (c)، فشار سطح

۸۵۰ ه پ روزهای چهارم ژوئن ۲۰۰۷ (d)، پنجم ژوئن (e)، ششم ژوئن (f)

## ب- فت

وجود هسته‌های کم‌فشار مستقر در سواحل شمالی و جنوبی عمان و همچنین پاکستان بیانگر وضعیت تأثیر نواحی مذکور از چرخند حاره‌ای فت می‌باشد (شکل ۴-ا). نقشه متوسط دمای سطح دریا نشان می‌دهد که بیشینه دما در غرب و جنوب غرب شبه‌قاره هند ثبت گردیده و با توجه به شکل ۴-ب در محدوده شکل‌گیری فت، دمای سطح دریا معادل ۳۰ درجه سلسیوس می‌باشد. نواحی دریای عمان نیز بیشترین دمای هوا در سطح ۱۰۰۰ هکتوپاسکال را نشان می‌دهد (شکل ۴-ج).

با توجه به شکل (۴-د-ف) که مربوط به روزهای دو، سه و چهار ژوئن ۲۰۱۰ می‌باشد گسترش رو به شمال پرفشار مستقر در جنوب غرب شبه‌قاره هند به همراه پشته قوی سبب رانش چرخند فت به سمت غرب و شمال غرب گردیده و در روزهای آتی حاکمیت گسترش پرفشار جنب حاره در نواحی جنوبی دریای عرب و شبه‌جزیره عربستان مانع تمرکز بیشتر فت بر روی عمان شده است. با عقب‌نشینی پرفشار هند به سمت عرض‌های جنوبی، سامانه‌های کم‌فشار در محدوده پاکستان گسترش قابل‌ملاحظه‌ای پیدا کرده‌اند و چون از نظر فشار مرکزی ضعیف‌تر از فت هستند، به سمت چرخند قوی فت جذب شده و در جنوب پاکستان با یکدیگر ادغام می‌شوند.

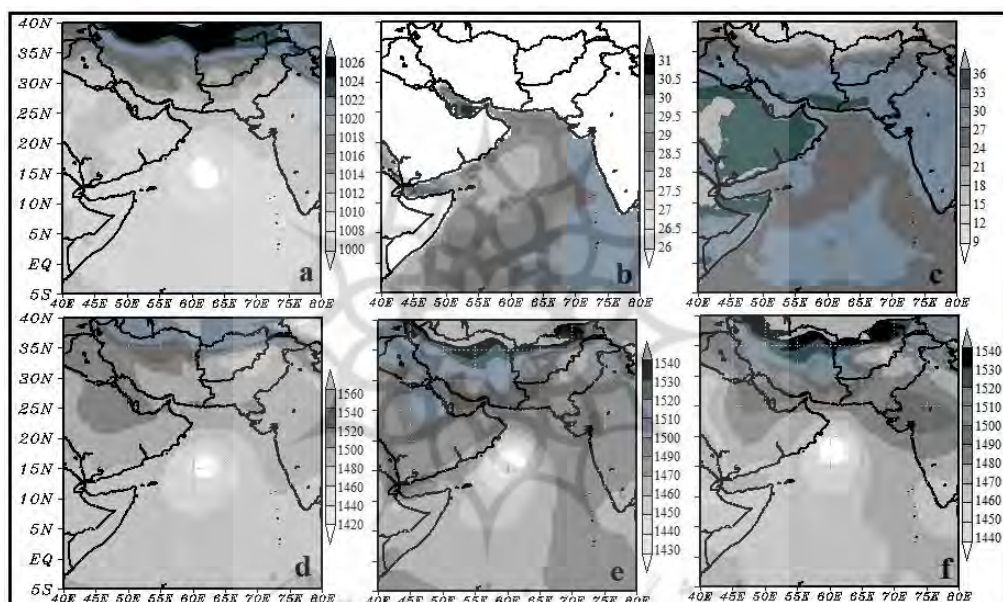


شکل ۴. نقشه‌های تغییرات فشار سطح دریا (a)، دمای سطح دریا (b)، دمای سطح ۱۰۰۰ پ (c)، فشار سطح ۸۵۰ پ روزهای دوم ژوئن ۲۰۱۰ (d)، سوم ژوئن (e)، چهارم ژوئن (f)

## ج- نیلوفر

چرخند نیلوفر نسبت به سایر چرخندهای مورد مطالعه در این پژوهش گسترش کمتری داشته است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود طبق نقشه متوسط فشار سطح دریا، فشار مرکزی در محدوده وقوع چرخند، ۱۰۰۶ هکتوپاسکال

است (شکل ۵-a) همچنین بیشترین دمای سطح دریا و دمای هوا در محل تشکیل چرخند به ترتیب ۲۸/۸ و ۲۷ درجه سلسیوس می‌باشد (شکل ۵-c-b). نقشه‌های فشار که مربوط به روزهای ۲۷، ۲۸ و ۲۹ اکتبر می‌باشد حاکمیت وسیع پرفشارها در شمال افغانستان و پاکستان همچنین شمال دریای خزر را نشان می‌دهد که زبانه‌های آن تا نواحی داخلی و جنوب شرق ایران کشیده شده و مانع جابجایی نیلوفر به عرض‌های جغرافیایی بالا گردیده است. از سوی دیگر پرفشار حاکم بر روی هند با هسته مرکزی ۱۴۹۰ ژئوپتانسیل متر زمینه را برای رانش نیلوفر به طرف شرق فراهم می‌کند که در روزهای آخر با حرکت این پرفشار به شمال شرق هند شرایط مناسبی برای ادغام چرخند نیلوفر با کم-فشارهای جنوب هند فراهم می‌گردد (شکل ۵-d-e-f).



شکل ۵. نقشه‌های تغییرات فشار سطح دریا (a)، دمای سطح دریا (b)، دمای سطح ۱۰۰۰ پ (c)، فشار سطح

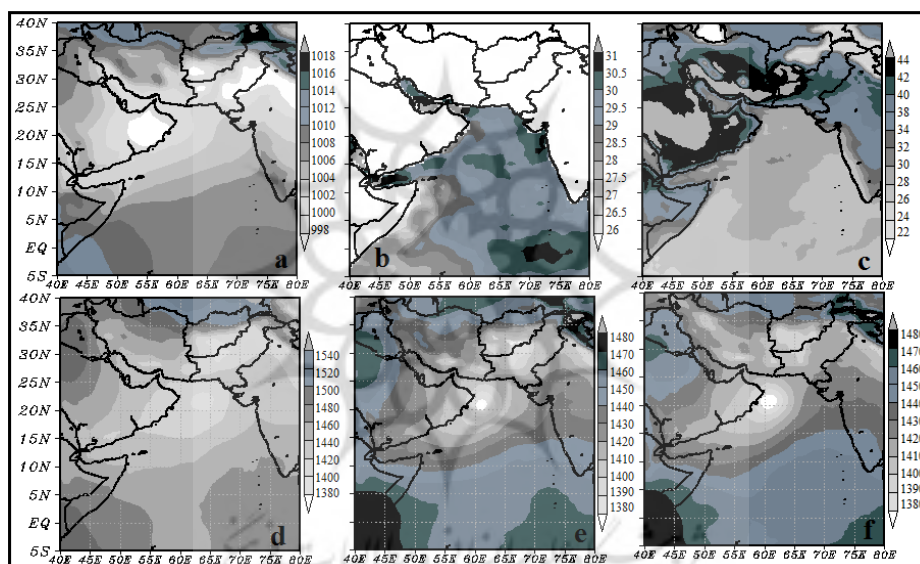
۸۵۰ ه پ روز ۲۷ اکتبر ۲۰۱۴ (d)، ۲۸ اکتبر (e)، ۲۹ اکتبر (f)

#### د- آشوبا

در زمان استقرار چرخند آشوبا سامانه‌ای کم‌فشار با فشار مرکزی ۹۹۶ هکتوپاسکال سواحل جنوبی عمان را دربرگرفته و زبانه‌ای از آن جنوب و جنوب شرق ایران را نیز تحت تأثیر قرار داده است. در همین زمان دو هسته کم-فشار دیگر با فشار مرکزی ۱۰۰۰ و ۹۹۸ هکتوپاسکال به ترتیب بر روی افغانستان و پاکستان دیده می‌شود (شکل ۶-a). نقشه متوسط دمای سطح دریا در این زمان گویای این است که بیشترین دماها با ۳۱ درجه در دریای عمان و بعد از آن نواحی جنوب و شمال دریای عرب و خلیج عدن می‌باشند که به ترتیب دماهای ۳۰/۵ و ۲۹ درجه سلسیوس



را تجربه می‌کنند (شکل ۶-ب) دریای عمان و خلیج عدن در زمان گسترش آشوبا نیز بیشترین دمای هوا را در سطح ۱۰۰۰ هکتوپاسکال دارا می‌باشند (شکل ۶-ج). بررسی وضعیت فشار در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال که روزهای ۸ و ۹ و ۱۰ ژوئن ۲۰۱۵ را نشان می‌دهد (شکل ۶) حاکی از این است که در روزهای نخست تشکیل چرخند حاره‌ای آشوبا مراکز کم‌فشار مستقر در دریای عرب و شمال شبه‌قاره هند و پاکستان به شکل متصل هستند اما وجود پرفشارهای شمال شرق ایران و ترکیه که زبانه‌های آن تا عرض‌های جغرافیایی پایین کشیده شده باعث قطع این اتصال شده و آن‌ها را به صورت مراکز کم‌فشار مستقل درآورده است در روزهای بعد نیز سامانه‌های پرفشار جنوب دریای عرب و نواحی شمالی شبه‌جزیره عربستان مانع جابجایی چرخند آشوبا شده و باعث گردیده که این سامانه در جنوب کشور یمن و نواحی جنوبی دریای عمان متمرکز گردد.

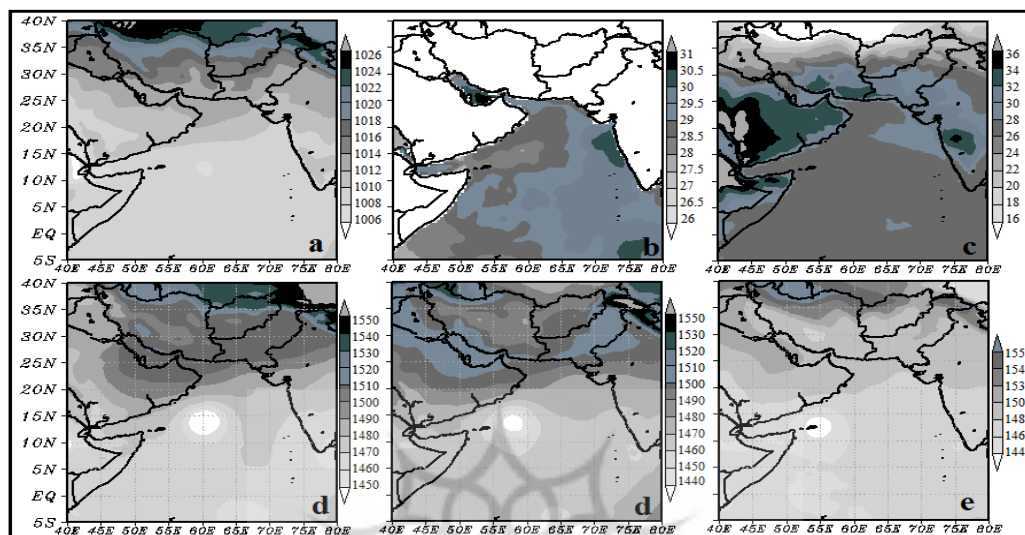


شکل ۶. نقشه‌های تغییرات فشار سطح دریا (a)، دمای سطح دریا (b)، دمای سطح ۱۰۰۰ هکتوپاسکال (c)، فشار سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال (d)، (e)، (f) ۹ ژوئن ۲۰۱۵، (d)، (e)، (f) ۱۰ ژوئن ۲۰۱۵

### ز- چاپالا

با توجه به اینکه مسیر حرکت چاپالا به سمت کشور یمن می‌باشد، هسته‌های کم‌فشار نیز با فشار مرکزی معادل ۱۰۰۸ هکتوپاسکال در مرکز دریای عرب و بر روی خلیج عدن مستقر گردیده‌اند (شکل ۷-ا). در نواحی استقرار چرخند چاپالا متوسط دمای سطح دریا ۲۹ و دمای هوا در مرکز دریای عرب ۲۷ ولی در محدوده خلیج عدن ۳۰ درجه سلسیوس می‌باشد (شکل ۷-ب-ج). در زمان حاکمیت چاپالا عرض‌های جغرافیایی بالا محل سیطره سامانه‌های پرفشار می‌باشد و همین عامل مانعی برای کشش و جابجایی این چرخند به طرف شمال می‌شود. از طرف دیگر،

سامانه‌های کم‌فشار مستقر در محدوده خلیج عدن و جنوب کشور یمن، به سمت غرب کشیده شده و با کم‌فشارهای مستقر بر روی دریای عرب یکی می‌شوند شکل f-e-d-v روزهای ۳۰، ۳۱ اکتبر و ۱ نوامبر ۲۰۱۵ را نشان می‌دهد.



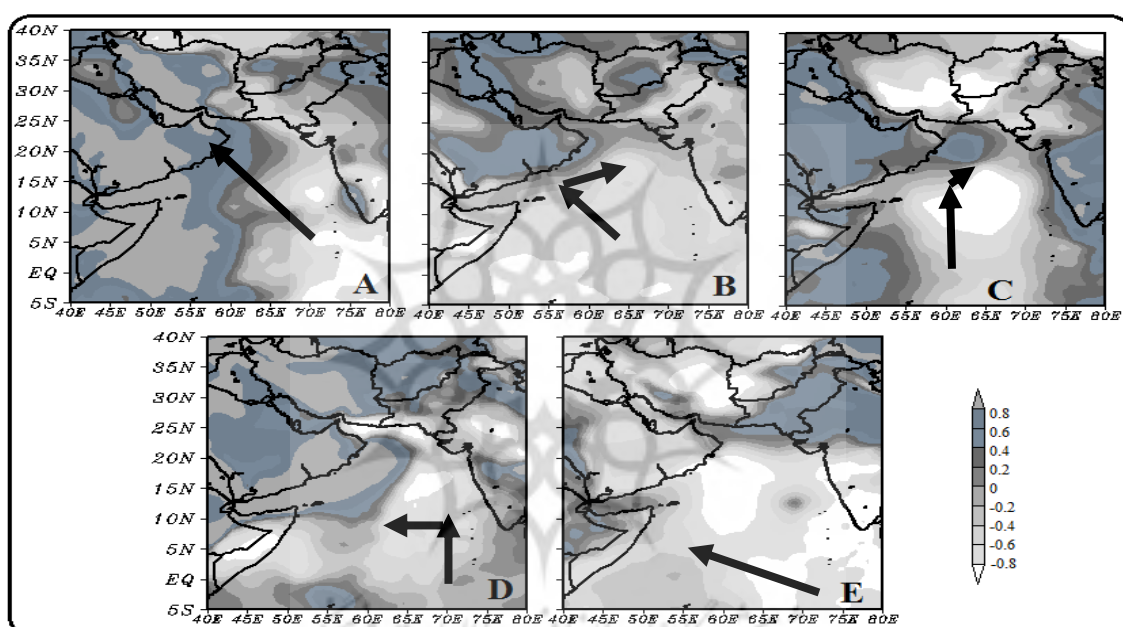
شکل ۷. نقشه‌های تغییرات فشار سطح دریا (a)، دمای سطح دریا (b)، دمای سطح ۱۰۰۰ ه پ (c)، فشار سطح ۸۵۰ ه پ روز ۳۰ اکتبر ۲۰۱۵ (d)، ۳۱ اکتبر (e)، ۱ نوامبر (f)

#### مقایسه مسیر چرخندها

به منظور بررسی تأثیر همزمان دما و فشار سطح دریا در ایجاد چرخندهای حاره از روابط همبستگی استفاده گردید. نتایج نشان می‌دهد که در لحظه تشکیل چرخند همبستگی قوی منفی بین دمای سطح دریا و فشار وجود دارد و از آنجایی که با افزایش دما فشار کاهش پیدا می‌کند در ادامه مسیر، از شدت همبستگی منفی کاسته شده و به سمت مثبت متمایل می‌شود در چرخندهای گونو و آشوبا به علت افزایش شدید دمای سطح آب در دریای عمان و خلیج عدن میزان همبستگی در روزهای آخر به  $0/8$  می‌رسد (شکل ۸).

همچنین بررسی و مقایسه چرخندهای محدوده مورد مطالعه نشان می‌دهد که زمان رسیدن به نقطه اوج در همه چرخندها یکی نیست گونو بعد از گذشت ۶۶ ساعت از زمان تشکیل به نقطه اوج رسید و چرخندهای فت، نیلوفر و چاپالا به ترتیب بعد از ۵۴، ۸۴ و ۵۷ ساعت از زمان شکل‌گیری به نقطه اوج رسیدند و آشوبا از مرحله کم‌فشار حاره‌ای فراتر نرفت. از طرفی، تغییرات ناگهانی در مسیر حرکت چرخندها ممکن است در نتیجه افزایش یا کاهش ناگهانی سرعت باشد که این مسئله منجر به باقی ماندن موقت چرخند در همان وضعیت می‌شود (وو<sup>۱</sup> و

همکاران، ۲۰۱۳: ۲۵۹۸) ولی زمان تغییر مسیر نیز با زمان رسیدن به اوج در همه چرخندها یکی نیست. در چرخند گونو افزایش ناگهانی سرعت در روز چهارم و ششم زاویه آزمون را تغییر داده و چرخند فت نیز با افزایش سرعت در روز دوم مسیرش به سمت غرب منحرف شده است. در نیلوفر تغییرات سرعت به تدریج اتفاق افتاده ولی تغییرات مسیر به طور کامل از سرعت تبعیت نکرده است در چاپالا نیز تغییرات سرعت و مسیر باهم یکسان نبوده و در شرایطی مسیر چرخند به طرف غرب منحرف شده که سرعت از ۳۵ به ۴۰ نات رسیده است. بالاخره اینکه شدت این چرخندها به تنهایی برای رسیدن به سواحل عمان کافی نیست چون چرخند چاپالا با سرعت ۲۱۳ کیلومتر در ساعت به سمت کشور یمن حرکت کرد.



شکل ۸. همبستگی بین فشار و دمای سطح دریا: A- گونو، B- فت، C- نیلوفر، D- آشوبا، E- چاپالا

### نتیجه گیری

گرمایش جهانی و بروز تغییرات اقلیمی موجب افزایش فراوانی و شدت رخداد مخاطرات اقلیمی در قرن حاضر شده است. چرخندهای حاره‌ای با توجه به ریزش‌های شدید باران و سرعت بالای باد همراه آن‌ها به محض ورود به منطقه، خسارت‌های جانی و مالی جبران‌ناپذیری بر جای می‌گذارند و از مهم‌ترین مخاطرات جوی هستند که سواحل مناطق جنوبی ایران را تهدید می‌کنند. با توجه به اینکه تغییرات ناگهانی مسیر حرکت چرخندها مخصوصاً در نزدیکی سواحل باعث می‌شود نه تنها پیش‌بینی‌ها بلکه مدیریت بحران طوفان‌های حاره هم دچار اختلال و بی-نظمی گردد، در این پژوهش سعی بر این بوده با توجه به داده‌های موجود جهت حرکت چرخندها تحلیل گردد.



بدین ترتیب ابتدا تغییرات آزیموت مسیر چرخندها از زمان تشکیل تا اضمحلال مورد بررسی قرار گرفت تا مشخص شود تغییرات جهت و سرعت تا چه اندازه از یکدیگر تبعیت می‌کنند. نتایج نشان داد به جز چرخند گونو که تغییرات مسیر تابع افزایش و کاهش ناگهانی سرعت بوده در سایر چرخندها این تغییرات، روند مشخصی را دنبال نمی‌کنند. با بررسی نقشه‌های فشار و دمای سطح دریا، همچنین دمای سطح ۱۰۰۰ هکتوپاسکال این نتیجه حاصل شد که در گونو و آشوبا نواحی حداقل فشار و حداکثر دمای سطح دریا و سطح ۱۰۰۰ هکتوپاسکال بر هم منطبق بوده است، در همین راستا همبستگی بین این دو عامل در گونو و آشوبا به‌خوبی مشخص است در سایر چرخندها مناطقی که در نهایت چرخند در آنجا نابود می‌گردد، حداقل فشار و حداکثر دمای هوا را تجربه می‌کنند اما دمای سطح دریا نوسانات قابل ملاحظه‌ای ندارد. تحلیل نقشه‌های فشار سطح دریا نیز نشان داد که چرخندهای مذکور از قوانین کشش و رانش پیروی کرده و مسیر حرکت آن‌ها متأثر از نحوه حرکت و جابجایی مراکز کم‌فشار و پرفشار بوده است. با توجه به نتایج حاصل شده در این مطالعه، در طول فصل گرم سال حاکمیت مناطق کم‌فشار در عرض‌های بالا و گسترش پرفشار جنب حاره در عرض‌های پایین، زمینه را برای جابجایی چرخندهای گونو، آشوبا و فت به سمت عرض‌های جغرافیایی بالا و نفوذ در خشکی فراهم کرده است اما چرخندهای نیلوفر و چاپالا به علت تمایز در فصل تشکیل و حاکمیت پرفشارها در شمال دریای خزر، شمال افغانستان و پاکستان، شرایط حرکت به عرض‌های بالا را پیدا نکرده‌اند. در نتیجه گسترش مراکز فشار و فصل تشکیل، نقش مهمی در جابجایی چرخندها و نفوذ آن‌ها در سواحل شمالی و جنوبی عمان خواهد داشت.

#### کتابنامه

- خسروی، محمود؛ پودینه، محمدرضا؛ ۱۳۸۹. تحلیلی بر تأثیرات اقلیمی چرخند حاره‌ای گونو ( خرداد ۱۳۸۶) بر جنوب شرق ایران. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. شماره ۷۲. صص ۷۲-۵۳.
- سلمانیان، فرزاد؛ خوش‌اخلاق، فرامرز؛ شمسی‌پور، علی‌اکبر؛ زارعی، کبری؛ ۱۳۹۱. واکاوی هم‌دید پیدایش و گسترش توفند حاره‌ای فت در جنوب غرب آسیا. نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، سال سوم، شماره ۱۱. صص ۹۸-۷۹.
- قوبدل رحیمی، یوسف؛ ۱۳۹۰. نگاشت و تحلیل همگرایی جریان رطوبت جو طی بارش فوق سنگین ناشی از طوفان حاره‌ای فت در سواحل چابهار. مدرس علوم انسانی- برنامه‌ریزی و آمایش فضا. شماره ۲. صص ۱۰۱-۱۱۸.
- قوبدل رحیمی، یوسف؛ عباسی، اسماعیل؛ فرج‌زاده، منوچهر؛ ۱۳۹۴. واکاوی سازوکار و مخاطرات طوفان حاره‌ای نیلوفر. دانش مخاطرات. دوره دوم. شماره ۱. صص ۲۱-۳۴.
- گلشنی، علی‌اصغر؛ تائبی، سهیلا؛ ۱۳۸۷. مدل‌سازی عددی طوفان حاره‌ای گونو و امواج ناشی از آن در دریای عمان. نشریه مهندسی دریا. سال چهارم. شماره ۸. صص ۲۵-۳۴.
- لشکری، حسن؛ کیخسروی، قاسم؛ ۱۳۸۹. تحلیل سینوپتیکی طوفان گونو و اثرات آن بر جنوب شرق ایران. مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی. سال ۲۱. شماره پیاپی ۳۹. شماره ۳. صص ۱-۲۰.

- مزرعه فراهانی، مجید؛ احمدی، مرضیه؛ تقفی، محمدعلی؛ ۱۳۹۴. ارزیابی نیروهای مؤثر بر تشکیل و تقویت توفان حاره‌ای گونو با استفاده از مدل تحلیلی کیو و بررسی عملکرد مدل‌های عددی در تعیین شدت آن. فیزیک زمین و فضا. شماره ۲. صص ۲۷۳-۲۸۰.
- مشهدی، لیلا؛ حاجی‌زاده ذاکر، ناصر؛ سلطان‌پور، محسن؛ مقیمی، سعید؛ ۱۳۹۲. شبیه‌سازی عددی امواج و مد ناشی از طوفان گونو در خلیج چابهار. نشریه مهندسی دریا. سال نهم. شماره ۱۷. صص ۳۷-۵۰.
- Dare, R., & McBride, J. (2011). Sea surface temperature response to tropical cyclones. *Monthly Weather Review*, 139, 3798-3808.
- ECMWF. (2016). European Centre for Medium-Range Weather Forecasts datasets website , ERA Interim, Daily, <http://apps.ecmwf.int/datasets/data/interim-full-daily/levtype=sfc/>
- Emanuel, K. (2005). Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years. *Nature*, 436, 686-688.
- Evan, A., & Camargo, J. (2010). A climatology of the Arabian Sea cyclonic storms. *Journal of Climate*, 24, 140-158.
- Haggag, M., & Badry, H. (2012). A hydrometeorological modeling study of tropical cyclone Phet in the Arabian Sea in 2010. *Atmospheric and Climate Sciences*, 2, 174-190.
- Indian Meteorological Department (IMD) Report. (2008). Report on Cyclonic Disturbances over the North Indian Ocean during 2007, *RSMC-Tropical Cyclones, New Delhi*, 1-98.
- Indian Meteorological Department. (2016). Regional Specialized Meteorological Center for Tropical Cyclones over Northern Indian, *Indian Meteorological Department website*, ([www.rsmcnewdelhi.imd.gov.in](http://www.rsmcnewdelhi.imd.gov.in))
- Mei, W., & Pasquere, C. (2013). Spatial and temporal characterization of sea surface temperature response to tropical cyclones. *Journal of Climate*, 26, 3745-3765.
- Neumann, C. J. (1993). Global overview, chapter 1 global guide to tropical cyclone forecasting, WMO. TC, (560).
- Rana, A. S., Zaman, Q., Afzal, M., & Haroon, M. A. (2014). Characteristics of sea surface temperature of the Arabian sea coast of Pakistan and impact of tropical cyclones on SST. *Pakistan Journal of Meteorology*, 11, 61-70.
- Wahiduzzaman, M. (2011). An analysis on cyclonic track in the coastal region of Bangladesh. *International Journal of Geomatics and Geosciences*, 2, 530-530.
- Wu, L., Ni, Z., Duna, J., & Zong, H. (2013). Sudden tropical cyclone track changes over the western north pacific: a composite study. *Monthly Weather Review*, 141, 2597-2610.
- Zhu, x., Sun, J., Liu, Z., Liu, Q., & Martin, J. (2007). A synoptic analysis of the inter-annual variability of winter cyclone activity in the Aleutian low region. *Journal Of Climate*, 20, 1523-1538.