

# واکاوی همدیدی توفان‌های گردوغباری شدید تابستانه مورد مطالعه: زابل

مهدی مدیری

دانشیار دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران

مهدی خزایی<sup>۱</sup>

دانشجوی دکتری اقلیم شناسی دانشگاه تهران، ایران

احسان مدیری

کارشناسی ارشد هواشناسی کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۱۲/۲۰

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۳/۱۰/۱۴

## چکیده

توفان‌های گردوغبار، یکی از معضلات و مشکلات اساسی آب و هوایی در دهه‌های اخیر بویژه در منطقه جنب حاره بشمار می‌آید. می‌توان گفت که این توفان‌ها در منطقه زابل یکی از عوامل اصلی محدود کننده حیات و توسعه در تمام زمینه‌ها می‌باشد. اثرات محدود کننده این توفان‌ها در نیمه گرم سال بسیار بیشتر از نیمه سرد سال است. در این پژوهش توفان‌های گردوغباری شدید تابستانه (می تا سپتامبر) منطقه زابل در یک دوره آماری ۳۶ ساله (۱۹۷۶ - ۲۰۱۱) مورد بررسی قرار گرفته است. ابتدا با استخراج کدهای اختصاص یافته (۳۰ تا ۳۵)، سرعت باد (حداقل ۲۰ متر بر ثانیه) و دید افقی کمتر از ۲۰۰ متر، روزهای گردوغباری استخراج و سپس با دریافت داده‌های فشار تراز دریا و مقادیر امگا، باد مداری و نصف النهاری در دو سطح فشار ۱۰۰۰ و ۵۰۰ میلی باری نقشه‌های روزهای توفانی ترسیم گردید. با بررسی نقشه‌ها مشخص گردید که توفان‌های گردوغباری شدید تابستانه منطقه زابل از یک الگوی سطح زمین و دو الگوی سطح فشار ۵۰۰ میلی باری تبعیت کرده است. در الگوی سطح زمین: سامانه کم فشار موسمی تمام پهنه کشور را با فشار کمتر از ۱۰۰۵ میلی باری در بر گرفته است، حرکت درون سو و غرب سوی این سامانه سبب افت فشار بر روی تمام پهنه کشور به ویژه در منطقه شرق کشور شده است. علاوه بر افت فشار نسبتا زیاد در شرق کشور، جهت جریانات در این ناحیه جنوب سو، جنوب شرق و شرق سو است. در الگوی نوع دوم در سطح فشار ۵۰۰ میلی باری: زبانه‌های واچرخندی پرفشار جنب حاره (شمال غرب آفریقا و منطقه آזור) با عبور از نیمه غربی کشور، از شمال شرق کشور، نیمه شرقی و منطقه زابل را تحت تاثیر قرار داده است. در نوع دوم این الگو، واچرخندی مستقل بر روی کشور (یا شمال شبه جزیره عربستان) تشکیل شده که در ضلع شرقی خود علاوه بر پایداری هوا در نیمه شرقی کشور، سبب تشدید جریان هوا با جهت شمال غربی - جنوب شرقی در منطقه زابل شده است.

**واژگان کلیدی: توفان گردوغبار، تحلیل همدیدی، زابل**

## مقدمه

معمولا بادهای شدید تحت عنوان توفان نام گذاری می‌شوند. این بادها به شکل‌های متفاوتی و با سرعت زیاد برای مدت کوتاهی می‌وزند و معمولا با هوای ناپایدار همراه هستند. اگر هوای ناپایدار رطوبت داشته باشد توفان رعد و برق و اگر خشک باشد توفان گردوخاک ایجاد می‌شود. توزیع مکانی توفان‌های گردوخاک نشان می‌دهد که بیشینه این توفان‌ها در شرق کشور در مرداد ماه اتفاق می‌افتد (علیجانی، ۱۳۸۸: ۹۵ و ۹۶). شمال آفریقا به عنوان بزرگ‌ترین منبع تولید گردوغبار در روی کره زمین شناخته شده است (Klose et al, 2010). مقدار زیادی از این گردوغبارها از بیابان‌های شمال آفریقا به سمت قاره‌های اروپا و آمریکای شمالی انتقال پیدا می‌کند (Barkan and Alpert, 2010).

بخش بزرگی از کشور مغولستان به وسیله پهنه‌های بیابانی پوشیده شده است، در بیابان گبی که بخشی جنوب شرقی مغولستان را تشکیل می‌دهد، همه ساله توفان‌های گردوغباری شدید بویژه در اواخر بهار و اوایل تابستان به فراوانی روی می‌دهد (Shao and Dong, 2006). سیکلون‌های قوی در بیابان گبی و شمال شرق چین علت اصلی رخداد گردوغبارهای شدید در این نواحی است و این گردوغبارها بیشتر در قطاع جنوب غربی سیکلون رخ می‌دهند (Takemi, 2005). این توفان‌ها اغلب دید افقی را تا کمتر از یک کیلومتر کاهش می‌دهند (Goudie and Middleton, 2000). توفان‌های خیلی شدید گردوغباری در شمال غرب چین از ۵ مورد فراوانی در دهه ۱۹۵۰ به ۲۳ مورد در دهه ۱۹۹۰ افزایش یافته است (Xiaoqing et al, 2002). مجموع سالانه توفان‌های گردوغباری همراه با ماسه در ایکزینجینگ<sup>۱</sup>، گانسو و قسمت‌های غربی مغولستان داخلی از اواخر دهه ۱۹۷۰ کاهش یافته است که این امر به دلیل کاهش هجوم هوای سرد به دلیل پدیده گرمایش جهانی است (Yoshino, 2002).

بیشترین مطالعه در ارتباط با گردوغبار بر روی ضلع غرب و جنوب غرب کشور متمرکز شده است. در نواحی مرزهای جنوب غرب و غرب کشور به دلیل شرایط خاص هوا و اقلیم شناختی، گرمای شدید هوا، قلت پوشش گیاهی، خاک نرم و سست و غیره سبب شده است تا به عنوان یکی از کانون‌های شکل‌گیری گردوغبار در جهان مطرح گردد. در ذیل به برخی از مطالعات صورت گرفته در این نواحی اشاره می‌شود.

براتی و همکاران (۱۳۹۰) به مطالعه توفان‌های گردوغبار استان خوزستان پرداخته‌اند. نتایج مطالعات ایشان نشان می‌دهد که همگرایی دو سامانه کم فشار ایران - پاکستان و پرفشار آזור به ترتیب از شرق و غرب سبب افزایش شیو فشار و بالتبع ناپایداری جوی و رخداد گردوغبار بر روی خوزستان گشته است. مهمترین منابع گردوغباری وارده به استان خوزستان شامل بیابان‌های جنوبی عراق، شمال عربستان، جنوب شرق سوریه و تا اندازه‌ای شمال صحرای آفریقا می‌باشد (طاووسی و همکاران، ۱۳۸۹).

در خداد توفان‌های گردوغبار غرب کشور طی دوره آماری ۱۳۸۴ - ۱۳۸۸ مشخص شد که در تمامی موارد استقرار یک سامانه کم فشار بر روی منطقه خاورمیانه و تقویت شرایط ناپایداری در سطح بیابان‌ها و همچنین تاثیر هماهنگ یک موج کم فشار دینامیک بر فراز جو منطقه، زمینه مناسب را برای انتقال گردوغبار به جو منطقه فراهم آورده است

<sup>۱</sup>. Xinjing

همچنین همگرایی سامانه‌های پرفشار آزور، کم فشار حرارتی و افزایش شیو فشاری در روزهای اوج فعالیت پدیده، باعث تقویت سیستم‌های بادی سطح بالا گردیده و باعث انتقال و انتشار مقادیر انبوهی از گردوغبار در بخش‌های وسیعی از جنوب غرب، غرب و شمال غرب ایران شده است (ذوالفقاری و دیگران، ۱۳۹۰). آن چیزی که در توفان گردوغبار تیرماه ۱۳۸۸ کاملاً مشهود است، همراهی شرایط گردش جو (ناپایداری با عمق مناسب) و شرایط سطح زمین (زمین بدون پوشش و خاک خشک و نرم) در ایجاد و فعالیت آن است (کریمی احمدآباد و شکوهی رازی، ۱۳۹۰).

مکان گزینی محور ناوه و منطقه واگرایی بالایی در تراز ۵۰۰ میلی باری و شکل گیری سلول کم فشار حرارتی در سطح زمین، نقش اصلی را در شکل گیری و هدایت گردوغبار در تیرماه سال ۱۳۸۸ را به سمت ایران داشته است (شمسی پور و صفرآباد، ۱۳۹۱). توفان‌های گردوغبار منطقه خلیج فارس و جنوب غربی ایران متأثر از عملکرد همزمان واچرخند عربستان و زبانه کم فشار زاگرس است (مفیدی و جعفری، ۱۳۹۰). در روز ۵ اسفند ۱۳۸۸ وقوع بلوکی‌نگ در تراز ۵۰۰، ۶۰۰ و ۷۰۰ میلی باری و همرفت شدید در تمامی سطوح جوی از تراز ۱۰۰۰ تا ۵۰۰ میلی باری و تاوایی مثبت در سطوح پیش گفته، سبب رخداد گردوغبار و انتقال آن به سمت بوشهر شده است (فرج زاده اصل و رجایی، ۱۳۹۰).

علت اصلی رخداد توفان‌های گردوغبار استان لرستان، فعالیت ناوه تراز ۵۰۰ میلی باری، سامانه کم فشار خلیج فارس و سامانه کم فشاری که از شرق ترکیه و شمال غرب عراق با جهت شمال غربی - جنوب شرقی به سمت خلیج فارس امتداد داشته است، عامل اصلی گردوغبار و انتقال آن به سمت منطقه مورد مطالعه شده است (خوش کیش و همکاران، ۱۳۹۰). بررسی همیدی توفان‌های گردوغبار ایلام نشان می‌دهد که کم فشار سودان و کم فشار گنگ در سطح زمین و فرود بلند مدیترانه و فرود دریای سرخ و پراارتفاع جنب حاره آزور در سطوح میانی جو از مهم ترین سامانه‌های تاثیر گذار در رخداد گردوغبار و انتقال آن به غرب ایران و منطقه ایلام هستند (خوشحال دستجردی و همکاران، ۱۳۹۱).

بررسی توفان‌های گردوغباری استان خراسان رضوی نشان می‌دهد که از شمال به جنوب استان بر مقدار توفان‌ها افزوده می‌شود همچنین عمده ترین توفان‌ها در تمام طول سال از ساعت ۱۲ ظهر به بعد شکل می‌گیرد و عوامل محلی بیشتر در تشدید توفان‌ها و عوامل ترمودینامیکی در شکل گیری و گسترش توفان‌ها موثرند (لشکری و کیخسروی، ۱۳۸۷). در مقابل در زیر به برخی از مطالعات انجام گرفته در ارتباط با توفان‌های گردوغباری در شرق کشور اشاره می‌شود.

اکثر توفان‌های ماسه‌ای و بادهای شدید در منطقه یزد- اردکان در ساعات بعدظهر در ماه می و عمدتاً از سمت غرب تا شمال غرب می‌وزند (امیدوار، ۱۳۸۵) بررسی فراوانی ماهانه توفان‌های گردوغبار طی دوره آماری (۱۹۸۷ - ۲۰۰۶) در سطح کشور نشان می‌دهد که ایستگاه زابل بیشترین فراوانی را به خود اختصاص داده است (فرج زاده اصل و علیزاده، ۱۳۹۰). محل‌های عمده شروع توفان گردوغبار در سیستان سه منطقه است محل اول در ناحیه پایین دست

و نزدیک به ورودی رودخانه فرارود به هامون صابری قرار دار؛ محل دوم در لبه غربی هامون هیرمند در ابتدای محل اتصال هامون سابوری به هیرمند می‌باشد و محل سوم در انتها و لبه غربی هامون هیرمند گسترده شده است. جهت این سه جریان که همسو با جریان باد می‌باشد از شمال غرب به جنوب شرق می‌باشد (فیاض، ۱۳۸۴).

جهت بادهای در توفان‌های منطقه سیستان به طور عمده بین ۳۳۹ تا ۳۴۶ درجه می‌باشد که با جهت عمومی بادهای فرساینده در ایستگاه هواشناسی زابل هماهنگی دارد. اصلی ترین منطقه برداشت ذرات گردوغبار بر روی دریاچه هامون سابوری قرار دارد و مسیر توفان‌ها نیز به طور مجزا از دالان‌های موازی با گردوغبار بسیار غلیظ و دالان‌های دیگری با غلظت کمتر به سمت ایران، افغانستان و پاکستان ادامه می‌یابد (ایرانمنش و همکاران، ۱۳۸۴). بر اساس آمار مربوط به سرعت و سمت وزش باد در ۱۲۰ ایستگاه سینوپتیک، کشور ایران به ۱۰ پهنه بادی بزرگ تقسیم می‌شود که وسیع ترین پهنه بادی ایران پهنه بادی سیستان است که محدوده وسیعی از استان‌های سیستان و بلوچستان، کرمان، خراسان جنوبی، خراسان رضوی، یزد و اصفهان را شامل می‌شود (گندمکار، ۱۳۸۹).

در یک دوره آماری ۳۰ ساله (۱۳۵۹-۱۳۸۸) ۱۶۲ روز توفانی با سرعت ۲۴ متر بر ثانیه و بالاتر در منطقه سیستان ثبت گردیده است، سه مورد از طوفان‌ها دارای سرعت بیشینه ۴۰ متر بر ثانیه (۱۴۴ کیلومتر در ساعت) بوده اند. همچنین تیرماه بیشترین و دی ماه کمترین فراوانی رخداد توفان را داشته است (طاووسی و رئیس پور، ۱۳۸۹) بادهای شدید سیستان از دو سامانه گردشی فعال نشأت می‌گیرد، از یک سو سامانه پراتفاح مستقر بر شرق دریای خزر موجب پخش هوا در جهت عقربه‌های ساعت به طرف جنوب می‌شود و از سوی دیگر یک سامانه کم ارتفاع در جنوب شرق سیستان مستقر شده که سبب مکش هوای اطراف بویژه هوای واچرخند فوق گشته و سبب تشدید جریان هوا به سمت جنوب شرق کشور می‌شود (طاووسی و همکاران، ۱۳۹۱).

#### روش شناسی پژوهش

در این پژوهش توفان‌های گردوغباری شدید تابستانه (می تا سپتامبر) منطقه زابل در یک دوره آماری ۳۶ ساله (۱۹۷۶ - ۲۰۱۱) مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور ابتدا سه شرط برای تعریف توفان گردوغباری شدید تعریف گردید، در صورتی که هر سه شرط ذیل در روزهای غباری مشاهده شده بود، آن روز به عنوان توفان گردوغباری شدید معرفی شده و در صورتی که تنها یک یا دو شرط اتفاق افتاده از آن روز غباری صرف نظر شده است:

۱- کدهای ۳۰ تا ۳۵ در حداقل یک مورد از هشت دیده بانی (در هر روز) رخ داده باشد.

۲- در روزهای توفانی گردوغباری سرعت باد بیشتر از ۲۰ متر بر ثانیه باشد.

۳- علاوه بر دو شرط فوق دید افقی بایستی کمتر از ۲۰۰ متر باشد (Tan et al, 2011; Liu et al, 2004).

برای بررسی توفان‌های گردوغباری شدید تابستانه، ابتدا با استخراج کدهای مربوط به پدیده توفان گردوغبار که شامل کدهای ۳۰ تا ۳۵ است، روزهای توفانی را استخراج و سپس داده‌های فشار تراز دریا و ارتفاع ژئوپتانسیل فشار تراز ۵۰۰ میلی باری و همچنین داده‌های امگا و باد مداری و نصف النهاری را در سطوح فشاری پیش گفته، در روزهای توفانی از پایگاه داده‌های NCEP/NCAR سازمان ملی جو و اقیانوس‌شناسی ایالات متحده آمریکا

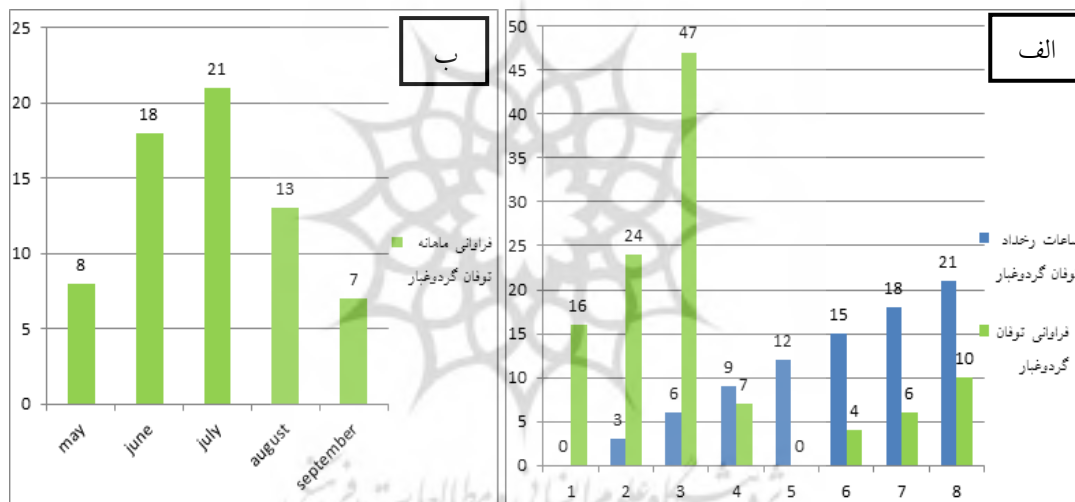
استخراج، سپس نقشه‌های مورد نیاز را در نرم افزار Grads ترسیم و الگوهایی که موجب تکوین و توسعه توفان‌های شدید گردوغباری شده است را شناسایی و تفسیر گردید.

جدول ۱. مختصات ایستگاه منطقه مورد مطالعه

ایستگاه (سینوپتیک)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع
زابل	۲۹۶۱	۲۳۱	۴۸۹.۲

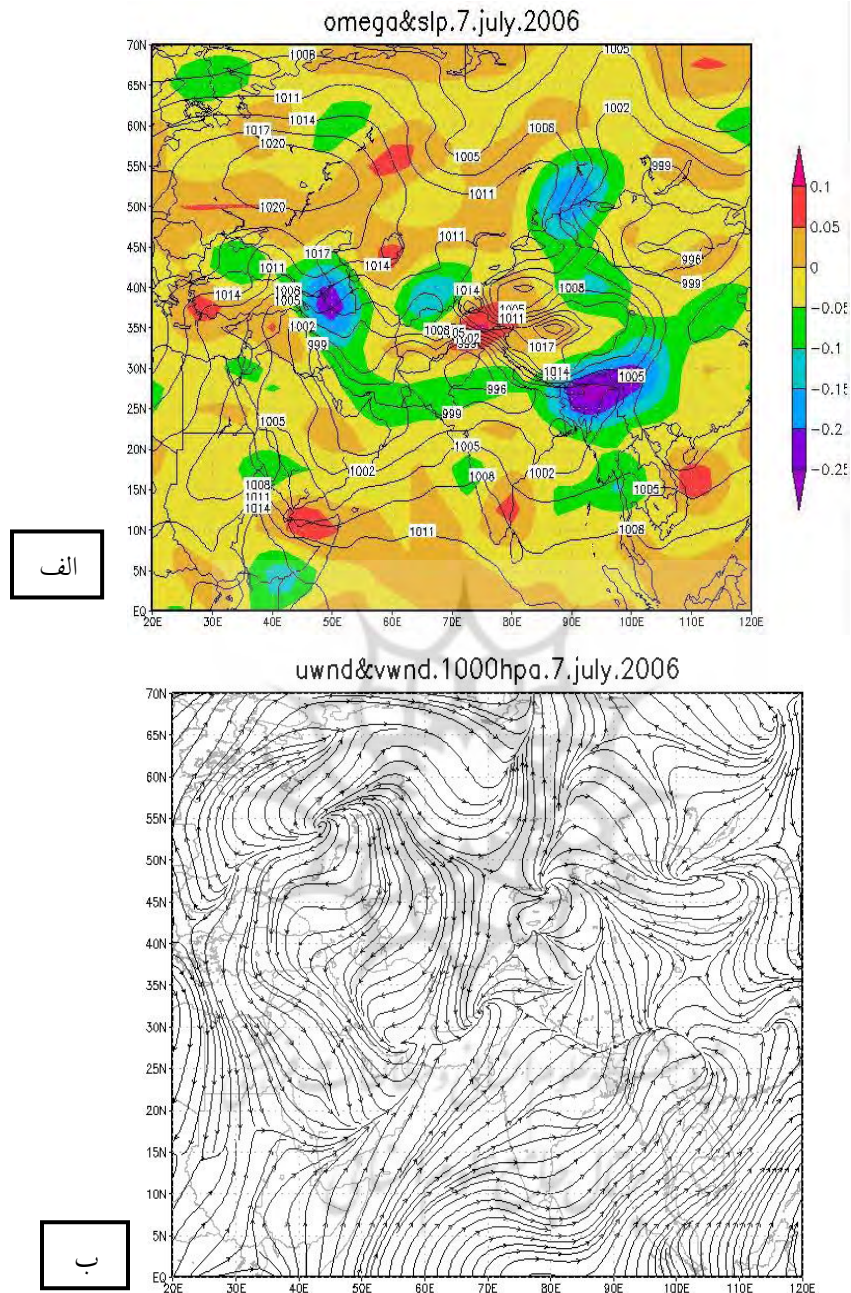
### یافته‌های پژوهش

در این مطالعه توفان‌های گردوغباری شدید تابستانه منطقه زابل مورد بررسی قرار گرفته است. توفان‌های این ناحیه از کشور، بیشتر در ساعات اولیه صبح (۹.۵ صبح به وقت محلی) اتفاق می‌افتد و کمترین آن در ساعات نیمروز رخ می‌دهد. بررسی‌های صورت گرفته بر روی توفان‌های گردوغباری شدید تابستانه منطقه زابل نشان می‌دهد که در مجموع یک الگوی سطح زمین و دو الگوی سطوح بالا در توسعه و تشدید توفان‌های گردوغباری شدید تابستانه زابل نقش داشته است. در ذیل هر دو این الگوها به تفصیل مورد بررسی قرار می‌گیرد.



شکل ۱. فراوانی ساعتی (الف)؛ فراوانی ماهانه (ب) توفان‌های گردوغباری شدید تابستانه (می تا سپتامبر ۱۹۷۶ - ۲۰۱۱)

شکل (۱. الف) فراوانی ساعتی و فراوانی ماهانه توفان گردوغبار را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل فوق ملاحظه می‌شود بیشترین فراوانی توفان گردوغبار شدید در ساعت ۶ صبح به وقت گرینویچ (۹.۳۰ صبح به وقت محلی) به تعداد ۴۷ روز در دوره آماری ۱۹۷۶ - ۲۰۰۸ اتفاق افتاده است و کمترین میزان توفان گردوغبار شدید در ساعت ۱۵.۳۰ به میزان صفر روز بوده است. در مجموع در حدود ۶۴.۶ درصد توفان‌های گردوغباری شدید زابل در ساعات ۳.۳۰ دقیقه تا ۹.۳۰ دقیقه صبح اتفاق می‌افتد و تنها در حدود ۳۵.۴ درصد این توفان‌ها از ساعت ۹.۳۰ صبح تا ۳.۳۰ صبح اتفاق می‌افتد. بنابراین بیشترین فراوانی زمانی توفان‌ها در بعد از غروب آفتاب تا اوایل صبح اتفاق می‌افتد و کمترین فراوانی‌ها در زمان نیمروز اتفاق می‌افتد. در شکل (۱. ب) فراوانی ماهانه توفان‌ها در فصل گرم نشان داده شده است. بر اساس این شکل بیشترین فراوانی ماهانه توفان‌های گردوغباری شدید زابل در ژولای و سپس در ژوئن و آگوست اتفاق می‌افتد. فراوانی ماه می و سپتامبر شبیه به هم بوده به طوری که از ماه می توفان‌های گردوغباری شدید تابستانه رو به افزایش (۸ مورد) و در ماه سپتامبر رو به کاهش (۷ مورد) بوده است.

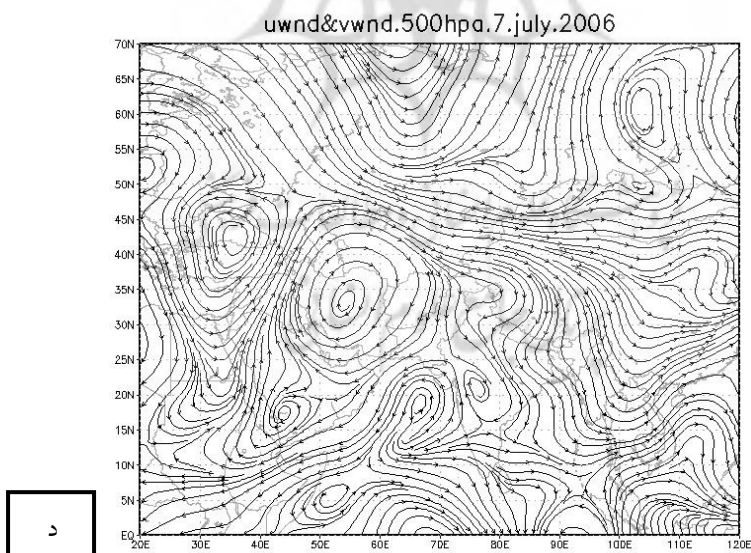
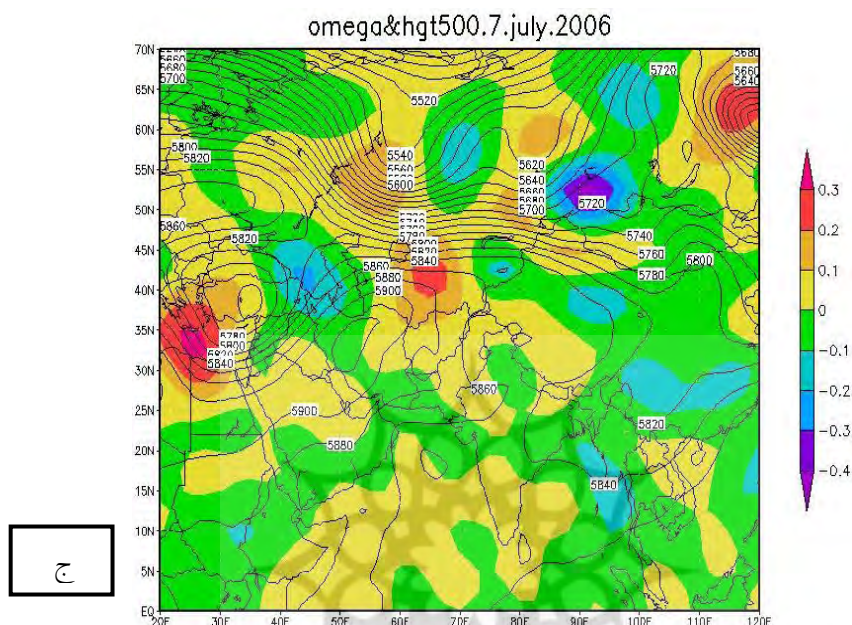


شکل ۲. نقشه فشار تراز دریا و مقادیر امگا (الف)؛ باد مداری و نصف النهاری در فشار تراز ۱۰۰۰ میلی باری (ب) در روز ۷ ژوئیه ۲۰۰۶

### الگوی سطح زمین (توسعه غرب و شمال غرب سوی سامانه کم فشار موسمی)

شکل (۲. الف) نقشه فشار تراز دریا و مقادیر امگا را در روز ۷ ژوئیه ۲۰۰۶ نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود مرکز کم فشار موسمی با فشار مرکزی ۹۹۶ میلی باری بر روی شرق پاکستان بسته شده است. منحنی‌های هم فشار ۹۹۹ تا ۱۰۰۸ میلی باری این سامانه تمام پهنه کشور را در بر گرفته است. با توجه به حرکت پادساعتگرد و درون سوی این سامانه، در بیشتر مناطق کشور حرکت غالب هوا به صورت صعودی است. همانطور که در شکل فوق مشاهده می‌شود در تمام مناطق کشور به استثنای شرق و شمال شرق کشور که جوی نسبتاً پایدار را تجربه می‌کند در دیگر مناطق کشور، مقادیر حرکت قائم صعودی در حدود ۰.۰۵- تا ۰.۱- پاسکال بر ثانیه است.

شکل (۲.ب) نقشه باد مداری و نصف النهاری در فشار ۱۰۰۰ میلی باری را در روز ۷ ژوئیه ۲۰۰۶ نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود در این تراز فشاری جهت جریانات در شمال شرق کشور، شمال شرقی - جنوب غربی بوده (به پیروی از نقشه فشار تراز دریا در روز ۷ ژوئیه ۲۰۰۶) و در شرق کشور این جریانات اندکی شمالی - جنوبی شده که نشان‌دهنده انتقال گردوغبار از نیمه شمال شرقی کشور به سمت نیمه شرقی و جنوبی کشور است.



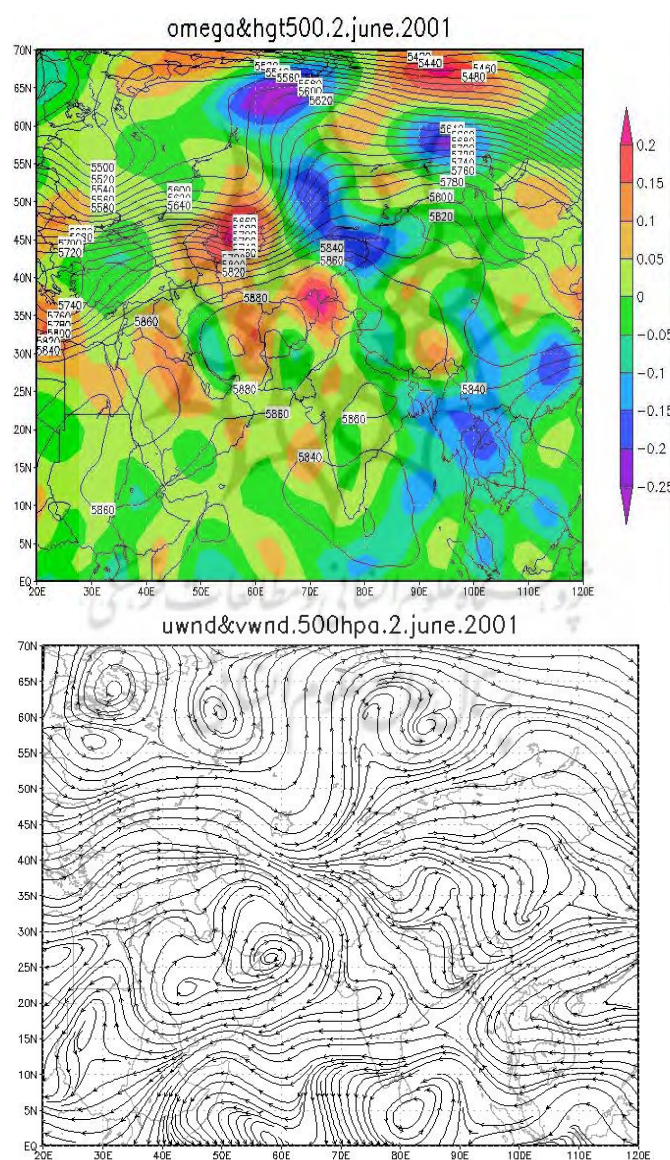
شکل ۳. نقشه فشار تراز ۵۰۰ میلی باری و مقادیر امگا (ج)؛ باد مداری و نصف النهاری در فشار تراز ۵۰۰ میلی باری (د) در روز ۷ ژوئیه ۲۰۰۶

**الگوی اول:** سطح فشار ۵۰۰ میلی باری (گسترش شرق سوی زبانه‌های واچرخند جنب حاره)

شکل (۳.ج) نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل فشار تراز ۵۰۰ میلی باری و مقادیر امگا را در روز ۷ ژوئیه ۲۰۰۶ نشان می‌دهد. در این تراز فشاری واچرخندی با پربندهای ۵۹۰۰ و ۵۸۸۰ ژئوپتانسیل متر، در جهت ساعتگرد با عبور از شمال غرب کشور و جنوب دریای خزر، از نیمه شمال شرق و شرق کشور در جهت جنوب و جنوب غرب کشور

گسترش می‌یابد. زبانه‌های فوق‌الذکر سبب انتقال گردوغبار از نیمه شمال شرقی و شرق کشور در جهت جنوب و جنوب شرق کشور شده است. در نقشه امگا هم مانند نقشه امگا در فشار تراز دریا، همچنان به استثنای نیمه شمال شرقی کشور و بخش‌های کوچکی از جنوب غرب کشور، در دیگر مناطق کشور مقدار حرکت صعودی در حدود ۰.۱- پاسکال در ثانیه است. مقدار این پارامتر نشان می‌دهد که توفان‌های گردوغباری شکل گرفته تا این تراز فشاری گسترش یافته است.

در شکل (د.۳) جهت جریان باد را در فشار تراز ۵۰۰ میلی باری نشان می‌دهد. در این تراز فشاری جریانات ساعتگرد درون سو بر روی کشور شکل گرفته است. همانطور که مشاهده می‌شود در شرق و جنوب شرق کشور، جهت جریانات شمال شرقی - جنوب غربی بوده که نشان‌دهنده جریان یافتن گردوغبار از سمت نیمه شرقی به سمت جنوب کشور می‌باشد.



شکل ۴. نقشه فشار تراز ۵۰۰ میلی باری و مقادیر امگا (ه) باد مداری و نصف النهاری فشار تراز ۵۰۰ میلی باری (و) در روز ۲ ژوئن ۲۰۰۱



**الگوی دوم:** سطح فشار ۵۰۰ میلی باری (استقرار و اچرخند جنب حاره ایران - عربستان) شکل (۴.ه) نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل فشار تراز ۵۰۰ میلی باری و مقادیر امگا را در روز ۲ ژوئن ۲۰۰۱ نشان می‌دهد. در این تراز فشاری مرکز و اچرخندی با دو سلول مرکزی بسته با ارتفاع ۵۹۰۰ و ۵۸۸۰ ژئوپتانسیل متر بر روی کشور بسته شده است. پربند ۵۸۸۰ ژئوپتانسیل متر این سامانه با حرکت ساعتگرد خود سبب جریان یافتن گردوغبار از شمال شرق و شرق کشور در جهت جنوب شرق شده است. مقادیر امگا هم نشان می‌دهد که در نیمه شرقی و شمال شرقی کشور مقادیر حرکت قائم هوا نزولی بوده به طوری که در منطقه زابل مقدار امگا به حدود ۰.۱+ پاسکال بر ثانیه می‌رسد که نشان‌دهنده پایداری جو در این تراز فشاری است.

شکل (۴.و) نقشه باد مداری و نصف النهاری را در فشار تراز ۵۰۰ میلی باری در روز ۲ ژوئن ۲۰۰۱ نشان می‌دهد. در این تراز فشاری، جریانات ساعتگرد و درون سو بر روی کشور حاکم است. همین امر سبب شده است در نیمه جنوبی و جنوب غربی کشور جهت جریانات، جنوب غربی - شمال شرقی و در نیمه شرقی کشور، جهت جریانات شمال غربی - جنوب شرقی شود.

### نتیجه گیری

در این بررسی توفان‌های گردوغباری شدید تابستانه (می تا سپتامبر) منطقه زابل در یک دوره آماری ۳۶ ساله (۱۹۷۶ - ۲۰۱۱) مورد مطالعه قرار گرفته است. بررسی‌های صورت گرفته نشان می‌دهد که با سه شرط تعیین شده برای توفان‌های گردوغباری شدید تابستانه منطقه زابل، شدت و فراوانی این نوع توفان‌ها در سال‌های اخیر در این منطقه کاسته شده است به طوری که از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۱ توفان گردوغباری شدید در منطقه زابل اتفاق نیفتاده است. بیشترین فراوانی ساعتی این توفان‌ها در ساعات اولیه صبح و کمترین فراوانی آن‌ها در بعد از ظهر و بیشترین فراوانی ماهانه این توفان‌ها در ماه ژولای و سپس ژوئن و آگوست اتفاق می‌افتد.

بررسی‌های همیدی نشان می‌دهد که توفان‌های گردوغباری شدید تابستانه منطقه زابل از یک الگوی سطح زمین و دو الگوی سطح فشار ۵۰۰ میلی باری تبعیت می‌کند. در الگوی سطح زمین، سامانه کم فشار موسمی تمامی پهنه کشور را دربر گرفته است به طوری که این سامانه با حرکت غرب سو و برون سوی خود سبب افت فشار بر روی کشور (غالباً کمتر از ۱۰۰۵ میلی بار) می‌شود. افت فشار و غلبه حرکت صعودی در نیمه شرقی کشور از شدت بیشتری برخوردار است همین امر سبب شده است جریانات گردوغباری در این ناحیه از کشور از شدت بیشتری برخوردار باشند. در الگوی سطح فشار ۵۰۰ میلی باری: در نوع اول، معمولاً زبان‌های و اچرخندی از نیمه غربی کشور (شمال غرب آفریقا و منطقه آזור) وارد و سپس از شمال و شمال شرق کشور، منطقه زابل را تحت تاثیر و سبب تشدید گردوغبار تا این تراز فشاری می‌شود. در الگوی نوع دوم یک سامانه مستقل و اچرخندی بر روی ایران و یا شمال شبه جزیره عربستان تشکیل شده که در ضلع شرقی خود علاوه بر پایداری جو، سبب جریان یافتن گردوغبار با جهت شمال غربی - جنوب شرقی در منطقه مورد مطالعه شده است.

## منابع

- امیدوار، کمال (۱۳۸۵) بررسی و تحلیل سینوپتیکی طوفان‌های ماسه در دشت یزد - اردکان، تحقیقات جغرافیایی، شماره ۸۱، صص ۴۳ - ۸۵.
- ایرانمنش، فاضل؛ خدری، محمود عرب؛ اکرم، مجتبی (۱۳۸۴) بررسی مناطق برداشت ذرات گردوغبار و ویژگی‌های انتشار آنها با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای، پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، شماره ۶۷، صص ۲۵-۳۳.
- براتی، غلامرضا؛ لشکری، حسن؛ کرمی، فریبا (۱۳۹۰) نقش همگرایی سامانه‌های فشار بر رخداد توفان‌های غباری استان خوزستان، جغرافیا و توسعه، شماره ۲۲، صص ۳۹ - ۵۶.
- خوش کیش، اسداللهی؛ علیجانی، بهلول؛ حجازی زاده، زهرا (۱۳۹۰) تحلیل سینوپتیکی سامانه‌های گردوغبار در استان لرستان، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، جلد ۱۸، شماره ۲۱، صص ۹۱ - ۱۱۰.
- خوشحال دستجردی، جواد؛ موسوی، سید حجت؛ کاشکی، عبدالرضا (۱۳۹۱) تحلیل همیدی توفان‌های گردوغبار ایران (۱۹۸۷ - ۲۰۰۵)، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۳، شماره ۲، صص ۱۵ - ۳۴.
- ذوالفقاری، حسن؛ معصوم پور سماکوش، جعفر؛ شایگان مهر، شاپور؛ احمدی، محمد (۱۳۹۰) بررسی همید توفان‌های گردوغبار در مناطق غربی ایران طی سال‌های ۱۳۸۴ - ۱۳۸۸ «مطالعه موردی: موج فراگیر تیر ماه ۱۳۸۸» مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۲، شماره ۳، صص ۱۷ - ۳۴.
- شمسی پور، علی اکبر؛ صفرزاد، طاهر (۱۳۹۱) تحلیل ماهواره‌ای - همیدی پدیده گردوغبار (گردوغبار تیرماه ۱۳۸۸) پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۹، صص ۱۱۱ - ۱۲۶.
- طاووسی، تقی؛ خسروی، محمود؛ رئیس پور، کوهزاد (۱۳۸۹) تحلیل همیدی سامانه‌های گردوغباری در استان خوزستان، جغرافیا و توسعه، شماره ۲۰، صص ۹۷ - ۱۱۸.
- طاووسی، تقی؛ سلیقه، محمد؛ صفرزایی، نعمت اله (۱۳۹۱) بررسی پارامترهای برداری باد و نقش آن در توفان‌های گردوغباری سیستان ایران، جغرافیا و پایداری محیط، شماره ۲، صص ۱۹ - ۳۰.
- طاووسی، تقی؛ کوهزاد، رئیس پور (۱۳۸۹) تحلیل آماری و پیش بینی احتمال وقوع توفان‌های شدید با استفاده از روش تجزیه و تحلیل سری‌های جزئی «مطالعه موردی: منطقه سیستان» مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، سال اول، شماره دوم، صص ۹۳ - ۱۰۵.
- علیجانی، بهلول (۱۳۸۸) آب و هوای ایران، تهران: انتشارات دانشگاه پیام نور.
- فرج زاده اصل، منوچهر؛ رجایی نجف آبادی، سعید (۱۳۹۰) تحلیل سینوپتیک الگوهای توفان‌های گردوخاک بوشهر از ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۵، مطالعه موردی: روز ۵ اسفندماه ۱۳۸۸، فصلنامه جغرافیای طبیعی، سال پنجم، شماره ۱۸، صص ۱-۱۲.
- فرج زاده اصل، منوچهر؛ علیزاده، خاطره (۱۳۹۰) تحلیل زمانی و مکانی توفان‌های گردوخاک در ایران، فصلنامه مدرس علوم انسانی، دوره پانزدهم، شماره اول، صص ۶۵ - ۸۴.
- فیاض، محمد (۱۳۸۴) بررسی منشا توفان‌های ماسه‌ای دشت سیستان با استفاده از اطلاعات دورسنجی، فصلنامه پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، جلد ۱۲، شماره ۱، صص ۴۱ - ۶۲.

کریمی احمد آباد، مصطفی؛ شکوهی رازی، کامیار (۱۳۸۸) اندرکنش گردش جو و پوشش سطح زمین در سازوکار تشکیل و گسترش توفان‌های گردوغبار تابستانه خاورمیانه «توفان گردوغبار تیرماه ۱۳۸۸»، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۸، صص ۱۱۳ - ۱۳۰.

گندمکار، امیر (۱۳۸۹) تعیین گستره افقی باد سیستان با استفاده از تحلیل خوشه‌ای، فصلنامه جغرافیای طبیعی، سال سوم، شماره ۱۰، صص ۶۷ - ۸۶.

لشکری، حسن؛ کیخسروی، قاسم (۱۳۸۷) تحلیل آماری سینوپتیکی توفان‌های گردوغبار استان خراسان رضوی در فاصله زمانی (۱۹۹۳ - ۲۰۰۵) پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۶۵، صص ۱۷ - ۳۳.

مفیدی، عباس؛ جعفری، سجاد (۱۳۹۰) بررسی نقش گردش منطقه‌ای جو بر روی خاورمیانه در وقوع توفان‌های گردوغباری تابستانه در جنوب غرب ایران، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، سال دوم، شماره پنجم، صص ۱۷ - ۴۵.

Barkan, Joseph and Alpert, Pinhas (2010) **Synoptic analysis of a rare event of Saharan dust reaching the Arctic region**, Royal Meteorological Society, 65, No8, 208-211.

Gao Xiaqing, Yabuki, S. Qu, Zh. Et al., (2002) **some characteristics of dust storm in Northwest China**, Jour. Arid Land Studies, 11, 235-243.

Goudi, Andrew. S. And Middleton, Nicholas. J. (2000) **Dust storms in South West Asia**, geographica, 35, 73-83.

Klose, Martina. Shao, Yaping. Karremann, Melanie K and Fink, Andreas H (2010) **Sahel dust zone and synoptic background**, geophysical research letters, 37, 1-6.

Shao, Y. and Dong, C.H. (2006) **A review on East Asian dust storm climate, modeling and monitoring**, Global and Planetary Change, 52, 1-22.

Takemi, Tetsuya (2005) **Dust storms and cyclone tracks over the arid regions in east Asia in spring**, journal of geophysical research, 110, 1-11.

Yoshino, Masatoshi (2002) **Climatology of yellow sand (Asian sand, Asian dust or Kosa) in East Asia**, science in china (Series D), 45, 59 - 70.

Tan, Sai-chun; She, Guang-yu; She, Jin-hui; Gao, wang and Yao, xiaohong (2011) **correlation of Asian dust whit chlorophyll and primary productivity in the coastal seas of china during the period** from 1998 to 2008, Journal of Geophysical Research: Biogeosciences (2005-2012), V:116

Shao, Y. Dong, C.H. (2006) **A review on East Asian dust storm climate, modelling and monitoring**, Global and Planetary Change, 52, 1-22.

Kutieli, Haim; Furman, Hadar (2003) **Dust Storms in the Middle East: Sources of Origin and their Temporal Characteristics**, Environmental Problems Affecting Health, 12, 419-426.