

## مدل سازی عددی پدیده جوی مسبب آبگرفتگی در نواحی ساحلی خلیج فارس

اسماعیل عباسی<sup>۱\*</sup>

[Esmail.abbasi@pgu.ac.ir](mailto:Esmail.abbasi@pgu.ac.ir)

هانا اعتمادی<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۳/۱۳

تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۹/۲۱

### چکیده

زمینه و هدف: اجرای مدل های عددی جو با قدرت تفکیک بالا یکی از بهترین ابزارها جهت واکاوی جو در زمان رخداد پدیده های حدی می باشد. پژوهش حاضر به مدل سازی عددی پدیده جوی مسبب آبگرفتگی سواحل ایرانی خلیج فارس که در تاریخ ۱۹ مارس سال ۲۰۱۷ به وقوع پیوست، پرداخته است.

روش بررسی: مدل عددی مورد استفاده، نسخه ۳/۸/۱ مدل WRF<sup>۳</sup> با هسته دینامیکی ARW<sup>۴</sup> می باشد که به کمک این مدل اقدام به ریز مقیاس نمایی و در واقع مدل سازی در منطقه انتخابی با مشخصات مرکزی عرض ۲۷ درجه و ۳۰ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۳۰ دقیقه شرقی با قدرت تفکیک ۱۰ کیلومتر شده است.

یافته ها: بعد از انجام مدل سازی عددی به کمک مدل WRF مشخص گردید که خروجی حاصل از مدل سازی پارامترهای جوی در منطقه مورد مطالعه با تعدادی از داده های واقعی اندازه گیری شده در ایستگاه سینوپتیک بخصوص دمای خشک و فشار تقریباً برابر بوده است. تحلیل نقشه و نمودارهای تولید شده به کمک مدل حکایت از وقوع توفان های تندری سوپر سلولی دارد که نتیجه آن خرد انفجارهای شدیدی است که بر روی سطح دریا در نزدیک سواحل بندر دیر رخ داده و نهایتاً سبب ایجاد چهار موج و آبگرفتگی در این سواحل شده است.

بحث و نتیجه گیری: براساس نتایج حاصل از خروجی های مدل، عامل اصلی رخداد این آبگرفتگی، وقوع یک توفان تندری سوپر سلول بر روی خلیج فارس و در فاصله نزدیک به سواحل بندر دیر تشخیص داده شد.

لغات کلیدی: مدل WRF، توفان تندری، انفجار پایین سو، بندر دیر

۱- استادیار گروه محیط زیست، پژوهشکده خلیج فارس دانشگاه خلیج فارس، بوشهر، ایران (مسوول مکاتبات)

۲- استادیار گروه محیط زیست، پژوهشکده خلیج فارس دانشگاه خلیج فارس، بوشهر، ایران

# **Numerical Modeling of Atmospheric Phenomena Causes a Water Logging in Coastal Areas of the Persian Gulf**

**Esmail Abbasi\*<sup>1</sup>**

[Esmail.abbasi@pgu.ac.ir](mailto:Esmail.abbasi@pgu.ac.ir)

**Hana Etemadi<sup>2</sup>**

Accepted: 2018.12.12

Received: 2018.10.05

## **Abstract**

**Background and Objectives:** Implementation of numerical models of atmosphere with high resolution is one of the best tools to investigate the atmosphere at the time of occurrence of extreme phenomena. The present study has conducted to survey a numerical modeling of the atmospheric phenomenon which generated a water logging in Persian Gulf coastal area that occurred on March 19, 2017.

**Method:** The WRF numerical model (version of 3.8.1) with the ARW dynamic core was used in this research. The WRF model are used to provide a dynamical downscaling and modeling in a selected domain with a central latitude of the 27° and 30 N and longitude 51° and 30° E in a 10 Km resolution.

**Results:** The results showed that atmospheric variables modeling outputs in the study site were nearly equal to observed station data especially in dry temperature and pressure climatic variables. Also, the maps and diagram which is produced by model, indicated that a supercell thunderstorm has occurred which is caused the severe explosions occurring on the sea surface near the coast of Bandar Dayyer and eventually causing four waves and water logging on these coasts.

**Discussion and Conclusion:** Based on the results of the model outputs, the main cause of this flood event was the occurrence of a supercell thunderstorms on the Persian Gulf near the coast of Bandar Dayyer.

**Key Words:** the WRF Model, Thunder Storm, Down Bursts, Bandar Dayyer

---

1- Assistant Professor, Environment Department, Persian Gulf Research Institute, Persian Gulf University, Bushehr, Iran \*(Corresponding Author)

2- Assistant Professor, Environment Department, Persian Gulf Research Institute, Persian Gulf University, Bushehr, Iran

## مقدمه

مدلسازی و شبیه‌سازی‌های عددی در حال حاضر به عنوان یکی از مهمترین و مناسب‌ترین ابزارها جهت آگاهی از رخداد پدیده‌های جوی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این مدل‌ها می‌توانند به امر پیش‌بینی پدیده‌های مختلف جوی در مقیاس‌های محلی، منطقه-ای و سیاره‌ای بپردازند. یکی از مهمترین مدل‌هایی که امروزه در جهان به صورت گسترده مورد استفاده محققان قرار گرفته است، مدل پیش‌بینی عددی WRF می‌باشد. این مدل در ابتدا به وسیله مرکز ملی پیش‌بینی محیطی ایالات متحده مورد استفاده قرار گرفت و بعد از آن توسط محققان (۳-۱) در طیف وسیعی از پروژه‌های تحقیقاتی مرتبط با شبیه‌سازی توربولانس‌های بزرگ مقیاس جوی تا پدیده‌های همرفتی شدید، چرخندزایی حاره‌ای و مدل‌های اقلیمی منطقه‌ای به کار گرفته شد (۴). در واقع این مدل در حال حاضر به طور گسترده‌ای در بسیاری از زمینه‌ها مثل پیش‌بینی هوا در مقیاس محلی، مطالعات مربوط به کیفیت هوا و تحقیقات اقلیم منطقه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد (۵). بنابراین دامنه تحقیقات در این زمینه بسیار وسیع است که در ادامه به تعدادی از آنها اشاره می‌شود.

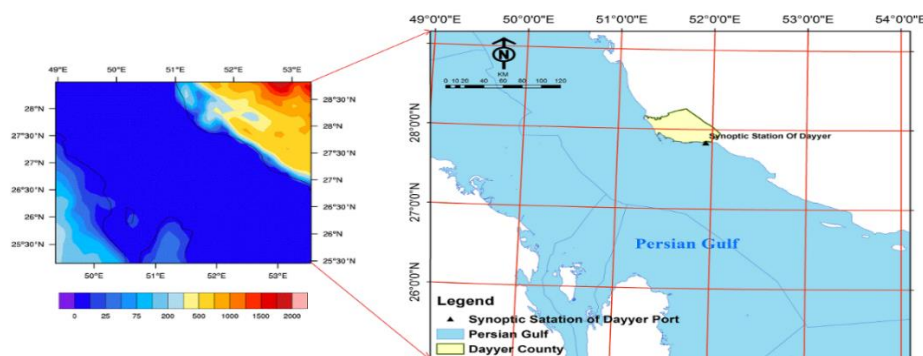
Evans و همکاران طی مطالعه‌ای در جنوب شرق استرالیا به بررسی اثر طرحواره‌های فیزیکی متفاوت در مدل WRF بر روی بارش‌های همرفتی میان مقیاس با ۳۶ پیکربندی مختلف برای چهار روز در این منطقه پرداختند (۶). Chotamonsak نیز با استفاده از چهار طرحواره پارامتری‌سازی همرفت به کمک مدل WRF به ارزیابی بارش در تایلند پرداختند و به این نتیجه رسیدند که در بین طرحواره‌های مورد استفاده طرحواره BMJ از میزان خطای کمتری دارد (۷). تعدادی از مطالعات نیز به کمک مدل WRF و طرحواره‌های مختلف این مدل به شبیه‌سازی و پیش‌بینی پرداخته‌اند (۸-۱۳). اغلب این محققان بر روی دوره‌های زمانی کوتاه مدت کمتر از چند روز تا چند هفته و منطقه‌های نسبتاً کوچک تمرکز داشته‌اند (۱۴).

با توجه به اطلاعات حاصل از رادار هواشناسی بوشهر در روز وقوع آبگرفتگی در سواحل ایرانی خلیج فارس (به خصوص بندر دیر) محور اصلی پژوهش حاضر به سمت توفان‌های تندری حادث شده در روز ۱۹ مارس ۲۰۱۷ بر روی خلیج فارس و مدلسازی عددی آنها متمرکز گردید. توفان‌های تندری در واقع سیستم‌های همرفتی عمیق رطوبت هستند که از صعود محلی هوای گرم و مرطوب و توده هوا شکل می‌گیرند (۱۵) و در حقیقت پدیده‌ای زودگذر است که مشخصه آن کوتاه بودن دوره زمانی است (۱۶). این توفان‌های تندری و بادهای حدی آنها نه تنها باعث خسارات مالی می‌شوند، بلکه تلفات جانی را نیز به همراه دارند (۱۹-۱۷). همچنین این توفان‌ها می‌توانند صاعقه، بارش‌های فرین، دانه‌های نگرگ با قطر بیش از ۲ سانتی متر، تندبادها با سرعت بیش از ۹۰ کیلومتر بر ساعت و تورنادوها را ایجاد نمایند (۲۰) و در حقیقت عامل ایجاد یک سوم سرعت‌های گاستی فرین در ایالات متحده هستند (۲۱). نتایج مدلسازی‌های عددی نشان داده است که حداکثر سرعت باد در این توفان‌ها در نزدیکی سطح زمین و بین ۱ و ۱/۵ برابر قطر جریان پایین رونده از مرکز جریان پایین رونده رخ می‌دهد (۲۲، ۲۳). همین‌طور مشاهدات نشان می‌دهد که تقریباً ۵ درصد از کل توفان‌های تندری، خرد انفجار ایجاد می‌کنند که به وسیله جریان پایین‌سوی قوی و انفجار بیرون سوی بادهای شدید نزدیک سطح زمین مشخص می‌شوند. خرد انفجارهای شدید می‌توانند بادهای مخربی با حداکثر سرعت ۲۷۰ کیلومتر بر ساعت ایجاد نمایند (۲۴). Fujita خردانفجار را به عنوان یک جریان پایین‌سوی کوچک از بادهای مخرب با گسترش افقی کمتر از ۴ کیلومتر نامید (۲۵) و زمانی که اندازه آنها به بیش از ۴ کیلومتر برسد بزرگ انفجار نامیده می‌شود (۲۶). به‌طور کلی خرد انفجار توده‌ای از هوای نسبتاً سرد است که از ابرهای کومولوس نزول کرده و زمانی که به سطح زمین می‌رسد به صورت افقی پخش می‌گردد (۲۷، ۲۸). خرد انفجارها را می‌توان به دو

## منطقه مورد مطالعه

شکل شماره یک، منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. شهرستان دیر در جنوب استان بوشهر و به‌طور کلی در جنوب غرب کشور ایران واقع شده است. طول و عرض جغرافیایی ایستگاه سینوپتیک دیر به ترتیب ۵۱ درجه ۵۶ دقیقه شرقی و ۲۷ درجه و ۵۰ دقیقه شمالی و ارتفاع آن ۴ متر از سطح دریا می‌باشد. این شهر در جنوب شرقی بندر بوشهر واقع شده است و در طبقه‌بندی اقلیمی کوپن در طبقه اقلیمی خشک قرار می‌گیرد. گرمترین و سردترین ماه سال به ترتیب مردادماه و بهمن ماه با متوسط دمای ۳۴/۷ درجه سانتی‌گراد و ۱۷/۱ درجه سانتی‌گراد است و متوسط بارش سالانه آن نیز حدود ۲۱۸/۹ میلی‌متر است (۳۳).

دسته تر و خشک تقسیم‌بندی نمود. خرد انفجارهای تر انفجارهای پایین‌سویی هستند که با بارش‌های قابل توجه در سطح زمین همراه می‌باشند (۲۹). خرد انفجارهای خشک اصولاً به وسیله نیروی شناوری منفی ناشی از تبخیر و ذوب هیدرومتئورها شکل می‌گیرد (۳۰، ۳۱). این خرد انفجارها بر روی تصاویر رادار به‌طور کلی در یک ناحیه ای با انعکاس بالا و همراه با بارش سنگین (خرد انفجار تر) مشخص می‌گردند (۳۲). اما هدف از انجام مطالعه حاضر با توجه به نادر بودن آبرگرفتنی در منطقه مورد مطالعه و عدم ثبت زمین لرزه و سایر فعالیت‌های انسانی، مدل‌سازی عددی و تحلیل پدیده جوی همزمان با رخداد این حادثه می‌باشد.



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه (سمت راست) و دامنه انتخابی مدل (سمت چپ)

Fig. 1- Location of Dayyer County (left) in Bushehr Province (right, down), southwest of Iran (right, up)

## داده‌ها و روش‌ها

۲۴ ساعت بعد از وقوع آبرگرفتنی می‌باشد که در یک دامنه انجام شده است. همین‌طور خروجی مدل با داده‌های واقعی ایستگاه سینوپتیک بندر دیر مورد مقایسه قرار گرفته است. در مطالعه حاضر به‌طور کلی از داده‌های ایستگاه سینوپتیک بندر دیر، داده‌های GFS جهت اجرای مدل WRF و تصاویر رادار هواشناسی بوشهر استفاده شده است. پارامترهایی که مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند شامل فشار تراز دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل، دمای خشک، دمای نقطه شبنم، مولفه‌های باد مداری (U) و باد نصف‌النهاری

در این پژوهش از مدل عددی WRF با هسته دینامیکی ARW استفاده شده است و در حقیقت با استفاده از نسخه ۳.۸.۱ این مدل اقدام به ریز مقیاس‌نمایی و مدل‌سازی در منطقه انتخابی با مشخصات مرکزی عرض ۲۷ درجه و ۳۰ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۳۰ دقیقه شرقی و دارای تفکیک افقی ۴ کیلومتر گردید. تعداد ترازهای در نظر گرفته شده در این تحقیق ۲۷ تراز جوی است و زمان اجرای مدل از دو روز قبل از رخداد پدیده یعنی ۲۰۱۷/۰۳/۱۷/۰۰ تا ۲۰۱۷/۰۳/۲۰/۰۰ یعنی کمتر از

که  $\rho$  چگالی هوا،  $v$  سرعت باد افقی بر حسب متر بر ثانیه و  $g$  شتاب گرانش زمین بوده و مقدار آن برابر با  $9/8$  متر بر ثانیه می‌باشد (۳۴).

همین‌طور چینش باد حضور مستلزمی در نیمرخ باد ژئوستروفیک در یک جو هیدرواستاتیک و ناپایدار دارد و ارتباط بین چینش عمودی باد ژئوستروفیک و گرادیان دما به‌وسیله رابطه باد حرارتی به شکل زیر به‌دست می‌آید:

$$\frac{\partial v_g}{\partial p} = -\left(\frac{1}{f} k \times \nabla_p \Phi\right) = \frac{R}{fp} k \times \nabla_p T \quad (3)$$

جایی‌که  $P$  فشار می‌باشد (در این‌جا به‌عنوان مختصات قائم استفاده شده است)،  $v_g \equiv (1/f) k \times \nabla_p \Phi$  باد ژئوستروفیک می‌باشد،  $\Phi$  ارتفاع ژئوپتانسیل،  $R$  ثابت گازها برای هوای خشک،  $K$  واحد برداری به صورت قائم و  $f$  پارامتر کوریولیس می‌باشد (۳۵).

(۷)، سرعت باد می‌باشد. جداول شماره یک و دو به ترتیب مقادیر پارامترهای مختلف هواشناسی در ایستگاه سینوپتیک دیر و مشخصات امواج تولید شده در سواحل بندر دیر را نشان می‌دهد. اما جهت محاسبه سرعت قائم جو و چینش باد به عنوان دوتا از مهمترین مولفه‌های مورد بررسی در رخداد توفان‌های تندری به شرح ذیل عمل شده است:

سرعت قائم در مختصات ارتفاعی  $w$  برای حرکات و جریانات بالاسو، مثبت و برای حرکات و جریانات پایین‌سو، منفی می‌باشد. سرعت‌های قائم  $\omega$  و  $w$  از طریق معادله زیر با هم مرتبط هستند:

$$\omega = \frac{dp}{dt} = \frac{\partial p}{\partial t} + V \cdot \nabla p + w \frac{\partial p}{\partial z} \quad (1)$$

با جانشین‌سازی برای  $\partial p / \partial z$  از طریق معادله هیدرواستاتیک، معادله زیر به‌دست می‌آید:

$$\omega = -\rho g w + \frac{\partial p}{\partial t} + V \cdot \nabla p \quad (2)$$

جدول ۱- وضعیت متغیرهای هواشناسی قبل از رخداد واقعه (۱۹/۰۳/۲۰۱۷) ساعت ۰۲ و ۰۳ ایستگاه سینوپتیک دیر

**Table 1 - Status of meteorological variables before the occurrence of the event (03/19/2017 at 02:00 and 03:00 of the synoptic station of Dayer**

روز و ساعت وقوع	جهت باد	سرعت باد (متر بر ثانیه)	فشار هوا (میلی‌بار)	دما (سانتی‌گراد)	بارش (میلی‌متر)
۱۹ مارس ۲۰۱۷ ساعت ۰۲	شمالی	۲	۱۰۰۹	۲۷	۳
۱۹ مارس ۲۰۱۷ ساعت ۰۳	شمالی	۴	۱۰۱۱	۲۷	۵

جدول ۲- مشخصات امواج (منبع: بویه بوشهر)

**Table 2- Specifications of waves (Reference: Buoy of Bushehr)**

دوره تناوب	ارتفاع موج	تعداد
۴۰ ثانیه	۳/۱ متر	۴

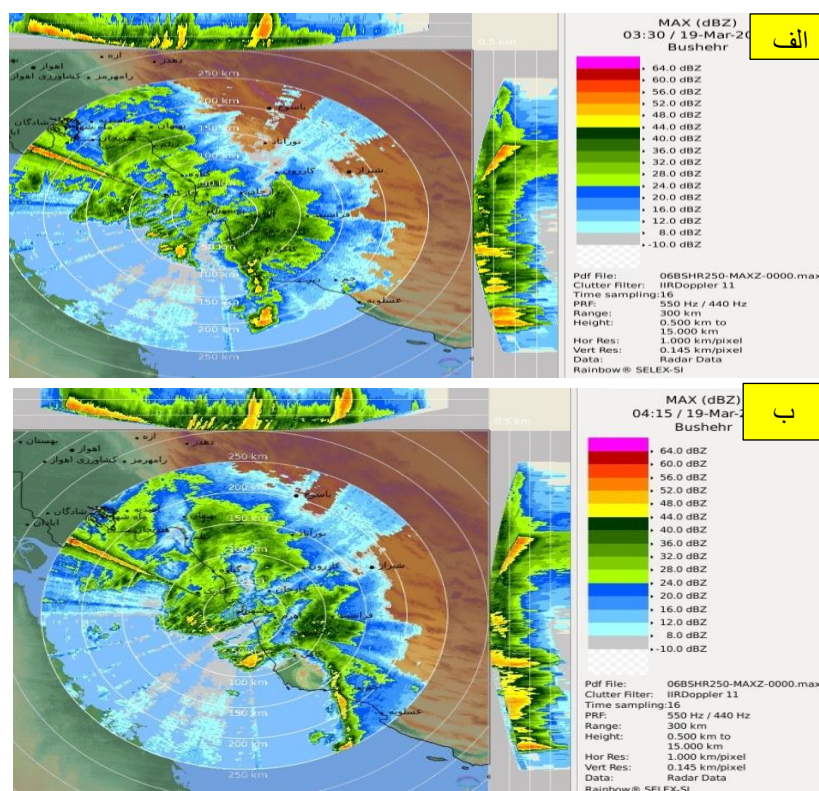
خلیج فارس در ادامه مورد واکاوی قرار گرفته است. علاوه بر خروجی‌های حاصل از مدل WRF، تصاویر ثبت شده توسط رادار بوشهر نشان از رخداد توفان‌های تندری بسیار عمیق بر روی

بحث

نتایج حاصل از مدل‌سازی عددی پارامترهای مختلف در قالب نقشه‌های جوی برای روز وقوع رخداد آبگرفتگی در سواحل ایرانی

توفان‌های تندری ایفا می‌کنند. یکی از پیش نیازهای اولیه جهت شکل‌گیری یا رخداد توفان‌های تندری، عمق قابل توجه لایه رطوبت در ترازهای زیرین و میانی جو است (۳۶). دما و فشار سطح زمین از جمله پارامترهای بسیار مفید جهت پیش‌بینی وقوع توفان‌های تندری شدید است (۳۷) که این پارامترها نیز مورد مدل‌سازی قرار گرفته‌اند.

منطقه مورد مطالعه دارد به طوری که در ساعت ۳:۳۰ به وقت UTC این توفان‌های تندری به صورت سلول‌های پراکنده ظاهر شده و سپس تقویت شده و به شکل نوارهای منظم و با درجه انعکاس بالا (تا 56 dbz) بر روی تصاویر رادار ظاهر شده‌اند (شکل شماره ۲ الف و ب). باید توجه داشت که پارامترهای سطحی نقش مهمی را در شکل‌گیری پدیده‌های جوی به خصوص

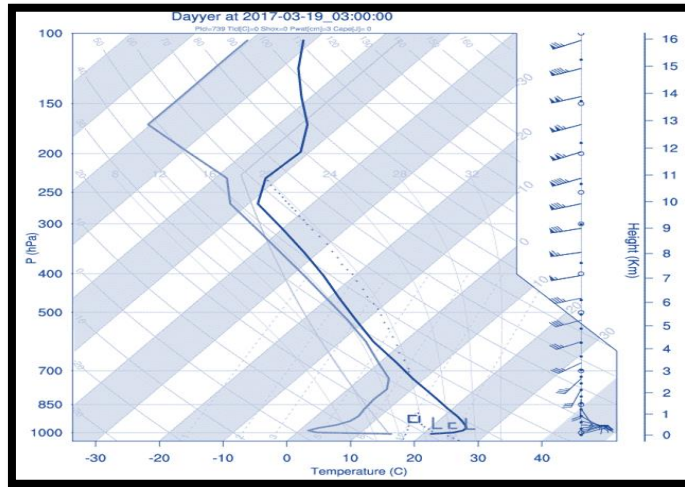


شکل ۲- تصاویر رادار هواشناسی بوشهر در روز وقوع آبگرفتگی (MAX: Maximum Reflectivity).

Fig.2- Images of Bushehr Meteorological Radar in water logging day (Maximum reflectivity: MAX).

مشخص شده است. صعود هوای گرم مرطوب بر روی جبهه گاستی توانسته است توده‌ای از ابرهای کومولونیمبوس را که در تصاویر رادار نیز مشخص است، در منطقه ایجاد نماید.

شایان ذکر است با توجه به جبهه گاستی بسیار قدرتمند و ناپایداری مشروط هوا، خط توفان به صورت مرزی پیش رونده در منطقه شکل گرفته و به شکل نیم دایره‌هایی بر روی تصاویر رادار

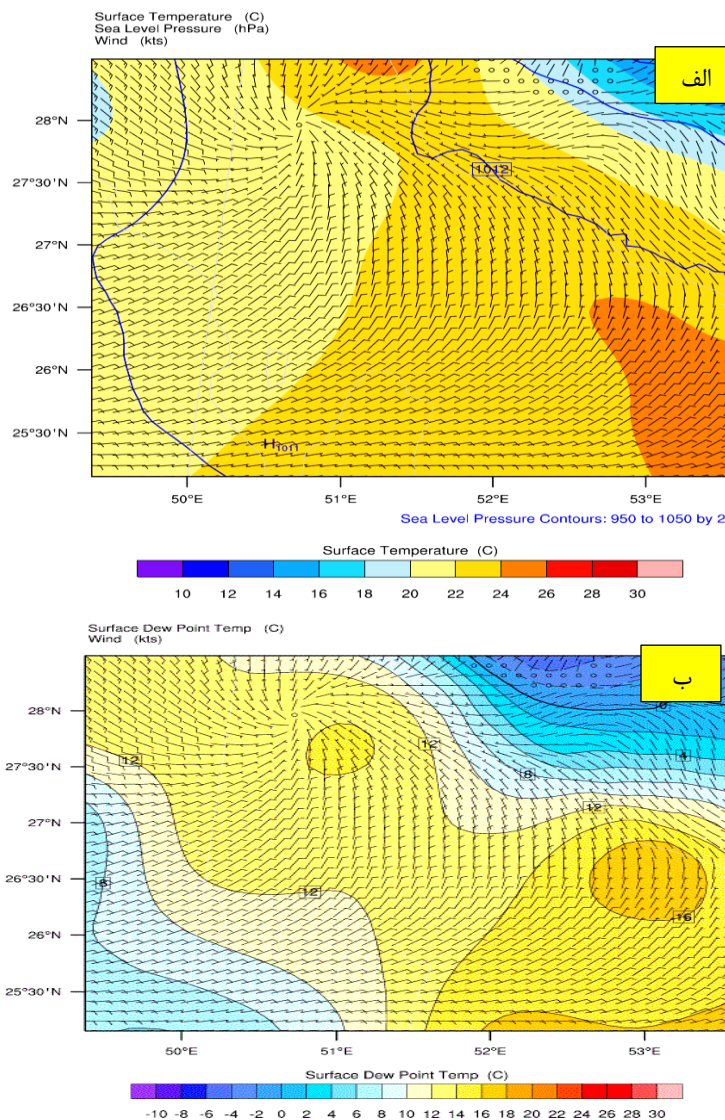


شکل ۳- نمودار اسکویوتی در موقعیت طول ۵۱ درجه و ۱۰ دقیقه شرقی و عرض ۲۷ درجه ۳۰ دقیقه شمالی در ساعت ۷:۳۰ به وقت محلی (پروفیل عمودی باد جهت بررسی وضعیت چینش باد در سمت راست نمودار پلات شده است).

**Fig.3- Skew-T chart at 51° and 10° E and 27° and 30' N at 7:30 Local Time (The vertical wind profile is plotted to check the condition of the wind shear on the right side of the plot)**

درجه سانتی‌گراد به ازای هر یک کیلومتر افزایش ارتفاع قبل از رخداد توفان (محیط پیش از توفان) نشان از ناپایداری بسیار بالای جو را در منطقه دارد. به طوری که شاخص LCL (سطح تراکم هوای بالا رونده) و در واقع پایه ابر در زیر تراز ۸۵۰ میلی-باری شکل گرفته است. با توجه به کاهش دما و وجود هوای سرد در ترازهای فوقانی جو، ناپایداری‌ها افزایش یافته و منحنی افت محیطی دما به خوبی به سمت چپ نمودار منحرف شده و مقادیر شاخص پتانسل در دسترس همرفت در منطقه مورد مطالعه بسیار زیاد شده است.

خروجی‌های مربوط به چینش باد بر روی نمودار اسکویوتی نشان داد که این چینش باد در پروفیل عمودی (شکل شماره ۳) کجی محور جریان‌های بالاسو و پایین‌سو را به همراه داشته است که این امر در نهایت سبب شده جریان‌ات بالاسو، امکان ایجاد سلول-های جدید را در امتداد جبهه تندباد (گاستی) داشته باشند (شکل شماره ۲- ب و ج). در این شکل منحنی افت محیطی دما نشان می‌دهد که در لایه مرزی اولیه شرایط وارونگی دما در ساعات قبل از رخداد وقوع توفان تندی حاکم بوده است و این لایه پایدار ایستا سبب شده است انرژی بسیار بالایی در لایه مرزی ذخیره گردد. همین‌طور افت محیطی دما به میزان ۱۱



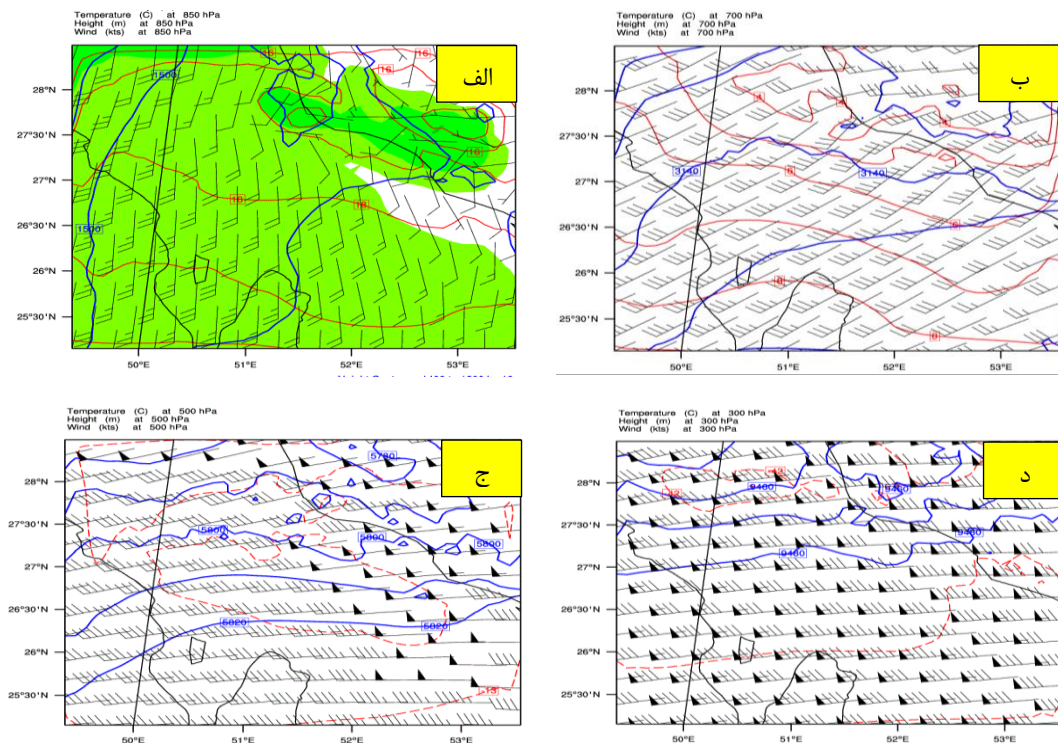
شکل ۴- الف و ب به ترتیب نقشه‌های دمای هوا و دمای نقطه شبنم (همراه با فشار تراز دریا، جهت و سرعت باد)

Fig.4- a and b respectively, are air temperature maps and dew point temperature maps (with air pressure, and wind velocity).

که بیشینه آن براساس شکل ۴-الف به ۲۴ تا ۲۶ درجه سانتی-گراد در منطقه مورد مطالعه رسیده است حکایت از بالا بودن گرمای نهان و گرمای محسوس جهت ذخیره سوخت توفان دارد به طوری که چینش بادهای لایه مرزی (شکل شماره ۳) توانسته است به طور پیوسته سوخت را به داخل توفان به مدت طولانی تغذیه نماید.

خروجی‌های حاصل از مدل مربوط به پارامترهای دمای خشک و دمای نقطه شبنم (شکل ۴-الف و ب) نشان می‌دهد که دمای نقطه شبنم در لایه مرزی و منطقه مورد مطالعه به ۱۸ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد نیز رسیده است (۴-ب) و این امر نشان دهنده این واقعیت است که لایه مرزی بسیار مرطوب و گرم بوده و حکایت از رخداد توفان‌های تندری شدید در منطقه مورد مطالعه دارد. بالا بودن دمای نقطه شبنم ناشی از بالا بودن دمای خشک





شکل ۵- الف-د به ترتیب ارتفاع ژئوپتانسیل، جهت و سرعت باد و منحنی های هم دما در ترازهای ۸۵۰ میلی بار، ۷۰۰ میلی بار، ۵۰۰ میلی بار و ۳۰۰ میلی بار.

**Fig.5- Geopotential Height, wind direction and wind speed, and isotherm contours at 850 millibar (a), 700 millibar (b), 500 millibar (c) and 300 millibar (d).**

تشدید هرچه بیشتر ناپایداریهای ایجاد شده است، به طوری که در نقشه های رودباد ترازهای یاد شده مشاهده می گردد که با ایجاد واگرایی های شدید جرم هوا در نیمه خروجی سمت چپ هسته رودباد و در پی این سازوکار و ارتباط این هسته سرعت با ترازهای زیرین جو و تراز دریا به صورت قائم، با همگرا شدن جرم، کاهش چگالی، کاهش فشار و نهایتاً سبب شکل گیری توفان های تندی عمیق و ابرهای کومولونیمبوس در منطقه مورد مطالعه شده است.

#### نتیجه گیری

نتایج حاصل از خروجی های مدل WRF در سواحل ایرانی خلیج فارس و در واقع سواحل آسیب دیده بندر دیر برای پارامترهای

خروجی های مدل مربوط به چهار تراز جوی (شکل شماره ۵ الف تا د) نشان می دهد که منحنی دما در تمامی ترازهای جو به وسیله خطوط جریان باد قطع شده و فرارفت دما بر روی منطقه مورد مطالعه به خوبی صورت گرفته است به طوری که فرارفت سرد باعث فشرده شدن خطوط ارتفاع ژئوپتانسیل و افزایش چگالی هوا می گردد. در پی این اتفاق و ایجاد همرفت های عمیق بر روی سطح دریا، توفان های تندی به صورت نواری شکل (شکل شماره ۲- ب و ج) مناطق وسیعی از خلیج فارس به سمت سواحل ایران را تحت تاثیر قرار داده است. همین طور حضور جریانات سریع باد در ترازهای ۸۵۰، ۷۰۰، ۵۰۰ و ۳۰۰ میلی بار به ترتیب با بیشینه سرعت بالغ بر ۱۲/۵، ۱۷/۵، ۲۴/۵ و ۴۲/۵ متر بر ثانیه (شکل شماره ۵- الف تا د) در غرب منطقه مورد مطالعه منجر به

- Snyder, C. and Xiao, Q. 2006. Advanced Research WRF Developments for Hurricane Prediction.
3. Done, J.M., Leung, L.R. and Kuo, Y.H. 2006. June. Understanding error in the long-term simulation of warm season rainfall using the WRF model. In 7th WRF users workshop, Boulder, CO, USA.
  4. Powers, J.G. 2007. Numerical prediction of an Antarctic severe wind event with the Weather Research and Forecasting (WRF) model. *Monthly Weather Review*. 135(9), 3134-3157.
  5. Shamarock, W., Klemp, J., Dudhia, J., Gill, D., Barker, M., Wang, W. and Powers, J. 2008. A Description of the Advanced Research WRF Version 3: NCAR Technical Note. National Center for Atmospheric Research.
  6. Evans, J.P., Ekström, M. and Ji, F. 2012. Evaluating the performance of a WRF physics ensemble over South-East Australia. *Climate Dynamics* 39(6), 1241-1258.
  7. Chotamonsak, C., Salathe Jr, E.P., Kreasuwan, J. and Chantara, S. 2012. Evaluation of precipitation simulations over Thailand using a WRF regional climate model. *Chiang Mai Journal of Science*. 39(4), 623-638.
  8. Zhang, D.L. and Zheng, W.Z. 2004. Diurnal cycles of surface winds and temperatures as simulated by five layer boundary layer parameterizations. *Journal of Applied Meteorology*. 43(1), 157-169.
  9. Deng, A. and Stauffer, D.R. 2006. On improving 4-km mesoscale model simulations. *Journal of applied*

مختلف جوی نشان داد که عامل اصلی ایجاد ۴ موج ایجاد شده به ارتفاع ۳/۱ متر در این سواحل در مورخ ۱۹ مارس ۲۰۱۷ ساعت ۷:۵۷ دقیقه صبح به وقت محلی که باعث کشته و زخمی شدن ۲۳ نفر و خسارتی بالغ بر ۳۹۰ میلیارد و ۱۸۷ میلیون ریال به زیرساخت شهری بندر دیر شد، انفجارهای پایین‌سوی شدید منتج از توفان‌های تندری سوپر سلولی بوده که بر روی سطح دریا در نزدیک سواحل بندر دیر رخ داده است. به‌طوری‌که در منطقه جریانات پایین‌سوی توفان تندری هوای سرشار از قطرات باران توفان با هوای محیط اطراف که خشک‌تر است مخلوط شده و هوا را غیر اشباع نموده است به‌طوری‌که قطرات باران تبخیر شده و گرمای نهان جذب شده است و نتیجتاً باعث سرد شدن هوا و افزایش شناوری منفی در جو شده است. همین‌طور براساس خروجی‌های مدل مشخص گردید که دمای نقطه شبنم در لایه مرزی و منطقه مورد مطالعه به ۱۸ تا حتی ۲۰ درجه سانتی‌گراد رسیده است و این امر نشان می‌دهد که لایه مرزی بسیار مرطوب و گرم بوده و حکایت از شرایط بسیار مساعد جهت رخداد توفان-های تندری شدید در منطقه مورد مطالعه دارد. از طرف دیگر نتایج حاصل از مدل‌سازی عددی بر روی منطقه مورد مطالعه نشان داد که مقادیر خروجی از مدل با داده‌های ثبت شده در ایستگاه سینوپتیک دیر برای پارامترهای دمای خشک، فشار تراز دریا و جهت و سرعت باد دارای تقریب بسیار دقیق و حتی در مواردی عیناً با مقادیر واقعی برابری می‌کند که این خود نشان دهنده دقت بالای خروجی‌ها و نتایج مدل‌سازی است.

#### منابع

1. Moeng, C.H., Dudhia, J., Klemp, J. and Sullivan, P. 2007. Examining two-way grid nesting for large eddy simulation of the PBL using the WRF model. *Monthly weather review*. 135(6), 2295-2311.
2. Davis, C., Wang, W., Chen, Y., Corbosiero, K., Dudhia, J., Holland, G., Klemp, J., Michalakes, J., Rotunno, R.,

17. Ashley, W.S., Mote, T.L. 2005. DerechohazardsintheUnitedStates.Bull. Am.Meteorol.Soc.86, 1577-1592.
18. Mohee, F.M. and Miller, C., 2010. Climatology of thunderstorms for North Dakota, 2002-06. Journal of Applied Meteorology and Climatology 49(9), 1881-1890.
19. Schoen, J.M. and Ashley, W.S. 2011. A climatology of fatal convective wind events by storm type. Weather and forecasting, 26(1), 109-121.
20. Allen JT, Allen ER. 2016. A review of severe thunderstorms in Australia. Atmospheric research. 178, 347-366.
21. Thom, H.C.S., 1969. New distributions of extreme wind speeds in the United States. Journal of the Structural Division. ASCE 94, 1787-1801.
22. Wood, G.S., Kwok, K.C., Motteram, N.A. and Fletcher, D.F. 2001. Physical and numerical modelling of thunderstorm downbursts. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 89(6), 535-552.
23. Choi, E.C. 2004. Field measurement and experimental study of wind speed profile during thunderstorms. Journal of wind engineering and industrial Aerodynamics. 92(3-4), 275-290.
24. Sengupta, A. and Sarkar, P.P. 2008. Experimental measurement and numerical simulation of an impinging jet with application to thunderstorm microburst winds. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 96(3), 345-365.
25. Fujita, T.T. 1981. Tornadoes and downbursts in the context of generalized planetary scales. Journal of the meteorology and climatology 45(3), 361-381.
10. Hong, S.Y., Noh, Y. and Dudhia, J. 2006. A new vertical diffusion package with an explicit treatment of entrainment processes. Monthly weather review. 134(9), 2318-2341.
11. Weisman, M.L., Davis, C., Wang, W., Manning, K.W. and Klemp, J.B. 2008. Experiences with 0-36-h explicit convective forecasts with the WRF-ARW model. Weather and Forecasting. 23(3), 407-437.
12. Bright, D.R. and Mullen, S.L. 2002. The sensitivity of the numerical simulation of the southwest a monsoon boundary layer to the choice of PBL turbulence parameterization in MM5. Weather and Forecasting. 17(1), 99-114
13. Shin, H.H. and Hong, S.Y. 2011. Intercomparison of planetary boundary-layer parametrizations in the WRF model for a single day from CASES-99. Boundary-Layer Meteorology. 139(2), 261-281.
14. Stensrud, D.J. 2009. Parameterization schemes: keys to understanding numerical weather prediction models. Cambridge University Press. pp. 185-196.
15. Doswell III, C.A., Brooks, H.E., Maddox, R.A. 1996. Flash flood forecasting: an ingredientsbased methodology. Weather Forecast. 11, 560-581.
16. Solari, G., Burlando, M., De Gaetano, P. and Repetto, M.P., 2015. Characteristics of thunderstorms relevant to the wind loading of structures. Wind and Structures. 20(6), 763-791.

- Monthly Weather Review. 113(7), 1131-1143.
32. Lin, Y.J., Hughes, R.G. and Pasken, R.W. 1987. Subcloud-layer kinematic and dynamic structures of a microburst-producing thunderstorm in Colorado determined from JAWS dual-doppler measurements. *Boundary-Layer Meteorology*. 39(1-2), 67-86.
33. Iran Meteorology Administration, 2017. *Statistics and Information annual reports*. (In Persian)
34. Stull, R., 2000. *Meteorology for scientists and engineers*. Brooks/Cole.
35. Glickman, T.S. and Walter, Z., 2000. *Glossary of Meteorology* American Meteorological Society. 855 pp.
36. Johns, R.H. and Doswell III, C.A., 1992. Severe local storms forecasting. *Weather and Forecasting*. 7(4), 588-612.
37. Fuelberg, H.E. and Biggar, D.G., 1994. The preconvective environment of summer thunderstorms over the Florida panhandle. *Weather and Forecasting*. 9(3), 316-326.
- Atmospheric Sciences. 38(8), 1511-1534.
26. Fujita, T.T. 1985. The downburst-Micoburst and Macrobust. Report of Projects NIMROD and JAWS.
27. Wilson, J.W., Roberts, R.D., Kessinger, C. and McCarthy, J., 1984. Microburst wind structure and evaluation of Doppler radar for airport wind shear detection. *Journal of Climate and Applied Meteorology*. 23(6), 898-915.
28. Hjelmfelt, M.R. 1988. Structure and life cycle of microburst outflows observed in Colorado. *Journal of Applied Meteorology*. 27(8), 900-927.
29. Proctor, F.H. 1989. Numerical simulations of an isolated microburst. Part II: Sensitivity experiments. *Journal of the atmospheric sciences*. 46(14), 2143-2165.
30. Srivastava, R.C. 1985. A simple model of evaporatively driven downdraft: Application to microburst downdraft. *Journal of the Atmospheric Sciences*. 42(10), 1004-1023.
31. Wakimoto, R.M., 1985. Forecasting dry microburst activity over the high plains.