

شبیه سازی طوفان حاره ای گونو با استفاده از مدل Advanced Hurricane WRF: حساسیت به طراحی محدوده ها، آشیانه سازی، تفکیک افقی و زمان شروع

حسین ملکوتی*، مه‌ریار علی محمدی

گروه هواشناسی، دانشکده علوم و فنون دریایی و جوی، دانشگاه هرمزگان

چکیده

محدوده‌ی انتخابی، زمان‌های متفاوت شروع و آشیانه‌سازی ثابت و قابل حرکت به طور جداگانه در داخل محدوده‌ی بزرگتر، در کنار طرح‌واره‌های مختلف فیزیکی می‌توانند نقش مهمی را در کیفیت پیش‌بینی طوفان‌های حاره‌ای ایفا کنند. طوفان حاره‌ای گونو (۲۰۰۷) تشکیل شده در شمال اقیانوس هند (دریای عرب) و مدل AHW جهت مطالعه حساسیت شبیه‌سازی به موارد فوق انتخاب شده‌اند. شرایط اولیه و مرزی از داده‌های FNL و اطلاعات بهترین مسیر جهت راست‌آزمایی از IMD دریافت گردیده بود. نتایج نشان داد که از بین محدوده‌های انتخابی، موردی که به سمت شرق گسترش بیشتری داشته و ناحیه کمتری از خلیج فارس را شامل می‌شود در پیش‌بینی مسیر دارای بهترین عملکرد و در پیش‌بینی شدت طوفان در زمان‌های رسیدن به سواحل عمان و ایران دارای عملکرد قابل قبول بوده است. اگرچه این محدوده در پیش‌بینی نقطه اوج شدت طوفان دارای عملکرد بهتری از سایر محدوده‌های انتخابی بود، اما بطور کامل رضایت بخش بنظر نرسید. به همین منظور محدوده‌های داخلی با تفکیک سه برابر بطور ثابت و قابل حرکت به طور جداگانه داخل این محدوده در نظر گرفته شد و نتایج نشان داد که افزایش تفکیک افقی، علی‌رغم بهبود نسبی پیش‌بینی شدت، از کیفیت پیش‌بینی مسیر کاسته شده است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که محدوده‌ی داخلی ثابت نسبت به محدوده داخلی قابل حرکت از عملکرد بهتری برخوردار می‌باشد. در ادامه، حساسیت شبیه‌سازی به زمان‌های شروع متفاوت برای بهترین محدوده‌ی انتخابی مطالعه گردید و نتایج نشان داد که شبیه‌سازی با زمان شروع ۴۸ الی ۶۰ ساعت قبل از وقوع اوج طوفان (زمانی که فشار مرکزی طوفان تقریباً ۱۰۰۰ هکتوپاسکال بوده) دارای عملکرد بهتری در نتایج مسیر و شدت طوفان می‌باشد. طراحی محدوده‌ها و زمان شروع مناسب برای طوفان گونو، در شبیه‌سازی طوفان حاره‌ای فت (۲۰۱۰) تشکیل شده در همین ناحیه، مورد آزمایش قرار گرفت و نتایج رضایت بخش بودند.

واژگان کلیدی: AHW، گونو، طوفان، شدت، مسیر

۱. مقدمه

حدود ۷٪ طوفان های حاره ای تشکیل شده در سرتاسر جهان در محدوده شمال اقیانوس هند (شامل دریای عرب و خلیج بنگال) رخ می دهند و حدود ۲٪ طوفان های حاره ای فقط در منطقه دریای عرب تشکیل می شوند (گزارش سازمان جهانی هواشناسی، ۲۰۰۸).

با توجه به ماهیت (بادهای خیلی قوی و بارندگی سنگین) طوفان های حاره ای، می توانند اثرات زیان بار و مخربی در محدوده های تحت نفوذ خود ایجاد کنند. از این رو پیش بینی مسیر و شدت طوفان های حاره ای می تواند نقش مهمی در کاهش خسارت جانی و مالی ایفا کند. در این تحقیق از مدل AHW^۱ توصیف شده توسط دیویس و همکاران (۲۰۰۸) که مدل پشرفته WRF^۲ با هسته مرکزی ARW^۳ می باشد، به عنوان یک مدل پر قدرت برای پیش بینی مسیر و شدت طوفان حاره ای گونو^۴ (۲۰۰۷، دریای عرب) استفاده گردید.

پیش بینی مسیر و شدت طوفان گونو با استفاده از مدل های پیش بینی در سال های اخیر مورد تحقیق تعدادی از دانشمندان قرار گرفته بود که از این جمله می توان به مطالعه موهانتی و پاتاناباک (۲۰۰۸) که مقایسه ای بین عملکرد دو مدل MM5^۵ و WRF (ARW) برای شبیه سازی طوفان های تشکیل شده در شمال اقیانوس هند می باشد، اشاره کرد. مطالعه مذکور نشان داد که مدل WRF (ARW) در مقایسه با مدل MM5 در پیش بینی مسیر و شدت طوفان دارای عملکرد مناسب تری می باشد و در خصوص طوفان گونو، پیش بینی تقریباً خوبی از مسیر تا لحظه رسیدن به سواحل شمال شرقی عمان داشته است، ولی در پیش بینی مسیر طوفان به سمت ایران دارای عملکرد ضعیف می باشد. همچنین کریشنا و

همکاران (۲۰۱۱) جهت تعیین حساسیت مدل WRF (ARW) به انتخاب طرح واره های فیزیکی برای لایه مرزی سیاره ای و همرفت کومولوس در طوفان حاره ای گونو مطالعه ای انجام دادند که نتایج آن در بهترین حالت نشان می دهد که پیش بینی مسیر در زمان رسیدن به سواحل جنوب شرقی ایران عملکرد مناسبی را دارد اما پیش بینی آن برای مسیر عبوری از شمال شرقی عمان ضعیف بوده است. در دو تحقیق مذکور مدل در پیش بینی مقدار اوج شدت طوفان و زمان رخ داد آن دارای عملکرد ضعیفی بوده است. کومار (۲۰۱۱) برای اولین بار از مدل AHW در منطقه شمال اقیانوس برای شبیه سازی طوفان سیدر^۶ (۲۰۰۷، خلیج بنگال) استفاده کرده بود و نتایج تحقیق او به بهبود نتایج پیشین از قبیل پاتاناک (۲۰۰۸) و باسکار (۲۰۱۰) در خصوص همین طوفان منجر گردید. در این تحقیق سعی شده است که با استفاده از مدل AHW و با تحقیق حساسیت مدل به موقعیت محدوده ی انتخابی، تفکیک افقی با قرار دادن آشیانه های ثابت و متحرک در محدوده ی بزرگتر و زمان شروع شبیه سازی ها به بهبود نتایج پیشین برای شبیه سازی طوفان گونو پرداخته و در نهایت با ارتقای پیکر بندی، نیل به پیش بینی قابل اعتماد از اوج شدت هر طوفان تشکیل شده در این منطقه و مسیر آن حاصل گردد. مطالعه حساسیت مدل به موقعیت محدوده ی انتخابی از تحقیق کومار (۲۰۱۱)، مطالعه حساسیت مدل به تفکیک افقی از تحقیق دیویس (۲۰۱۰) و مطالعه حساسیت مدل به زمان شروع شبیه سازی از تحقیق کومار (۲۰۱۱) و کانسه (۲۰۱۱) برگرفته شده است. در ادامه، شبیه سازی با بهترین پیکربندی بدست آمده برای طوفان فت (۲۰۱۰، دریای عرب) انجام گردید و نتایج آن در ادامه ارائه شده است.

۲. مواد و روش ها

۲-۱ مورد انتخابی: طوفان گونو

1- Advanced Hurricane WRF

2- Weather Research and Forecasting

3- Advanced Research WRF

4- Gonu

5- Fifth-generation Pennsylvania State University-National Center for Atmospheric Research Mesoscale Model

ویژگی های منحصر به فرد آن می توان به موارد زیر اشاره کرد:

- قابلیت استفاده از آشیانه های قابل حرکت با روش آشیانه سازی دو سویه بمنظور پیگیری طوفان
- قابلیت جفت شدگی با مدل های اقیانوسی به منظور به حساب آوردن دقیق دمای سطح دریا (SST^۵)، عمق لایه آمیخته اقیانوسی و کاهش دما با عمق در زیر لایه آمیخته اقیانوسی
- طرح واره های اختصاصی برای ارتقای تبادل اندازه حرکت، حرارت و رطوبت بین سطح اقیانوس و جو خصوصاً در شرایط باد سطحی زیاد
- دارا بودن چندین تکنیک برای ارتقای شرایط اولیه (مانند ابزار tc.exe) که موقعیت دقیق مرکز طوفان و شدت آن در زمان شروع شبیه سازی با استفاده از اطلاعات ماهواره ای و مشاهدات محلی برای شبیه سازی و پیش بینی می تواند در نظر گرفته شود.

۲-۳ پیکربندی های استفاده شده

برای تعیین طرح واره های فیزیکی مناسب، ضمن بررسی و آزمایش طرح واره های فیزیکی متفاوت و معمول برای شبیه سازی طوفان های حاره ای در نهایت از طرح واره های فیزیکی آزمایش شده در مطالعه کومار و همکاران (۲۰۱۱) استفاده گردید که جدول ۱ طرحواره های فیزیکی و سایر پیکر بندی مدل را نشان می دهد.

به منظور مطالعه حساسیت شبیه سازی ها به طراحی محدوده، سه محدوده انتخابی به طور جدا گانه با تفکیک افقی ۲۷ km که دارای ۱۱۰ × ۱۴۵ نقاط شبکه^۶ در راستای محورهای x و y می باشد در نظر گرفته شد. جدول ۲ و شکل ۱ مشخصات و مختصات محدوده های انتخابی در این تحقیق را معرفی می کنند. مراکز هر سه محدوده در عرض جغرافیایی ۱۰ درجه اما در طول جغرافیایی متفاوت ۵۷، ۸۰.۵ و ۸۳.۵ درجه به ترتیب برای محدوده های انتخابی اول،

طوفان گونو قویترین چرخند حاره ای است که تاکنون در دریای عرب و حتی در شمال اقیانوس هند رخ داده است. بطور معمول طوفان هایی که در دریای عرب شکل می گیرند، ضعیف و دارای دوره زندگی کوتاه مدت هستند. طوفان گونو در میان طوفان های دریای عرب یک استثنا بوده است و علت آن حرکت غیر عادی به سمت دریای عرب و سواحل کشور عمان در شمال غربی اقیانوس هند بوده است. به گزارش سازمان هواشناسی هند (۲۰۰۸) (IMD^۱) این طوفان در اول ژوئن ۲۰۰۷ با فشار مرکزی ۱۰۰۲ هکتو پاسکال در موقعیت ۱۵ درجه شمالی و ۶۸ درجه شرقی تشکیل و در هفتم ژوئن ۲۰۰۷ هنگام عبور از سواحل جنوب شرقی ایران و در طول جغرافیای ۵۸ درجه شرقی از شدت آن کاسته و رو به افول گردید. لشکری و کیخسروی (۱۳۸۹) به شرایط همدیدی شکل گیری طوفان گونو پرداخته اند. طوفان گونو در اوج شدت خود کمترین فشار مرکزی حدود ۹۲۰ هکتو پاسکال و حداکثر سرعت باد ۱۲۷ نات را تجربه کرد. میزان خسارت وارده این طوفان در کشور عمان ۴/۲ میلیارد دلار با ۵۰ نفر کشته و در کشور ایران حدود ۲/۵ میلیون دلار با ۳۲ نفر کشته گزارش شده است (گزارش سازمان هواشناسی هند، ۲۰۰۸).

۲-۲ مدل عددی انتخابی: AHW

سازمان های پشتیبانی کننده WRF مانند NCEP^۱ و NCAR^۳ با استفاده از ساختار کلی مدل WRF به طراحی مدل هایی پرداختند که بتواند مسیر، شدت و ساختار یک طوفان را به بهترین نحو ممکن پیش بینی کند. مدل HWR^۴ توسط NCEP و مدل AHW توسط NCAR از این قبیل مدل ها می باشند. مدل AHW در واقع مدل پشرفته WRF (ARW) برای پیش بینی طوفان های حاره ای می باشد که در این مطالعه به کار گرفته شده است. از

1-Indian Meteorological Department

2-National Centers for Environmental Prediction

3-National Center for Atmospheric Research

4-Hurricane WRF

5-Sea Surface Temperature

6- Grind Points

هفت شبیه سازی برای طوفان گونو انجام پذیرفت که ششم و هفتمین آن به منظور مطالعه حساسیت به زمان شروع شبیه سازی ها بر روی محدوده ی انتخابی سوم می باشد که شبیه سازی به ترتیب با شروع زمانی ساعت ۰۰ روز سوم ژوئن به مدت پنج روز و ساعت ۰۰ روز چهارم ژوئن به مدت چهار روز انجام پذیرفته است. اطلاعات بهترین مسیر حرکت و شدت طوفان گونو به منظور راست آزمایی شبیه سازی های انجام گرفته در این تحقیق از سازمان هواشناسی هند (IMD) دریافت شده است.

دوم و سوم قرار دارند. سه شبیه سازی اول بر روی این سه محدوده انتخابی انجام گرفت. جدول ۳ مشخصات هفت شبیه سازی انجام گرفته در این تحقیق را ارائه می کند. به منظور مطالعه حساسیت شبیه سازی ها به قدرت تفکیک، آشیانه های ثابت (دارای 100×100 نقاط شبکه) و قابل حرکت (دارای 45×45 نقاط شبکه) به طور جداگانه داخل محدوده ی انتخابی سوم در نظر گرفته شد که شبیه سازی چهارم و پنجم به ترتیب برای این آشیانه ها می باشد.

پنج شبیه سازی اول از شروع زمان ساعت ۰۰ روز دوم ژوئن به مدت شش روز انجام پذیرفت. در مجموع

جدول ۱. نمای کلی از طرح واره های فیزیکی و پیکر بندی مدل AHW

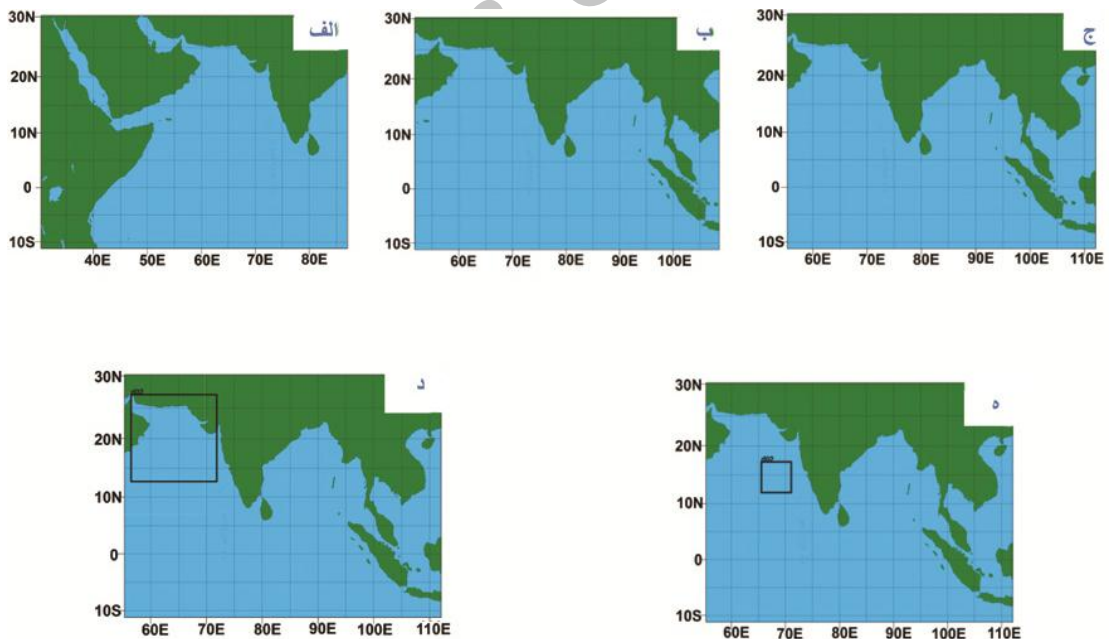
| Model | AHW |
|----------------------------------|-------------------------------|
| Time integration scheme | 3rd order Runge-Kutta scheme |
| Spatial differencing scheme | 6th order center differencing |
| Micro physics | WSM 6 (Hong,2004) |
| Long wave Radiation scheme | RRTM (Mlawer,1997) |
| Short wave Radiation scheme | Dudhia (Dudhia,1989) |
| Surface layer parameterization | Thermal diffusion scheme |
| Planetary boundary layer physics | YSU (Noh,2003) |
| Cumulus scheme | Kain-Fritsch |
| Boundary conditions | NCEP FNL (Global analysis) |
| Isftcflx (Surface drag) | 1 (Donelan,2004) |
| Ocean mixed layer | 40m |
| Lapse rate | 0.14 k/m |
| Vertical resolution | 42 levels |
| P top _requested | 2000 p |

جدول ۲. محدوده های انتخابی استفاده شده در تحقیق موجود

| محدوده های انتخابی | مرکز | نقاط شبکه | تفکیک افقی |
|------------------------------------|----------------------|------------------|------------|
| محدوده ی اول | $E57^{\circ}N, 10$ | 145×110 | 27 km |
| محدوده ی دوم | $E80.5^{\circ}N, 10$ | 145×110 | 27 Km |
| محدوده ی سوم | $E83.5^{\circ}N, 10$ | 145×110 | 27 Km |
| آشیانه ثابت داخل محدوده ی سوم | $E63^{\circ}N, 20$ | 100×100 | 9 Km |
| آشیانه قابل حرکت داخل محدوده ی سوم | $E67.5^{\circ}N, 15$ | 45×45 | 9 Km |

جدول ۳. شبیه سازی های انجام گرفته در تحقیق موجود

| نامگذاری | محدوده ی انتخاب شده | زمان شروع شبیه سازی ها | مدت شبیه سازی ها |
|-----------------|------------------------------------|------------------------|------------------|
| شبیه سازی اول | محدوده ی اول | 0000utc/02/june/2007 | ۶ روزه |
| شبیه سازی دوم | محدوده ی دوم | 0000utc/02/june/2007 | ۶ روزه |
| شبیه سازی سوم | محدوده ی سوم | 0000utc/02/june/2007 | ۶ روزه |
| شبیه سازی چهارم | آشیانه ثابت داخل محدوده ی سوم | 0000utc/02/june/2007 | ۶ روزه |
| شبیه سازی پنجم | آشیانه قابل حرکت داخل محدوده ی سوم | 0000utc/02/june/2007 | ۶ روزه |
| شبیه سازی ششم | محدوده ی سوم | 0000utc/03/june/2007 | ۵ روزه |
| شبیه سازی هفتم | محدوده ی سوم | 0000utc/04/june/2007 | ۴ روزه |



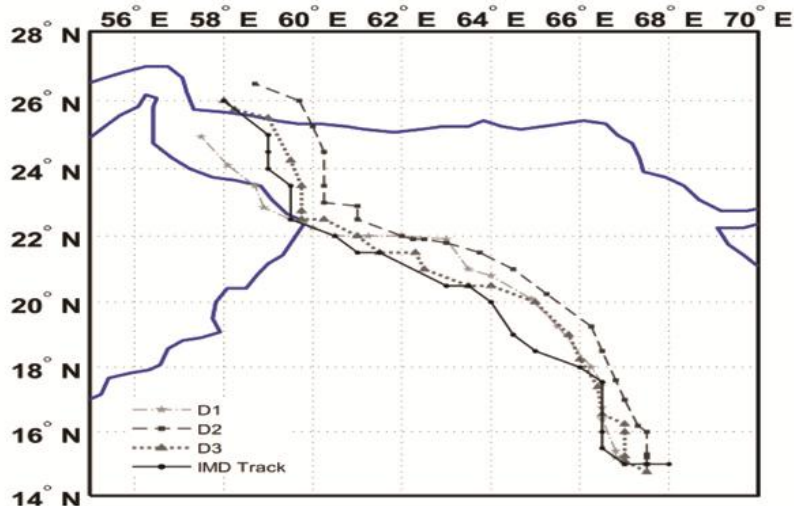
شکل ۱. محدوده های انتخابی الف: محدوده ی اول (D1)، ب: محدوده ی دوم (D2)، ج: محدوده ی سوم (D3)، د: انتخاب آشیانه ثابت داخل محدوده ی سوم (Fixed nest) و ه: انتخاب آشیانه قابل حرکت داخل محدوده ی سوم (Moving nest)

۳. نتایج

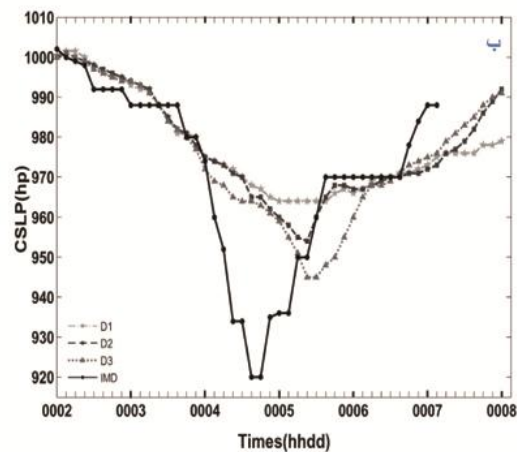
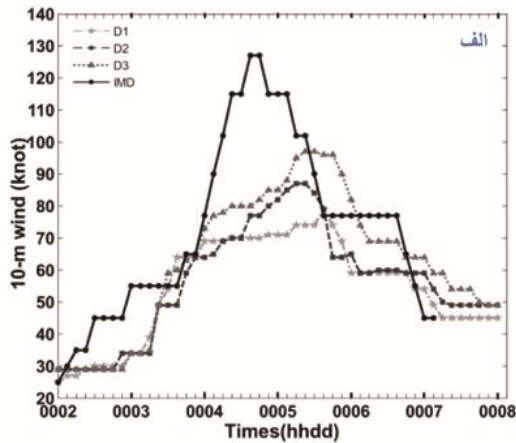
۱-۳ نتایج حساسیت شبیه سازی به موقعیت محدوده ی انتخابی (سه شبیه سازی اول) (شبهه سازی اول) در زمان برخورد به سواحل عمان دارای کمترین اشتباه، اما دارای تاخیر زمانی ۲۴ ساعت نسبت به IMD می باشد (شکل ۲). طوفان در راه رسیدن به ایران انحراف بیشتری به سمت غرب پیدا کرده و به سواحل ایران نمی رسد. برای محدوده ی دوم (شبهه سازی دوم) مسیر طوفان دارای انحراف بیشتری می باشد به طوری که در مسیر عبوری خود از سواحل عمان عبور نمی کند و با تاخیر زمانی ۱۵ ساعت و اختلاف ۱۰۰ کیلومتر از IMD به سواحل جنوب شرقی ایران برخورد می کند. پیش بینی مسیر برای محدوده ی سوم (شبهه سازی سوم) از کیفیت مناسب تری برخوردار است به طوری که پیش بینی مدل از مسیر در زمان برخورد به سواحل شرقی عمان با تاخیر زمانی ۱۸ ساعت، دارای اختلاف ۹ کیلومتر از IMD می باشد و در ادامه، طوفان با تاخیر زمانی ۱۵ ساعت و اختلاف ۴۰ کیلومتر از IMD خود را به سواحل جنوب شرقی ایران رسانده است. همانطور که از شکل ۳ مشخص است پیش بینی شدت طوفان برای محدوده ی اول و سوم در زمان برخورد به عمان به ترتیب مقدار ۹۷۲ و ۹۷۳ هکتو پاسکال برای فشار مرکزی، ۶۰ و ۶۵ نات برای بیشینه سرعت باد ۱۰ متری می باشد که اختلاف آن با IMD مقدار ۲ و ۳ هکتو پاسکال بیشتر برای فشار مرکزی، ۱۷ و ۱۲ نات کمتر برای بیشینه سرعت باد ۱۰ متری می باشد.

پیش بینی شدت طوفان برای محدوده ی دوم و سوم در زمان برخورد به ایران به ترتیب مقدار ۹۷۵ و ۹۸۸ هکتو پاسکال برای فشار مرکزی، ۴۵ و ۴۹ نات برای بیشینه سرعت باد ۱۰ متری می باشد که نسبت به IMD مقدار ۱۳ و صفر هکتو پاسکال بیشتر برای فشار مرکزی، صفر و ۴ نات بیشتر برای بیشینه سرعت باد ۱۰ متری می باشد. اوج شدت طوفان برای محدوده ی اول، دوم و سوم به ترتیب با تاخیر زمانی ۱۵، ۶ و ۱۵ ساعت، مقدار ۹۵۵، ۹۶۵ و ۹۴۵ هکتو پاسکال برای فشار مرکزی، ۸۵، ۷۵ و ۹۷ نات برای بیشینه سرعت باد ۱۰ متری می باشد که نسبت به IMD مقدار ۳۵، ۴۵ و ۲۵ هکتو پاسکال بیشتر برای فشار مرکزی، ۴۲، ۵۲ و ۳۰ نات کمتر برای بیشینه سرعت باد ۱۰ متری می باشد.

محدوده ی سوم در پیش بینی مسیر دارای بهترین عملکرد و در پیش بینی شدت طوفان در زمان های رسیدن به سواحل عمان و ایران دارای عملکرد قابل قبول می باشد. اگر چه این محدوده در پیش بینی اوج شدت طوفان دارای عملکرد بهتری از سایر محدوده های انتخابی است، اما قابل ارتقا نسبت به مشاهدات (IMD) می باشد. در ادامه به منظور بهبود این نتایج و مطالعه حساسیت شبیه سازی به قدرت تفکیک و با در نظر گرفتن تحقیقات دیویس و همکاران (۲۰۱۰)، آشیانه های ثابت و قابل حرکت به طور جدا گانه داخل این محدوده (محدوده ی سوم) در نظر گرفته شده است.



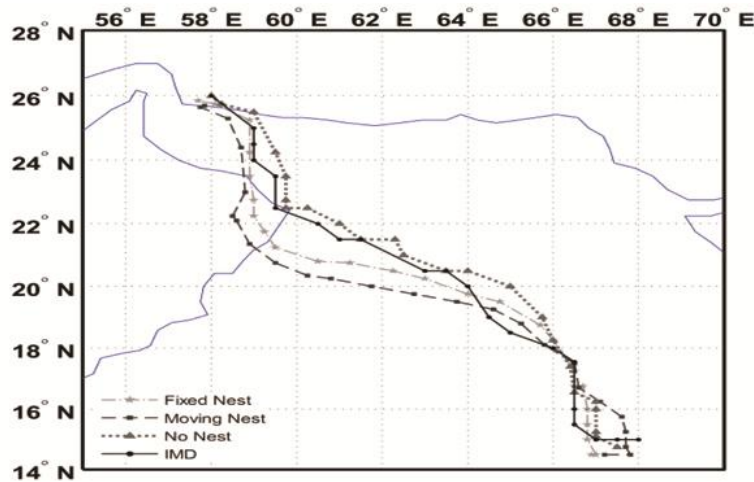
شکل ۲. مسیرهای پیش بینی شده برای سه محدوده ی انتخابی اول



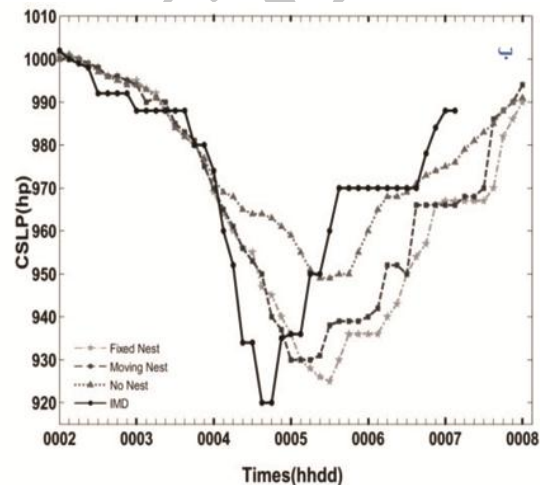
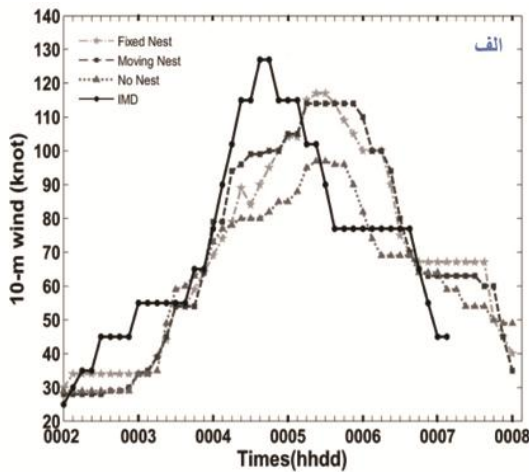
شکل ۳. شدت پیش بینی شده در عبارت های بیشینه سرعت باد ۱۰ متری (الف) و فشار مرکزی طوفان (ب) برای سه محدوده ی انتخابی اول

۱۰ هکتو پاسکال بیشتر برای فشار مرکزی، ۹ و ۱۲ نات کمتر برای بیشینه سرعت باد ۱۰ متری می باشد. علی رغم این که مقدار شدت طوفان را در زمان اوج با کمترین اختلاف نسبت به IMD پیش بینی شده، ولی از کیفیت پیش بینی مسیر به خصوص در زمان برخورد به عمان، در مقایسه با شبیه سازی که برای محدوده ی سوم (شبیه سازی سوم) داشتیم کاسته شده است. همچنین از شکل ۴ پیداست که حالت آشیانه ثابت نسبت به آشیانه قابل حرکت در پیش بینی مسیر از عملکرد بهتری برخوردار است.

۲-۳ نتایج حساسیت به تفکیک افقی و آشیانه سازی با قرار دادن آشیانه های ثابت و متحرک داخل محدوده ی سوم قدرت تفکیک را با سه برابر افزایش و به ۹ کیلومتر رساندیم (شکل ۱) که شبیه سازی های چهارم و پنجم بر روی این آشیانه ها صورت گرفته است. پیش بینی اوج شدت طوفان برای حالت آشیانه ثابت و متحرک (شکل ۵) به ترتیب با تاخیر زمانی ۱۵ و ۱۲ ساعت، مقدار ۹۲۵ و ۹۳۰ هکتو پاسکال برای فشار مرکزی، ۱۱۸ و ۱۱۵ نات برای بیشینه سرعت باد ۱۰ متری می باشد که اختلاف آن با IMD مقدار ۵ و



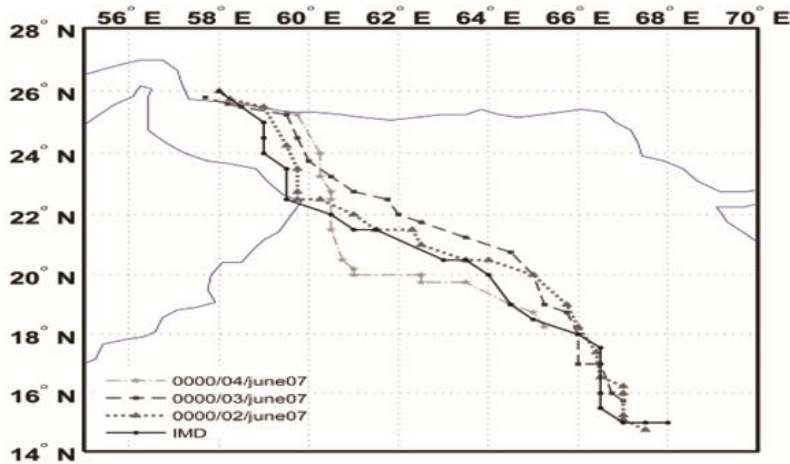
شکل ۴. مسیر های پیش بینی شده برای حالت بدون آشیانه، آشیانه سازی ثابت و آشیانه سازی متحرک داخل محدوده ی سوم



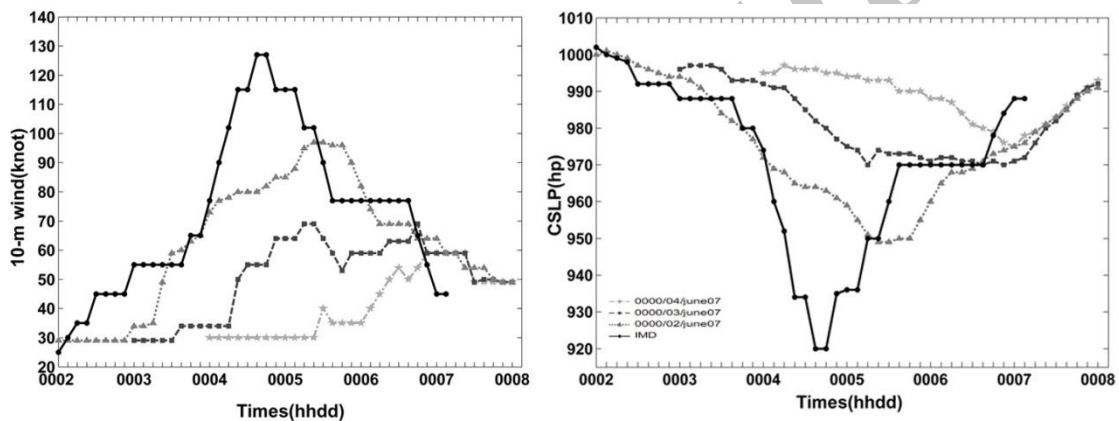
شکل ۵. شبیه شکل ۳ برای حالت بدون آشیانه، آشیانه سازی ثابت و آشیانه سازی متحرک

دوم، روز سوم و روز چهارم ژوئن نشان می دهد. همانطور که از شکل ۷ پیداست هر چقدر شروع زمان شبیه سازی شبیه سازی به نقطه اوج شدت طوفان نزدیک باشد مدل در پیش بینی شدت طوفان در نقطه اوج بسیار ضعیف عمل می کند و همچنین در پیش بینی مسیر، طوفان از سواحل عمان عبور نمی کند و در مسیر عبوری خود با اختلاف زیادی به سواحل جنوب شرقی ایران می رسد (شکل ۶).

۳-۳ نتایج حساسیت به زمان شروع شبیه سازی شروع زمانی ساعت ۰۰ روز سوم ژوئن به مدت پنج روز (شبیه سازی ششم) و ساعت ۰۰ روز چهارم ژوئن به مدت چهار روز (شبیه سازی هفتم) انتخاب و نتایج آن با شبیه سازی سوم که بر روی محدوده ی سوم و شروع زمانی ساعت ۰۰ روز دوم ژوئن به مدت شش روز انجام شده بود مقایسه شد. IMD مقدار ۹۹۸، ۹۹۰ و ۹۸۰ هکتو پاسکال را برای فشار مرکزی طوفان به ترتیب برای شروع زمانی ساعت ۰۰ روز



شکل ۶. مسیر های پیش بینی شده برای شروع زمان های متفاوت شروع شبیه سازی



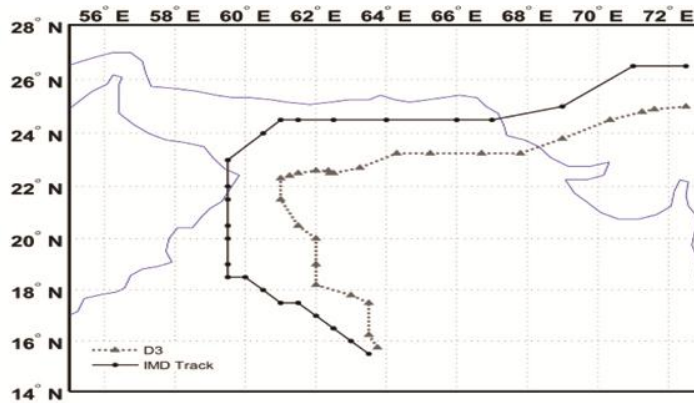
شکل ۷. شبیه شکل (۵) برای شروع زمان های متفاوت

به سواحل پاکستان می رسد. مسیر IMD و شبیه سازی شده نشان می دهد که طوفان فت از شروع زمانی شبیه سازی تا زمان برخورد به سواحل پاکستان دارای تغییر جهت حدود ۱۳۰ درجه می باشد. پیش بینی مدل از شدت طوفان در نقطه اوج با تاخیر ۶ ساعته مقدار ۷۰ نات برای بیشینه سرعت باد ۱۰ متری و ۹۶۸ هکتو پاسکال برای فشار مرکزی طوفان می باشد و این در حالی است که IMD مقدار ۸۵ نات برای ماکزیمم سرعت باد ۱۰ متری و ۹۶۴ هکتو پاسکال برای فشار مرکزی طوفان را نشان می دهد (شکل ۹). در کل این نتایج برای پیش بینی یک طوفان حاره ای رضایت بخش به نظر می رسد.

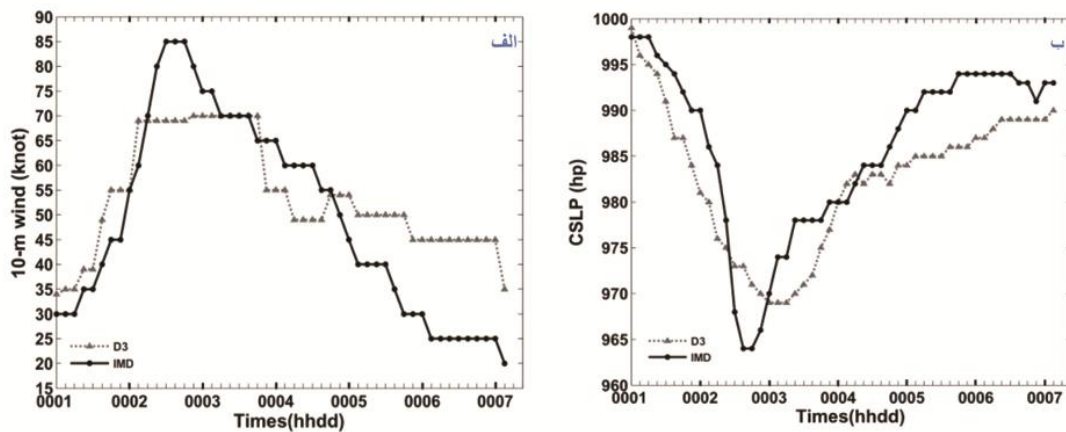
۴- نتایج آزمایش پیکربندی بر روی طوفان فت (۲۰۱۰)

پیکربندی شبیه سازی سوم (شکل ۱، جدول ۱) برای شبیه سازی طوفان فت (۲۰۱۰، دریای عرب) مورد آزمایش قرار گرفت. زمان شروع شبیه سازی از تاریخ 0000UTC/01/june/2010 (قبل از عمیق شدن کم فشار) در نظر گرفته شده است و شبیه سازی برای مدت ۱۵۰ ساعت انجام گردید.

همانطور که از شکل ۸ پیداست، مسیر پیش بینی شده طوفان فت از عمان عبور نمی کند و نزدیک ترین فاصله ای که از سواحل شرقی عمان عبور می کند ۹۵ کیلومتر می باشد. طوفان در ادامه مسیر خود با پیش زمانی ۹ ساعته و اختلاف حدود ۸۰ کیلومتر



شکل ۸. مسیر پیش بینی شده طوفان فت برای محدوده ی سوم (D3)



شکل ۹. شبیه شکل (۳) برای طوفان فت و برای محدوده ی سوم (D3)

سواحل عمان و ایران دارای عملکرد قابل قبول می باشد. ارتقای شبیه سازی و حساسیت به زمان شروع شبیه سازی قبل از عمیق شدن کم فشار با نتایج کانسه (۲۰۱۱) دارای انطباق کامل می باشد. اگر چه این محدوده (محدوده ی سوم) در پیش بینی مدل از شدت طوفان در نقطه اوج دارای عملکرد هر چند بهتر از سایر محدوده های انتخابی است، اما در مقایسه با IMD همچنان قابل ارتقا می باشد و قرار دادن آشیانه های ثابت و متحرک به طور جداگانه در داخل محدوده ی بزرگتر و بالا بردن تفکیک افقی تا ۹ کیلومتر، اگر چه این نقیضه را بهبود می بخشد اما به طور قابل توجه ای از کیفیت پیش بینی مسیر می

۴. بحث و نتیجه گیری

بعد از آزمایشات صورت گرفته، به وضوح حساسیت شبیه سازی ها به موقعیت محدوده ی انتخابی، تفکیک افقی و همچنین شروع زمان شبیه سازی در پیش بینی مسیر و شدت طوفان های حاره ای مشاهده گردید. شبیه سازی ها با انتخاب محدوده ای که در جهت شرق گسترش داشته و شروع شبیه سازی در زمان قبل از عمیق شدن کم فشار یا به عبارتی دیگر، زمانی که فشار مرکزی سیستم کم فشار تقریباً مقدار ۱۰۰۰ هکتو پاسکال را نشان می دهد، در پیش بینی مسیر طوفان دارای نتایج رضایت بخش و در پیش بینی شدت طوفان در زمان های رسیدن به

کاهد. همچنین نشان داده شد که آشیانه ثابت نسبت به آشیانه قابل حرکت از عملکرد با کیفیت تری برخوردار می باشد ولی در عمل، آشیانه سازی متحرک با توجه به حجم پردازش کمتر و قرار گرفتن مرکز طوفان در مرکز آشیانه در خلال شبیه سازی مزیت هایی دارد. بطور کاربردی می توان از نتایج شبیه سازی های محدوده های اولیه برای پیش بینی مسیر و از نتایج شبیه سازی محدوده های داخلی برای پیش بینی شدت استفاده نمود. حساسیت شبیه سازی به محدوده ی انتخابی می تواند به علت حساسیت الگوهای تراز فوقانی شبیه سازی شده (مانند تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال) در محدوده های مختلف باشد (کومار، ۲۰۱۱). همچنین تفاوت در فرارفت های افقی رطوبت و دمایی در محدوده های مختلف، می تواند علتی دیگر برای حساسیت شبیه

سازی طوفان به محدوده ی انتخابی باشد. فشار مرکزی ۱۰۰۰ هکتوپاسکال برای زمان شروع شبیه سازی زمانی می باشد که کم فشار شکل گرفته با توجه به شرایط همدیدی موجود با شدت بیشتری می تواند عمیق شود، به عبارتی وقتی شبیه سازی بعد از این زمان یعنی بعد از شدت گرفتن طوفان آغاز شود، مدل توانایی شبیه سازی فرآیندهای دینامیکی و ترمودینامیکی آتی پدیده را نخواهد داشت و این مورد در این تحقیق به وضوح مشاهده گردید. بمنظور ارائه خلاصه ای از عملکرد شبیه سازی ها، جدول ۴ خطا در پیش بینی مسیر، فشار مرکزی و بیشینه سرعت باد ۱۰ متری طوفان در نزدیکی ساحل ایران، عمان و نقطه اوج شدت طوفان و همچنین خطای زمانی رسیدن طوفان به این نقاط را به طور کامل ارائه می دهد.

جدول ۴. برای ۷ حالت آزمایش شده در این تحقیق، خطای پیش بینی مسیر طوفان در لحظه ی برخورد به عمان و ایران (LFPE^۱) بر حسب کیلومتر، خطای زمانی پیش بینی برخورد طوفان به این مناطق (LFTE^۲) بر حسب ساعت، خطای پیش بینی بیشینه سرعت باد ۱۰ متری و کمینه فشار مرکزی طوفان در این مناطق (LFCPE^۳، LFMWE^۴) به ترتیب بر حسب نات و هکتوپاسکال، خطای پیش بینی بیشینه سرعت باد ۱۰ متری و کمینه فشار مرکزی طوفان در نقطه ی اوج شدت طوفان (PICPE^۵، PIMWE^۶) به ترتیب بر حسب حساب نات و هکتوپاسکال و خطای زمانی پیش بینی این نقطه (PITE^۷) بر حسب ساعت در این جدول نشان داده شده اند. + و - برای خطای زمانی به ترتیب عقب و جلو بودن زمان پیش بینی شده و برای خطا در فشار و سرعت باد به ترتیب مقدار کمتر و بیشتر پیش بینی شده را نشان می دهد.

| نقطه اوج شدت طوفان | عمان | | | ایران | | | آزمایشات |
|---------------------------|------|-----|-----|-------|-----|-----|-----------|
| | LFT | LFC | LFM | LFT | LFC | LFM | |
| | E | PE | WE | E | PE | WE | |
| D1 | -۲۴ | -۵ | -۱۹ | - | - | - | NO L.F |
| D2 | - | - | - | ۱۰۰ | -۱۵ | -۱۳ | ۰ |
| D3 | -۱۸ | +۳ | -۱۲ | ۴۰ | -۱۵ | ۰ | +۴ |
| Moving nest in D3 | -۱۸ | -۲۰ | +۲۳ | ۳۰ | -۲۱ | -۲۱ | +۱۳ |
| Fixed nest in D3 | -۶ | -۲۵ | +۲۳ | ۰ | -۱۵ | -۲۱ | +۲۷ |
| 0000utc/03/june/07 for D3 | - | - | - | ۷۰ | -۱۸ | ۰ | +۴ |
| 0000utc/04/june/07 for D3 | - | - | - | ۹۵ | -۱۸ | ۰ | +۴ |

۱- Land fall position error(km)

۲- Land fall time error(hour)

۳- Land fall max wind 10m error(knot)

۴- Land fall center pressure error(hp)

۵- Peak of intensification time error(hour)

۶- Peak of intensification max wind 10m error(knot)

۷- Peak of intensification center pressure error(hp)

2008, Cyclone e-Atlas published by IMD., New Delhi.

Indian Meteorological Department (IMD) report, 2008. Report on cyclonic disturbances over north Indian Ocean during 2007, New Delhi.

Kanase, R. D., and Salvekar, P. S., 2011. Numerical simulation of severe cyclonic storm LAILA (2010): Sensitivity to initial condition & cumulus parameterization scheme. Disaster Risk Vulnerability Conference. Germany, March 12–14.

Krishna, K.O., Mohanty, U.C., Routray, A., Makarand, A.K., Mohapatra, M., 2012. Customization of WRF-ARW model with physical parameterization schemes for the simulation of tropical cyclones over North Indian Ocean. Nat. Haz. 63: 1337-1359.

Kumar, A., Done, J., Dudhia, J., 2011. Simulations of Cyclone Sidr in the Bay of Bengal with a high-resolution model: sensitivity to large-scale boundary forcing. Meteorol. Atmos. Phys. DOI 10.1007/s00703-011-0161-9.

Mlawer, E.J., Taubman, S.J., Brown, P.D., Lacono, M.J., Clough, S.A., 1997. Radiative transfer for inhomogeneous atmosphere: RRTM, a validated correlated-k model for the long-wave. J. Geophys. Res. 102: 16663–16682.

Noh, Y., Cheon, W.G., Hong, S.Y., Raasch, S., 2003. Improvement of the k-profile model for the planetary boundary layer based on large eddy simulation data. Bound. Layer Meteorol. 107: 401–427.

Pattanayak, S., Mohanty, U.C., 2008. A comparative study on performance of MM5 and WRF models in simulation of tropical cyclones over Indian seas. Curr. Sci. 95: 923-936.

World Meteorological Organization technical document, 2008. Tropical cyclone operational plan for the Bay of Bengal and the Arabian Sea. Document No. WMO/TDNo. 84, 1.

منابع

لشکری، ح.، کیخسروی، ق.، ۱۳۸۹. تحلیل سینوپتیکی توفان گنو و اثرات آن بر جنوب شرق ایران، مجله جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، شماره ۳، صفحه ۲۰-۱.

Bhaskar Rao, D.V., Srinivas, D., 2010. Real-time prediction of SIDR Cyclone over Bay of Bengal using high-resolution mesoscale models. Indian Ocean Trop Cyclones Clim Chang. 3:159–167. doi:10.1007/978-90-481-3109-9_20.

Davis, C., Wang, W., Chen, S.S., Chen, Y., Corbosiero, K., DeMaria, M., Dudhia, J., Holland, G., Klemp, J., Michalakes, J., Reeves, H., Rotunno, R., Snyder, C., Xiao, Q., 2008. Prediction of land falling hurricanes with the Advanced Hurricane WRF model. Mon. Weather Rev. 136:1990–2005.

Davis, C., Wang, W., Dudhia, J., 2010. Does Increased Horizontal Resolution Improve Hurricane Wind Forecasts?. Wea. Forecas. 25: 1826–1841.

Donelan, M.A., Haus, B.K., Reul, N., Plant, W.J., Stiassnie, M., Graber, H.C., Brown, O.B., Saltzman, E.S., 2004. On the limiting aerodynamic roughness of the ocean in very strong winds. Geophys. Res. Letts. 31: 1-5.

Dudhia, J., 1989. Numerical study of convection observed during the winter monsoon experiment using a mesoscale two-dimensional model. J. Atmos. Sci. 46: 3077-3107.

Hong, S.Y., Dudhia, J., Chen, S.H., 2004. A revised approach to ice microphysical processes for the bulk parameterization of cloud and precipitation. Mon. Weather Rev. 132:103–120

Indian Meteorological Department (IMD) technical document, 2008. Track of storm and depressions over the Indian Seas during 1891–

Simulation of Cyclone Gonu using the Advanced Hurricane WRF: Sensitivity to Domain Coverage, Nesting, Resolution and Starting Time

Abstract

Domain design, different starting times and applying internal fixed and moving domains within the coarser simulation domain similar to different physical options can play important roles in the results of numerical models in order prediction of tropical cyclones. In this study, Gonu Tropical Cyclone (2007) that it was formed in the northern Indian Ocean (Arabian Sea) and Advanced Hurricane WRF Model (AHW) have been selected to demonstrate this sensitivity. Initial and boundary conditions, and the best track data in order to comparison was received from NCEP Final Analyses (FNL) data and the IMD (Indian Meteorological Department), respectively. The simulation results in domain design sensitivity showed, the domain that was extended more to the east and was included a lower coverage of the Persian Gulf had more accuracy in predicting of track and the best performance and also had an acceptable performance in predicting of hurricane intensity at the time to reach the coast of Oman and Iran. Although this domain in predicting the intensity peak of cyclone is better than other domain designs, but has weaker track than the available reality (IMD). Then, internal fixed and moving domains to separate within this domain is considered and the results showed that despite some improvement in simulated intensity error, there was a reduction of simulated cyclone track. Generally, the results showed that internal fixed domain rather than internal moving domain has the better performance in selected cases. Thereafter, different starting times were tested and the results showed that the simulation starting time, 48 to 60 hours before maximum intensity of storm or in other words, when the central pressure of system shows about 1000 hPa has the better performance in simulation of cyclone track and intensity. Finally, the best configuration is tested for Phet tropical cyclone (2010) that was formed in the same area. The results of this testing were satisfactory.

Keywords: AHW, Gonu, Cyclone, Intensity, Track