



## شناسایی کانون‌های گردوغبار با استفاده از مدل WRF - Chem و طرح‌واره‌های فرسایش بادی GOCART و AFWA (طوفان شبیه سازی شده ۲ خرداد ۱۳۹۷)

فرشاد سلیمانی ساردو<sup>۱</sup>، طیبه مصباح زاده<sup>۲\*</sup>، علی سلاجقه<sup>۲</sup>، غلامرضا زهتابیان<sup>۲</sup>، عباس رنجبر<sup>۳</sup>، ماریو مارسلو مگیلیتا<sup>۴</sup> و سارا کرمی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه جیرفت، جیرفت، ایران

<sup>۲</sup> گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

<sup>۳</sup> پژوهشکده هواشناسی و علوم جو، سازمان هواشناسی کشور، تهران، ایران

<sup>۴</sup> پژوهشکده علوم جو و اقلیم پادوا، شورای ملی تحقیقات ایتالیا، ایتالیا

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۱/۳۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۸/۲۰

سلیمانی ساردو ف. ط. مصباح زاده، ع. سلاجقه، غ. زهتابیان، ع. رنجبر، م. م. مگیلیتا و س. کرمی. ۱۴۰۰. شناسایی کانون‌های گردوغبار با استفاده از مدل WRF - Chem و طرح‌واره‌های فرسایش بادی GOCART و AFWA (طوفان شبیه سازی شده ۲ خرداد ۱۳۹۷). فصلنامه علوم محیطی. ۱۹(۲): ۹۱-۱۱۰.

**سابقه و هدف:** امروزه گردوغبار یک چالش اساسی جوامع انسانی محسوب می‌شود. گردوغبارها تأثیر قابل توجهی روی بودجه تابشی زمینی، چرخه‌های بیوژئوشیمیایی جهانی، تشکیلات خاک، ترکیب‌های شیمیایی اتمسفر می‌گذارند. این پدیده می‌تواند روی سنجه‌های سلامت عمومی تأثیر بگذارد. فلات مرکزی ایران به دلیل قرار گرفتن در اقلیم خشک و نیمه‌خشک سالانه با فراوانی بیشتری نسبت به دیگر منطقه‌ها با این پدیده روبرو است. مدیریت و کنترل گردوغبار منوط به شناسایی کانون‌های بحرانی آن و تثبیت در منطقه برداشت امکان‌پذیر است. هدف از این مطالعه، شناسایی کانون‌های گردوغبار داخلی با استفاده از پارامتر شار قائم گردوغبار است.

**مواد و روش‌ها:** این مطالعه در منطقه فلات مرکزی ایران که اقلیم بیشتر منطقه مورد مطالعه گرم و خشک هست، انجام شده است. بیابان‌های کویر و لوت منطقه وسیعی از این حوزه را می‌پوشانند. در این مطالعه به منظور شناسایی کانون‌های گردوغبار از مدل WRF - Chem و طرح‌واره‌های فرسایش بادی GOCART و AFWA استفاده گردید. برای تشخیص کانون‌های گردوغبار از خروجی شار گسیل طرح‌واره‌های فرسایش بادی استفاده گردید. در همین راستا طوفان شدید ۲ خرداد ۱۳۹۷ توسط مدل WRF - Chem برای شبیه‌سازی انتخاب گردید. به منظور صحت سنجی و انتخاب بهترین طرح‌واره فرسایش بادی فلات مرکزی ایران از داده‌های پایگاه باز تحلیل MERRA2 و مقادیر غلظت سطحی گردوغبار استفاده شد.

**نتایج و بحث:** نتایج نشان داد خروجی‌های طرح‌واره‌های GOCART و AFWA با یکدیگر متفاوت است. طرح‌واره GOCART سه کانون گردوغبار قوی در منطقه مورد مطالعه شناسایی کرد که این چشمه‌ها در حوزه جازموریان، حوزه لوت و بیابان مرکزی (بیابان کویر) قرار دارند اما مدل AFWA فقط یک کانون ضعیف در حوزه لوت توانست شناسایی کند. نتایج نشان می‌دهد مرکز بیابان لوت، جنوب حوزه جازموریان و همچنین مرکز بیابان دشت کویر (بیابان مرکزی) به عنوان کانون‌های گردوغبار داخلی شناخته می‌شوند. به طوریکه از یک مترمربع این مناطق در ثانیه

امکان برخاستن ۵۸۰۰ میکروگرم گردوغبار به اتمسفر وجود دارد. با توجه به اینکه مدت زمان طوفان ۱۲ ساعت بوده است از هر هکتار کانون‌های گردوغبار داخلی حدود ۲ تن و ۵۰۵ کیلوگرم گردوخاک به اتمسفر انتقال داده می‌شود. به منظور صحت سنجی از داده‌های باز تحلیل MERRA2 و پارامتر غلظت سطحی استفاده گردید. نتایج طرح‌واره GOCART با داده‌های سری زمانی سه‌ساعته پایگاه باز تحلیل MERRA2 مطابقت بیشتری داشت و به‌عنوان بهترین طرح‌واره فرسایش بادی در فلات مرکزی ایران انتخاب شد.

**نتیجه‌گیری:** نتایج نشان داد که مدل WRF - Chem به‌خوبی توانایی شبیه‌سازی این پارامتر در منطقه مورد مطالعه را دارد. نتایج حاصل از طرح‌واره‌های GOCART و AFWA بسیار متفاوت بود به‌طوری‌که مدل AFWA کانون‌های گردوغبار داخلی را بسیار ضعیف برآورد کرد اما مدل GOCART به‌خوبی کانون‌های گردوغبار داخلی را شناسایی کرد.

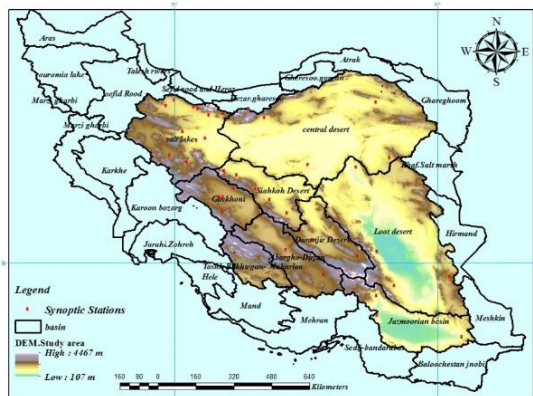
**واژه‌های کلیدی:** کانون‌های گردوغبار، مدل WRF - Chem، طرح‌واره GOCART و AFWA، شار گسیل گردوغبار، پایگاه باز تحلیل MERRA2، فلات مرکزی ایران.

## مقدمه

فرسایش بادی یکی از فرآیندهای مهم بیابان‌زایی در منطقه‌های خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود (Gregory *et al.*, 2004; Buschiazzi and Zobeck, 2008; Webb *et al.*, 2009). این نوع فرسایش یک فرسایش زمین‌شناسی طبیعی است که شامل بخش‌های جداسازی، انتقال و رسوب‌گذاری ذرات اصلی خاک به‌وسیله بادهای فرساینده هست (Li *et al.*, 2007; Hoffman *et al.*, 2011). خشکی خاک، کمبود پوشش گیاهی و بادهای فرساینده از مهمترین دلایل‌های فرسایش بادی در منطقه‌های مختلف می‌باشند. رخداد پدیده گردوغبار از نتایج فرسایش بادی در منطقه‌های تحت تأثیر هست. این پدیده در منطقه‌های خشک و نیمه‌خشک از فراوانی بالاتری برخوردار است (Shao and Dong 2006). در سال‌های اخیر وقایع گردوغبار در منطقه آسیا با فراوانی و شدت بیشتری اتفاق افتاده است (Azizi *et al.*, 2012). طیف جهانی انتشار گردوغبار به اتمسفر بین ۱۰۱۸ Tg/year (Miller *et al.*, 2004) تا ۳۰۰۰ Tg/year تخمین زده شده است (Tegen and Fung 1994). به‌طور تقریبی بین ۳۰ تا ۵۰ درصد کل ذرات ورودی به اتمسفر گردوخاک هست (Alfaro, 2008). گردوغبارها تأثیر قابل‌توجهی روی بودجه تابشی زمینی، چرخه‌های بیوژئوشیمیایی جهانی، تشکیلات خاک، ترکیب-های شیمیایی اتمسفر می‌گذارند (Chadwick *et al.*, 1999; Reynolds *et al.*, 1999; Jickells *et al.*, 2005; Li *et al.*, 2012). این فرسایش بادی می‌تواند کیفیت هوا را کاهش دهد و همچنین سلامت عمومی انسان‌ها را نیز تهدید می‌کند (Chen *et al.*, 2006; Wen *et al.*, 2004; Liu *et al.*, 2006). گذشته مدل‌های پیش‌بینی عددی برای انتشار گردوغبار طراحی شده است (Tegen and Fung, 1994; Wang *et al.*, 2000; Ginoux *et al.*, 2001; Nickovic *et al.*, 2001; Shao, 2001; Gong, 2003; Woodward, 2001; Zender, 2003; Liu *et al.*, 2003; Tanaka and Chiba, 2005; Mang, 2007; Liu *et al.*, 2007; Klose and Shao, 2012; Klose and Shao, 2013). طرح‌واره‌های گسیل غبار زیادی با توجه به پارامترهای مختلف ورودی برای گسیل غبار طراحی شده‌اند (Marticorena and Bergametti, 1995; Alfaro and Gomes, 2001; Ginoux *et al.*, 2001). هر کدام از این طرح‌واره‌ها به شکل‌های مختلفی فرسایش بادی را پارامتر سازی می‌کنند. یکی از طرح‌واره‌های فرسایش بادی که کاربرد زیادی برای پیش‌بینی ذرات گردوغبار به‌کاربرده می‌شود، مدل GOCART است (Chin *et al.*, 2000; Ginoux *et al.*, 2001). این مدل از مؤلفه‌های انتشار، انتقال و رسوب‌گذاری تشکیل شده است. این مطالعه روی مؤلفه انتشار گردوغبار متمرکز شده است. این مدل می‌تواند انتقال ذرات و بازخوردهای آن را در جو شبیه‌سازی نماید (Grell *et al.*, 2005; Fast *et al.*, 2006).

فرسایش بادی یکی از فرآیندهای مهم بیابان‌زایی در منطقه‌های خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود (Gregory *et al.*, 2004; Buschiazzi and Zobeck, 2008; Webb *et al.*, 2009). این نوع فرسایش یک فرسایش زمین‌شناسی طبیعی است که شامل بخش‌های جداسازی، انتقال و رسوب‌گذاری ذرات اصلی خاک به‌وسیله بادهای فرساینده هست (Li *et al.*, 2007; Hoffman *et al.*, 2011). خشکی خاک، کمبود پوشش گیاهی و بادهای فرساینده از مهمترین دلایل‌های فرسایش بادی در منطقه‌های مختلف می‌باشند. رخداد پدیده گردوغبار از نتایج فرسایش بادی در منطقه‌های تحت تأثیر هست. این پدیده در منطقه‌های خشک و نیمه‌خشک از فراوانی بالاتری برخوردار است (Shao and Dong 2006). در سال‌های اخیر وقایع گردوغبار در منطقه آسیا با فراوانی و شدت بیشتری اتفاق افتاده است (Azizi *et al.*, 2012). طیف جهانی انتشار گردوغبار به اتمسفر بین ۱۰۱۸ Tg/year (Miller *et al.*, 2004) تا ۳۰۰۰ Tg/year تخمین زده شده است (Tegen and Fung 1994). به‌طور تقریبی بین ۳۰ تا ۵۰ درصد کل ذرات ورودی به اتمسفر گردوخاک هست (Alfaro, 2008). گردوغبارها تأثیر قابل‌توجهی روی بودجه تابشی زمینی، چرخه‌های بیوژئوشیمیایی جهانی، تشکیلات خاک، ترکیب-های شیمیایی اتمسفر می‌گذارند (Chadwick *et al.*, 1999; Reynolds *et al.*, 1999; Jickells *et al.*, 2005; Li *et al.*, 2012).

جبران ناپذیری به جوامع انسانی، زیرساخت‌ها و اکوسیستم‌های طبیعی وارد می‌کند. اقلیم خشک، پوشش گیاهی تنک، بادهای فرساینده و خاک عاری از رطوبت از مهمترین دلایل وقوع پدیده گردوغبار در این منطقه‌ها است. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه  
Fig. 1- Geographical location of the study area

## ۲-۲ روش کار

مدل WRF - Chem قابلیت عددی پیشرفته‌تری نسبت به دیگر مدل‌ها داشته و همین‌طور به دلیل دارا بودن تفکیک پذیری بالاتر، اثرهای محلی را دقیق‌تر بررسی می‌کند. مدل WRF - Chem برخلاف بیشتر مدل‌های مشابه، نیازی به جفت شدن با یک مدل جوی و یا وارد کردن کمیت‌های جوی ندارد و به صورت برخط کمیت‌های جوی مورد نیاز خود را محاسبه می‌کند. به‌طور کلی برای پدیده گردوغبار سه بخش گسیل، انتقال و نهشت در نظر گرفته می‌شود، بنابراین برای پیش‌بینی پدیده گردوغبار به‌طور عمده چندین مدل با یکدیگر جفت می‌شوند (Shao *et al.*, 2006). در بخش گسیل، برای محاسبه شار سطحی گردوغبار، افزون بر داده‌های هواشناسی، داده‌هایی همچون بافت خاک، کسر پوشش گیاهی، رطوبت خاک و فرسایش پذیری مورد نیاز است. طرح‌واره‌های مختلف برای محاسبه میزان شار گردوغبار گسیل شده از سطح از داده‌های مختلف و روش‌های متفاوت پارامتر سازی استفاده می‌کنند. بنابراین به‌طور معمول در برآورد مقدار گسیل گردوغبار با

(Peckham *et al.*, 2011). مطالعات زیادی با استفاده از مدل WRF - Chem و طرح‌واره گسیل گردوغبار GOCART از قبیل (Zhao *et al.*, 2010; Bian *et al.*, 2011; Liu *et al.*, 2011; Zhao *et al.*, 2011; Dipu *et al.*, 2013; Alizadeh Choobari *et al.*, 2013; Kalenderski *et al.*, 2013; Zhao *et al.*, 2013; Kumar *et al.*, 2014; Jish Prakash *et al.*, 2015; Zhang *et al.*, 2015; Kalenderski and Stenchikov, 2016). انجام گرفته است. افزون بر این در این مطالعه از طرح‌واره فرسایش بادی AFWA نیز استفاده شد. تحقیق‌های گسترده‌ای در این زمینه با استفاده از مدل AFWA صورت گرفته که عبارت‌اند از (Fung, Su and Wang *et al.*, 2015; Wang *et al.*, 2015; Teixeira *et al.*, 2016; Rizza *et al.*, 2016; Fountoukis *et al.*, 2016; Flaounas *et al.*, 2016; Uzan *et al.*, 2016; Nabavi, 2017; Cremades *et al.*, 2017). در همین راستا (Rezazadeh *et al.*, 2013) مطالعه‌ای در منطقه خاورمیانه به عملکرد مدل‌های عددی فرسایش بادی در شبیه‌سازی گردوغبار پرداختند در این تحقیق از مدل WRF - Chem و سه طرح‌واره غبار مارتیکرنا -برگامتی، لو - شائو و شائو (۲۰۰۴) برای غبار ۴ - ۹ جولای سال ۲۰۰۹ منطقه خاورمیانه استفاده شد.

## مواد و روش‌ها

### ۲-۱ منطقه مورد مطالعه

حوزه فلات مرکزی بزرگترین حوزه آبخیز کشور ایران است که ۱۱ استان پهناور را در خود جای می‌دهد. اقلیم بیشتر منطقه مورد مطالعه گرم و خشک هست. بیابان‌های کویر و لوت منطقه وسیعی از این حوزه را می‌پوشانند. متوسط رطوبت نسبی این دشت‌ها ۳۰ تا ۴۰ درصد است، اما در دوره‌های گرم سال تا ۱۵ درصد کاهش پیدا می‌کند. میانگین دمای سالانه بین ۱۵ تا ۳۰ درجه متغیر است و همچنین حداکثر و حداقل دما به ترتیب ۵۱ و ۱۸- درجه سانتی‌گراد گزارش شده است (Naderi and Raisei, 2015). یکی از مهمترین معضلات این منطقه پدیده، طوفان‌های گردوغبار هست که سالانه خسارت‌های

$$u_t^* = u_t^*(D_p) \frac{f(\text{moisture})}{f(\text{roughness})} \quad (3)$$

$$u_{t^*}(D_p) = 0.129 \frac{\left[ \frac{\rho_p g D_p}{\rho_a} \right]^{0.5} \left[ 1 + \frac{0.006}{\rho_p g D_p^{2.5}} \right]^{0.5}}{\left[ 1.928(aD_p^2 + b) - 1 \right]^{0.5}} \quad u_{t^*} = u_{t^*}(D_p) \frac{f(\text{moisture})}{f(\text{roughness})} \quad (4)$$

در رابطه بالا،  $f(\text{roughness})$  تصحیح جزء کشال (drag partition correction) است. اگر  $f(\text{roughness})$  برابر با ۱ باشد، به معنی سطح هموار است. این مقدار با افزایش سطوح صخره‌ای، پوشش گیاهی و سایر ناهمواری‌ها، افزایش می‌یابد. در حال حاضر مقدار  $f(\text{roughness})$  برای جنوب غرب آسیا به مقدار ۱ تنظیم شده است. انتشار گردو خاک به‌طور عموم به منطقه‌های با طول زبری کمتر از ۵ متر، مانند بیابان‌ها و منطقه‌های با پوشش گیاهی فقیر محدود می‌شود. در طرح‌واره AFWA، شار گردو غبار ناشی از فرآیند Saltation بر سطح خاک لخت از رابطه زیر به‌دست می‌آید.

$$H(D_p) = C \frac{\rho_a}{g} u_*^3 \left( 1 + \frac{u_{*t}}{u_*} \right) \left( 1 - \frac{u_{*t}^2}{u_*^2} \right) \quad (5)$$

$$G = \sum H(D_p) dS_{rel}(D_p) \quad (6)$$

در این طرح‌واره شار قائم گردو خاک توده‌ای بر پایه Marticorena and Bergametti, 1995 محاسبه می‌شود که البته یک ضریب اصلاحی نیز برای آن در نظر گرفته شده است

$$F_{bulk} = G \alpha \times Erod \quad (7)$$

$$\alpha = 10^{0.134(\%clay) - 6}$$

### نتایج و بحث

#### ۳-۱ پیکربندی مدل WRF - Chem

در این تحقیق، از نسخه 3.9.1 مدل WRF - Chem برای

یکدیگر اختلاف دارند که به‌نوبه خود سبب تفاوت قابل توجه در پرونداد غلظت گردو غبار موجود در جو می‌شود.

#### ۲-۲-۱ طرح‌واره گردو غبار GOCART

این طرح‌واره، کانون‌های بالقوه گردو غبار را بر پایه کسر فرسایش‌پذیری در نظر می‌گیرد. شار قائم گردو خاک از سطح به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$F_p = C_G S_s U_{10}^2 (U_{10} - U_t^*) U_{10} > U_t^* \quad (1)$$

که  $c$  ثابتی تجربی است و برابر  $\frac{1}{9} \frac{\mu g s^2}{m^5}$  در نظر گرفته شده،  $u_{10}$  سرعت باد تراز ۱۰ متر،  $u_t^*$  سرعت آستانه برای فرسایش بادی ذره به‌اندازه  $p$  است که در سرعت‌های پایین‌تر از آن هیچ گسلی صورت نمی‌گیرد.  $S_p$  کسر هر دسته گردو خاک است که برای کوچک‌ترین اندازه ذرات برابر ۰/۱ و برای سایر اندازه‌ها برابر ۰/۲۵ در نظر گرفته شده است.  $S$  تابع فرسایش‌پذیری است که با رابطه زیر به‌دست می‌آید (Chin et al., 2000).

$$S = \left( \frac{Z_{max} - Z_i}{Z_{max} - Z_{min}} \right)^5 \quad (2)$$

که در آن،  $S$  احتمال تجمع رسوبات در نقطه  $i$  از شبکه با ارتفاع  $Z_i$  است.  $Z_i$  ارتفاع سلول شبکه،  $Z_{min}$  و  $Z_{max}$  به ترتیب ارتفاع بیشینه و کمینه توپوگرافی در فاصله ۱۰ درجه در ۱۰ درجه از مرکز سلول شبکه است. در این طرح‌واره، پنج اندازه مختلف برای ذرات گردو خاک به شکل آرمانی کروی با شعاع‌های ۰/۱ تا ۱۰ میکرومتر در نظر گرفته شده است. شعاع‌های مؤثر ذرات عبارت‌اند از: ۰/۷۳، ۱/۴، ۲/۴، ۴/۵ و ۸ میکرومتر که کلیه محاسبه‌ها برای هر یک از آن‌ها انجام می‌شود.

#### ۲-۲-۳ طرح‌واره گردو غبار AFWA

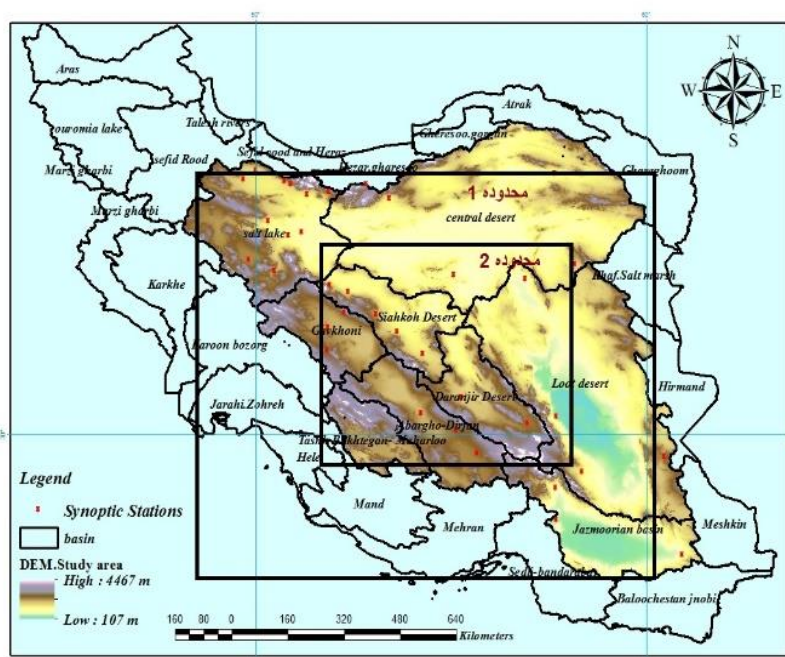
روش پارامتر سازی بیان شده توسط مارتیکورنا و برگامتی (۱۹۹۵) برای انتشار ذرات گردو غبار، به‌صورت طرح‌واره یا ماژول گردو غبار AFWA توسط مرکز هواشناسی نیروی هوایی ایالات متحده در مدل WRF - Chem پیاده‌سازی شد. در طرح‌واره AFWA، ضریب تصحیح به‌صورت زیر اعمال می‌گردد.

اولیه از GFS NOAA با تفکیک افقی ۰/۵ درجه در ۰/۵ درجه به دست آمده است. داده‌های جغرافیایی ایستا مانند ارتفاع ناهمواری‌ها، ویژگی‌های خاک، کسر پوشش گیاهی و کاربری زمین‌ها از داده‌های USGS استفاده شده‌اند. در جدول ۱ طرح‌واره‌های مورد استفاده در اجرای مدل WRF - Chem - اشاره شده است.

شبیه‌سازی طوفان‌های گردوغبار استفاده شد. دو دامنه تودرتو برای مدل تعریف شد. حوزه اول محدوده ۴۰/۴۸ - E ۶۰/۲۴ و N ۲۷/۸۷ - که تعداد نقاط شبکه در آن ۱۰۰\*۹۰ و فاصله نقاط ۱۱/۲ کیلومتر تعریف شد. حوزه دوم نیز محدوده ۵۸/۳۱ - E ۵۲/۳۵ و N ۲۹/۹۶ - ۳۵/۱۶ تعریف شد که در شکل ۲ نشان داده شده است. شرایط مرزی و

جدول ۱. طرح‌واره‌های مورد استفاده در اجرای مدل WRF - Chem  
Table 1. Schemas used in the implementation of the WRF-Chem model

WRF Single-Moment 5-class	فیزیک خردمقیاس Micro-scale physics
RRTM (Mlawer, 1997)	تابش موج بلند Long wave radiation
Goddard shortwave (Chou, 1998)	تابش موج کوتاه Shortwave radiation
Noah Land Surface Model (Chen, 1996)	فیزیک سطحی Surface physics
YSU (Noh <i>et al.</i> , 2002)	لایه مرزی Boundary layer
Grell 3D (Grell, 1993)	همرفت کومه‌ای Cumulus convection



شکل ۲- محدوده‌های تودرتوی شبیه‌سازی شده در مدل WRF - Chem  
Fig. 2- Nested areas simulated in the WRF-Chem model

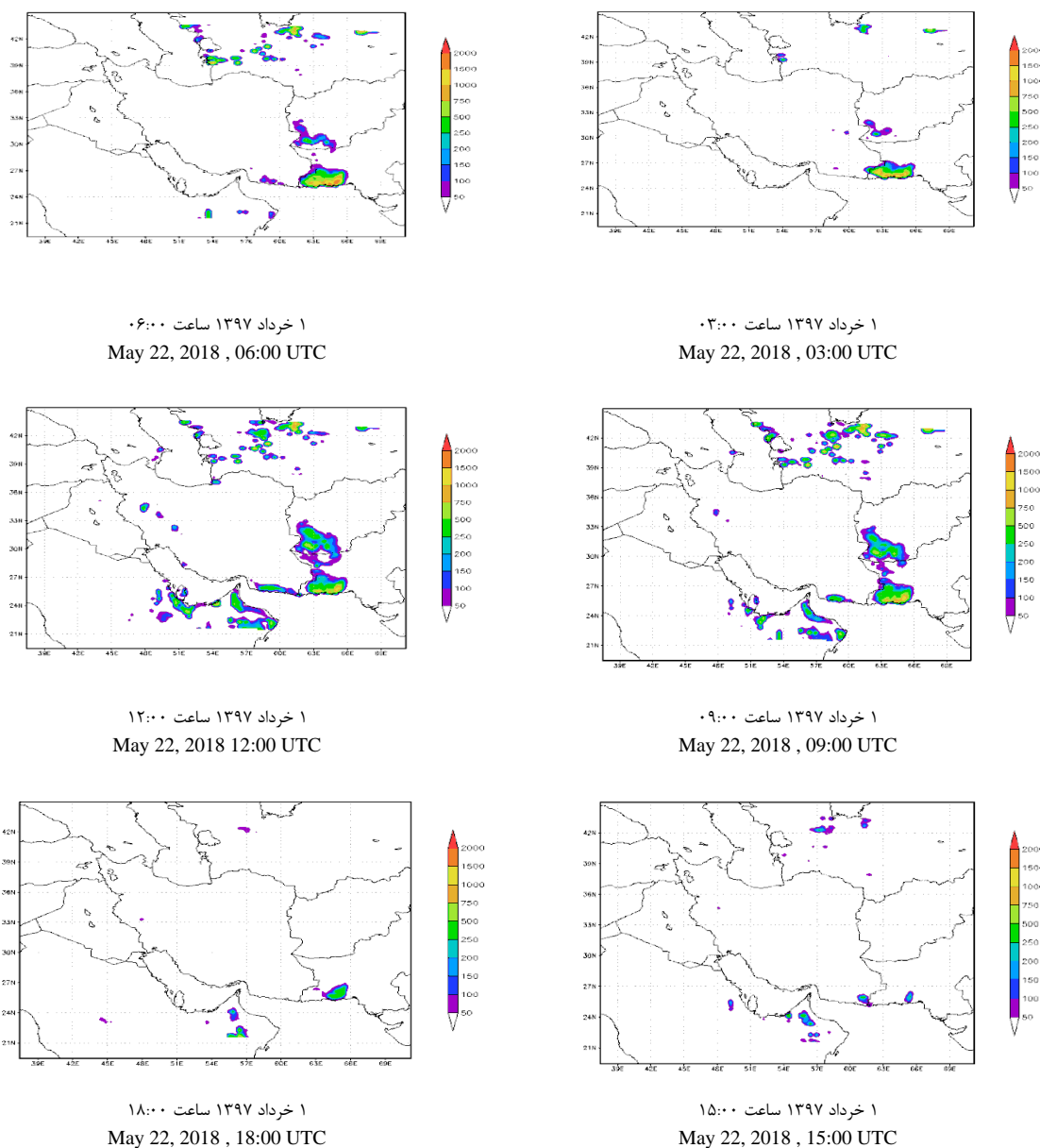
برای شبیه‌سازی طوفان‌های گردوغبار WRF-Chem دارای طرح‌واره‌های گسیل گردو خاک متفاوتی است که در این مطالعه از دو طرح‌واره GOCART و AFWA استفاده شد.

برای شبیه‌سازی طوفان‌های مورد بررسی، مدل از ۲۴ ساعت قبل از شروع طوفان اجرا شده است و ۳ ساعت اول هر اجرا به‌عنوان زمان up-spin در نظر گرفته شده است. مدل

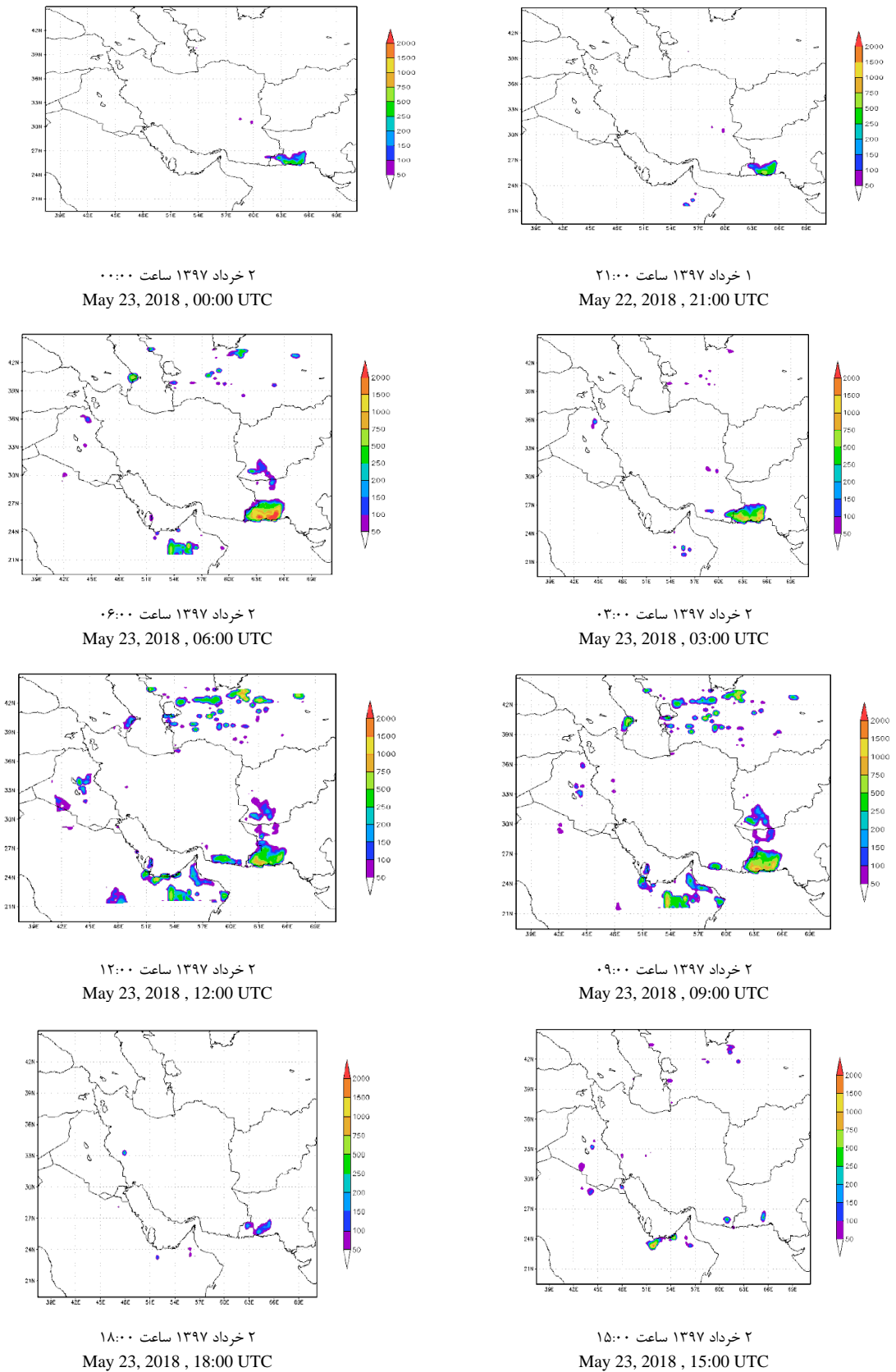
تاریخ موردنظر اعم از اطلاعات لایه‌مرزی و اطلاعات زمینی به مدل خورنده شد و در Name list مدل، طرح‌واره AFWA به‌عنوان طرح‌واره فرسایش بادی برای شبیه‌سازی شار گسیل گردوغبار معرفی گردید. نتایج شبیه‌سازی الگوی مکانی و زمانی شار گسیل گردوغبار با طرح‌واره AFWA بافاصله زمانی ۳ ساعته در شکل ۲ نشان داده شده است.

۲-۳ شبیه‌سازی طوفان گردوغبار ۲ خرداد ۱۳۹۷  
 ۱-۲-۳ بررسی الگوی مکانی - زمانی شار قائم گردوغبار با استفاده از طرح‌واره فرسایش بادی AFWA

به‌منظور بررسی الگوی مکانی و زمانی شار گسیل گردوغبار، طوفان ۲ خرداد ۱۳۹۷ توسط مدل WRF - Chem با طرح‌واره AFWA اطلاعات اولیه طوفان در



شکل ۳- الگوی مکانی - زمانی شار گسیل گردوغبار ( $\mu\text{g}/\text{m}^2$ ) طوفان ۲ خرداد ۱۳۹۷ با طرح‌واره AFWA  
 Fig. 3- Spatio-temporal pattern of storm dust emission flux ( $\mu\text{g}/\text{m}^2$ ) on 05/22/2018 with AFWA schema

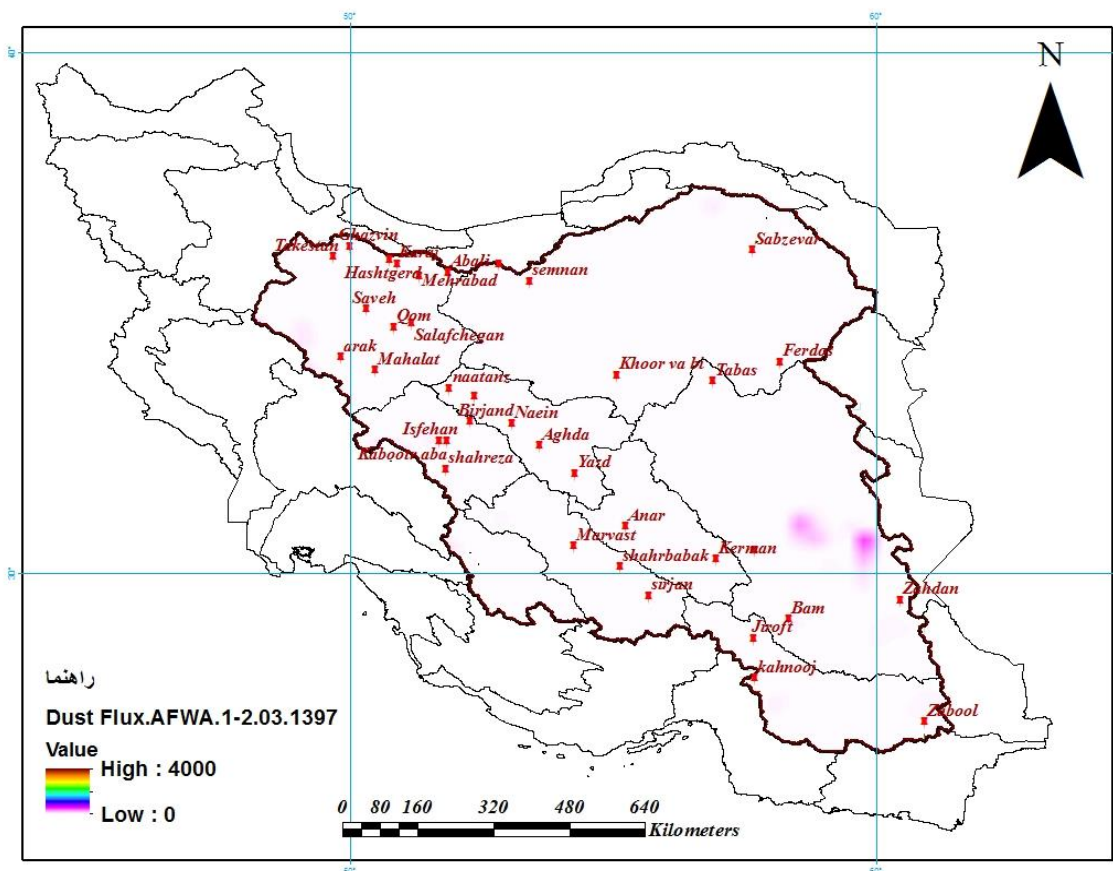


ادامه شکل ۳- الگوی مکانی - زمانی شار گسیل گردوغبار ( $\mu\text{g}/\text{m}^2$ ) طوفان ۲ خرداد ۱۳۹۷ با طرحواره AFWA

Fig. 3- Spatio-temporal pattern of storm dust emission flux ( $\mu\text{g}/\text{m}^2$ ) on 05/22/2018 with AFWA schema

۳ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که طرح‌واره AFWA هیچ کانون گردوغبار داخلی را شناسایی نکرده است. به‌طوریکه طوفان بالا در خردادماه که بیشترین وقوع طوفان و روزهای گردوغبار در منطقه در این ماه اتفاق می‌افتد، رخ داده است. به‌عبارت‌دیگر طرح‌واره AFWA نتوانسته است به‌خوبی طوفان ۲ خرداد ۱۳۹۷ شبیه‌سازی کند و مقدار گردوخاک برخاسته از سطوح فرسایش پذیر منطقه مورد مطالعه را بسیار ناچیز برآورد کرده است.

نتایج نشان می‌دهد طرح‌واره AFWA هیچ کانون گردوغباری را در داخل منطقه مورد مطالعه، شناسایی نمی‌کند. کانون‌های بیرونی گردوغبار هم به‌صورت ضعیف نشان داده می‌شوند. از مهمترین کانون‌های بیرونی بیابان قره قوم در شمال شرقی ایران، بیابان عربی در عربستان سعودی و حوزه هیرمند در کشور افغانستان است. اوج فعالیت این چشمه‌ها در ۲ خرداد ۱۳۹۷ ساعت ۰۹:۰۰ و ساعت ۱۲:۰۰ هست. به‌منظور شناسایی بهتر کانون‌های داخلی متوسط الگوی مکانی شار گردوغبار به‌وسیله نرم‌افزار ArcGIS ترسیم شد که در شکل



شکل ۴- متوسط الگوی مکانی شار گسیل گردوغبار ( $\mu\text{g}/\text{m}^2$ ) طوفان ۲ خرداد ۱۳۹۷ با طرح‌واره AFWA  
 Fig. 4- Average spatial pattern of storm dust emission flux ( $\mu\text{g}/\text{m}^2$ ) on 05/22/2018 with AFWA schema

WRF - Chem و طرح‌واره GOCART به‌عنوان جایگزین طرح‌واره AFWA استفاده شد. نتایج شبیه‌سازی الگوی مکانی و زمانی طوفان ۲ خرداد ۱۳۹۷ با طرح‌واره GOCART با سری زمانی ۳ ساعته در شکل ۴ آمده است.

۲-۲-۳ الگوی مکانی - زمانی شار گردوغبار طوفان ۲ خرداد ۱۳۹۷ با استفاده از طرح‌واره فرسایش بادی GOCART به‌منظور شناسایی کانون‌های گردوغبار با استفاده از شار قائم در شبیه‌سازی طوفان ۲ خرداد ۱۳۹۷ از مدل



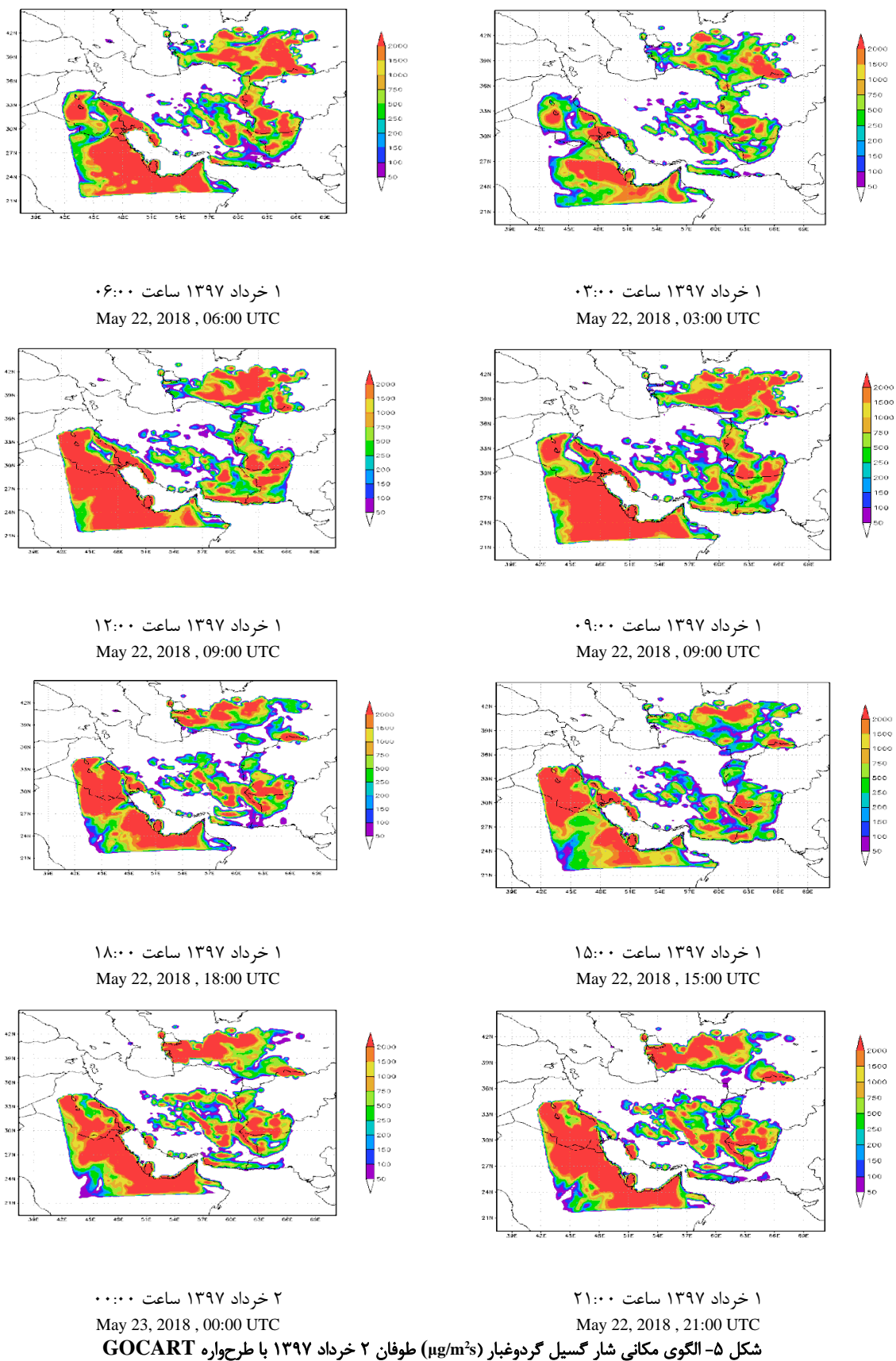
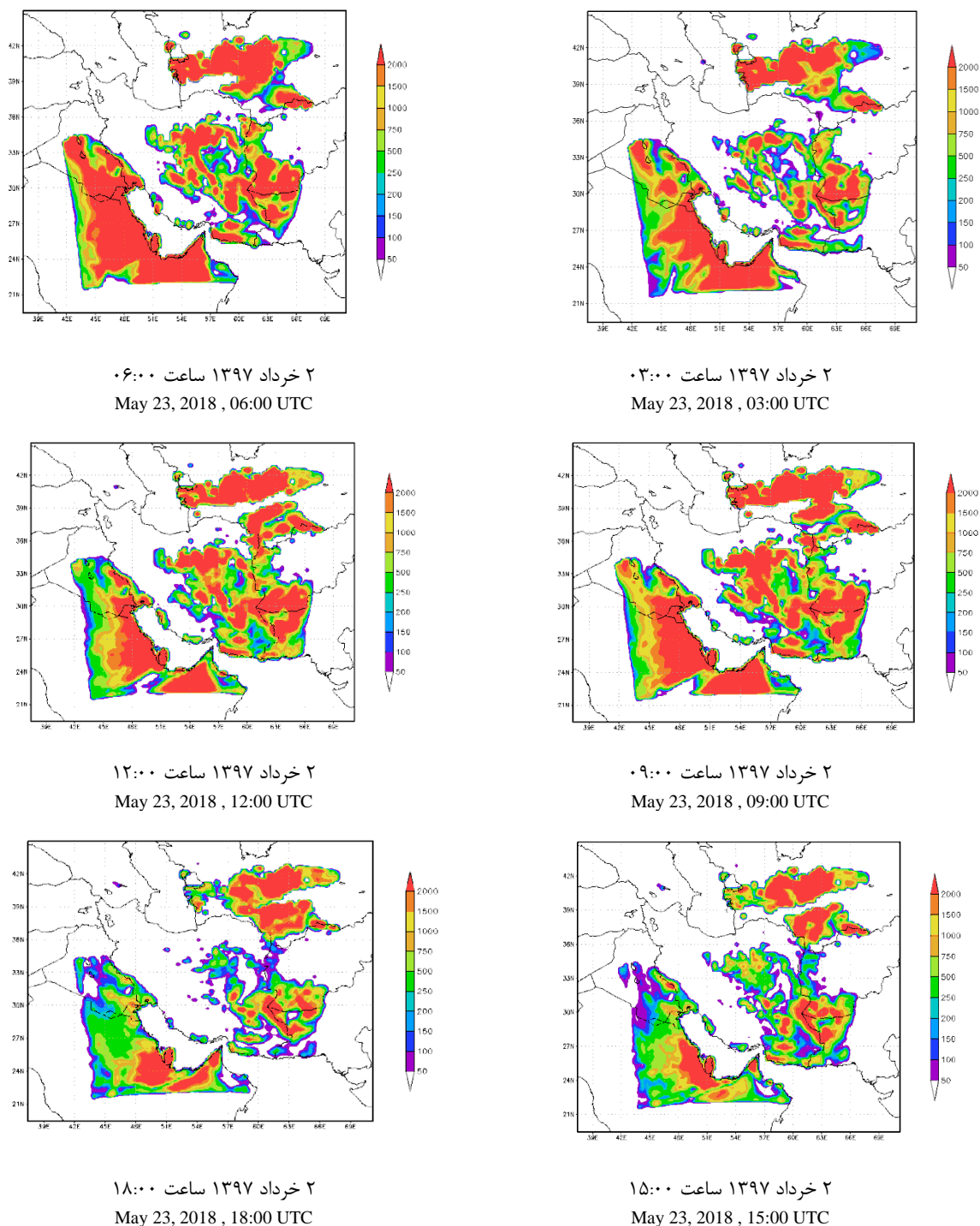


Fig. 5- Spatio-temporal pattern of storm dust emission flux ( $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{s}$ ) on 05/22/2018 with GOCART schema



ادامه شکل ۵- الگوی مکانی شار گسیل گردوغبار ( $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{s}$ ) طوفان ۲ خرداد ۱۳۹۷ با طرحواره GOCART

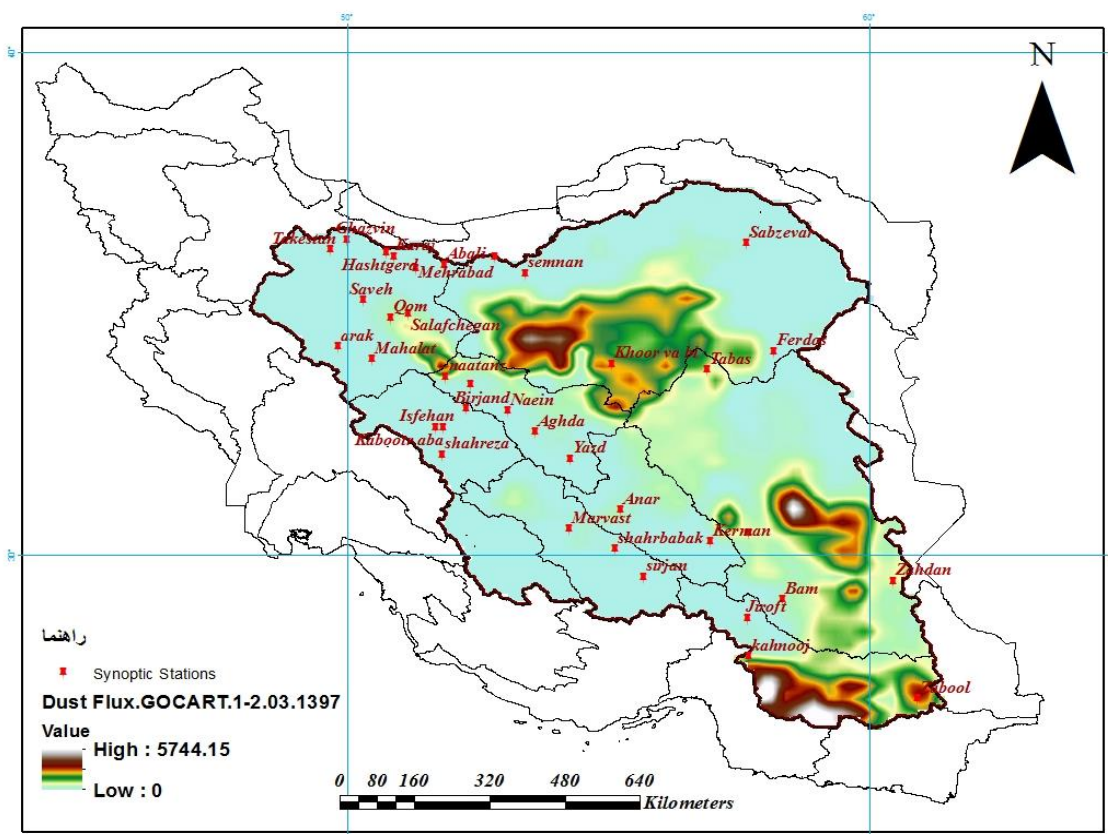
Fig. 5- Spatio-temporal pattern of storm dust emission flux ( $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{s}$ ) on 05/22/2018 with GOCART schema

در هنگام فعالیت طوفان ۲ خرداد ۱۳۹۷ سه کانون بیرونی اطراف ایران نیز فعال می‌شود که می‌تواند بر کیفیت هوای منطقه تأثیر منفی بگذارد. کانون جنوب شرق ایران که حوزه هیرمند در کشور افغانستان، کانون

نتایج نشان می‌دهد میزان شار گسیل گردوغبار در ۲ خرداد ۱۳۹۷ ساعت ۰۹:۰۰ و ساعت ۱۲:۰۰ به بالاترین حد خود می‌رسد و همچنین بیشترین گسترش مکانی در سطح منطقه رو دارد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که

کاهش پیدا کرده است. به منظور شناسایی بهتر و واضح تر کانون های داخلی گردوغبار ناشی از طوفان ۲ خرداد ۱۳۹۷ در منطقه مورد مطالعه با استفاده از طرحواره GOCART، متوسط الگوی مکانی شار قائم گردوغبار در محیط نرم افزار ArcGIS محاسبه گردید و الگوی مکانی آن شد که در شکل ۵ نشان داده شده است.

بیابان های عربی در کشور عربستان سعودی و همچنین کانون بیابان قرقوم در شمال شرقی ایران در کشور ترکمنستان به عنوان کانون گردوغبار بیرونی مطرح هستند. این پدیده در ۲ خرداد ۱۳۹۷ ساعت ۱۸:۰۰ به کمترین گستره خود در منطقه مورد مطالعه رسیده و کمابیش میزان شار گردوغبار در این ساعت به شدت



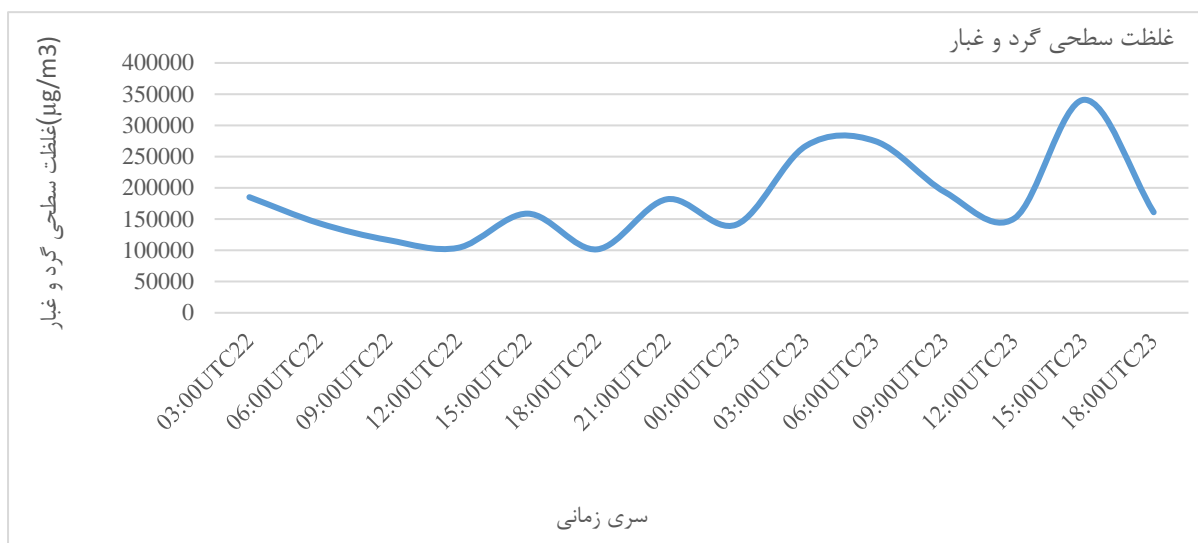
شکل ۶- متوسط الگوی مکانی شار گسیل گردوغبار ( $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{s}$ ) طوفان ۲ خرداد ۱۳۹۷ با طرحواره GOCART

Fig. 6- Average spatial pattern of dust flux ( $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{s}$ ) on 05/22/2018 with GOCART schema

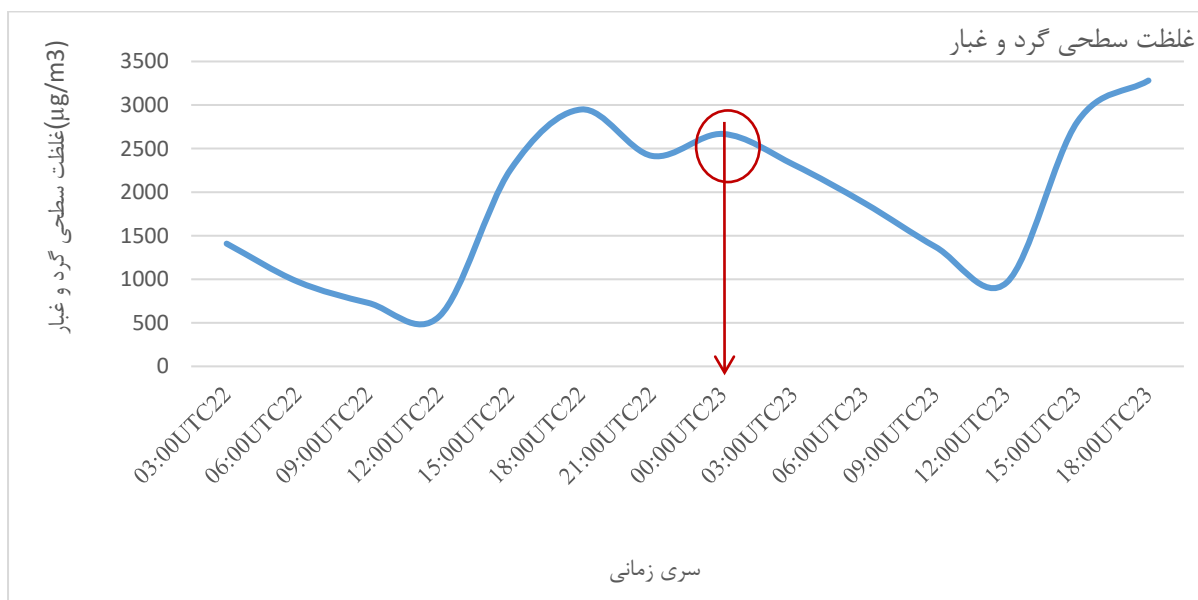
نتایج نشان می دهد مرکز بیابان لوت، جنوب حوزه جازموریان و همچنین مرکز بیابان دشت کویر (بیابان مرکزی) به عنوان کانون های گردوغبار داخلی شناخته می شوند. به طوریکه از یک مترمربع این منطقه ها در ثانیه امکان برخاستن ۵۸۰۰ میکروگرم گردوغبار به اتمسفر وجود دارد. این طوفان کمابیش ۱۲ ساعت حالت شدید داشته و در ادامه از شدت آن کاسته شده است. به عبارت دیگر در طول ۱۲ ساعت از هر هکتار کانون های گردوغبار داخلی حدود ۲ تن و ۵۰۵ کیلوگرم گردوخاک به اتمسفر انتقال داده می شود.

۳-۳ صحت سنجی نتایج طرحواره های GOCART و AFWA با داده های پایگاه باز تحلیل MERRA2 به منظور صحت سنجی نتایج طرحواره های مختلف فرسایش بادی از پارامتر غلظت سطحی شبیه سازی شده با پارامتر غلظت سطحی پایگاه داده MERRA2 به صورت سری زمانی سه ساعته استفاده گردید که نتایج آن در شکل های ۶ الی ۸ نشان داده شده است.

نتایج نشان می دهد مرکز بیابان لوت، جنوب حوزه جازموریان و همچنین مرکز بیابان دشت کویر (بیابان مرکزی) به عنوان کانون های گردوغبار داخلی شناخته می شوند. به طوریکه از یک مترمربع این منطقه ها در ثانیه امکان برخاستن ۵۸۰۰ میکروگرم گردوغبار به اتمسفر وجود دارد. این طوفان کمابیش ۱۲ ساعت حالت شدید داشته و در ادامه از شدت آن کاسته شده است. به عبارت دیگر در طول ۱۲ ساعت از هر هکتار کانون های گردوغبار داخلی حدود ۲ تن و ۵۰۵ کیلوگرم گردوخاک به اتمسفر انتقال داده می شود.



شکل ۷- سری غلظت سطحی گردوغبار توسط طرحواره AFWA مربوط به طوفان ۲ خرداد ۱۳۹۷  
 Fig. 7- Surface dust concentration series by AFWA schema related to the 05/22/2018 storm

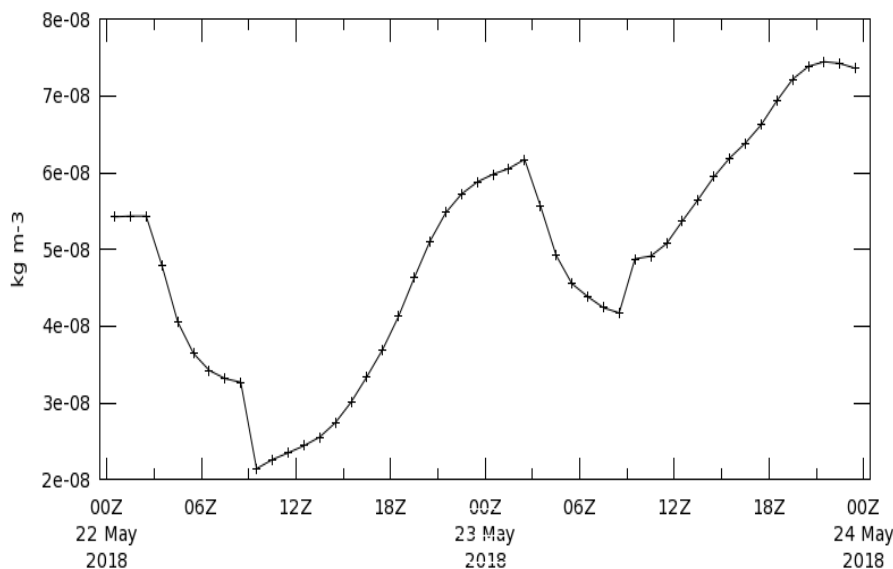


شکل ۸- سری غلظت سطحی گردوغبار توسط طرحواره GOCART مربوط به طوفان ۲ خرداد ۱۳۹۷  
 Fig. 8- Surface dust concentration series by GOCART schema related to the 05/22/2018 storm

پیدا کرده و از ۱۲ ظهر تا ۱۲ شب غلظت گردوغبار افزایش پیدا می‌کند. به عبارت دیگر ساعت ۱۲ شب (۰۰:۰۰) بالاترین مقدار غلظت گردوغبار هست و همچنین ۱۲ ظهر حداقل گردوغبار سطحی را مشاهده می‌کنیم. این نوع رفتار گردوغبار در همه طوفان‌های گردوغبار انتخابی دیده می‌شود. در شکل ۸ الگوی زمانی غلظت گردوغبار با استفاده از داده‌های پایگاه باز تحلیل MERRA2 نشان داده شده است.

به منظور بررسی الگوی زمانی غلظت سطحی گردوغبار در منطقه مورد مطالعه از نقشه‌های Dust Surface Concentration پایگاه داده‌های باز تحلیل MERRA2 به صورت سری زمانی با فاصله سه ساعته استفاده گردید. نتایج این مطالعه نشان داد که نمودار تغییرات غلظت سطحی گردوغبار حالت سینوسی داشته به طوری که از ۱۲ شب تا ۱۲ ظهر مقدار غلظت سطحی گردوغبار کاهش

Time Series, Area-Averaged of Dust Surface Mass Concentration, time average hourly 0.5 x 0.625 deg. [MERRA-2 Model M2T1NXAER v5.12.4] kg m<sup>-3</sup> over 2018-05-22 00Z - 2018-05-23 23Z, Region 50.1466E, 28.1335N, 59.463E, 36.2194N



- The user-selected region was defined by 50.1466E, 28.1335N, 59.463E, 36.2194N. The data grid also limits the analyzable region to the following bounding points: 50.625E, 28.5N, 59.375E, 36N. This analyzable region indicates the spatial limits of the subsetted granules that went into making this visualization result.

شکل ۹- الگوی زمانی غلظت گردوغبار با استفاده از داده‌های پایگاه باز تحلیل MERRA2

Fig. 9. Temporal pattern of dust concentration using MERRA2 reanalysis database

و طرح‌واره‌های فرسایش بادی GOCART و AFWA شبیه‌سازی شد. به‌منظور محاسبه شار گسیل گردوغبار طوفان ۲ خرداد ۱۳۹۷ توسط مدل WRF - Chem شبیه‌سازی گردید و مقادیر شار به‌منظور شناسایی کانون‌های گردوغبار توسط طرح‌واره‌ها محاسبه گردید. نتایج نشان داد که مدل WRF - Chem به‌خوبی توانایی شبیه‌سازی این پارامتر در منطقه مورد مطالعه را دارد. نتایج حاصل از طرح‌واره‌های GOCART و AFWA متفاوت بود به‌طوری‌که مدل AFWA به‌خوبی کانون‌های گردوغبار داخلی را بسیار ضعیف برآورد کرد که این کانون ضعیف در حوزه لوت منطقه مورد مطالعه قرار داشت؛ اما مدل GOCART به‌خوبی کانون‌های گردوغبار داخلی را شناسایی کرد. این چشمه‌ها در جنوب حوزه جازموریان، بیابان مرکزی (دشت کویر) و بیابان لوت قرار دارند. کانون حوزه لوت طرح‌واره GOCART با AFWA همپوشانی دارد به‌عبارت‌دیگر تعداد چشمه‌ها در دو مدل متفاوت است. برای صحت‌سنجی نتایج این دو مدل و انتخاب مناسب‌ترین طرح‌واره فرسایش بادی در فلات مرکزی ایران از داده‌های

به‌طور کلی مدیریت پدیده گردوغبار مستلزم شناسایی دقیق کانون‌های گردوغبار هست. این پدیده به‌لحاظ خاصیت دینامیکی و سیالیت آن بایستی در منطقه برداشت کنترل گردد. از این جهت شناسایی کانون‌های گردوغبار بسیار دارای اهمیت است. بیش از ۸۰ درصد حوزه فلات مرکزی ایران در منطقه خشک و نیمه‌خشک قرار دارد و پدیده فرسایش بادی و گردوغبار از مهمترین بلایای طبیعی در این منطقه‌ها به‌شمار می‌آید در ایت تحقیق با استفاده از طوفان گرد و غبار شبیه‌سازی شده مناطق برداشت یا به عبارتی کانون‌های گرد و غبار منطقه فلات مرکزی شناسایی شدند که عمدتاً در بیابان‌های بزرگ ایران از جمله بیابان مرکزی و بیابان لوت قرار داشتند. همچنین تالاب‌های بزرگی همچون جازموریان نقش اساسی در تولید گرد و غبار در مواقع خشک سال ایفاد می‌کنند.

### نتیجه‌گیری

در این مطالعه برای شناسایی کانون‌های گردوغبار از شار قائم گردوغبار استفاده شد. این پارامتر توسط مدل WRF-Chem

به منظور تعیین کانون‌های گردوغبار در ایران بیان کرد در جنوب شرقی ایران، حوزه سیستان به‌عنوان یک کانون گردوغبار داخلی مشخص است که با نتایج این مطالعه مطابقت دارد. (Baghban *et al.* (2019) در مطالعه‌ای به منظور بررسی الگوی مکانی طوفان‌های گردوغبار در ایران نشان داد که تمرکز الگوی مکانی این پدیده بیشتر قسمت‌های جنوبی و جنوب شرقی کشور ایران است که با نتایج این مطالعه مطابقت دارد. (Rezazadeh *et al.* (2013) در مطالعه‌ای بیابان‌های عربی و کشور افغانستان را به‌عنوان کانون‌های گردوغبار اطراف ایران و هسته گردوغبارهای خارجی شناسایی کردند که نتایج این تحقیق را تأیید می‌کند.

غلظت سطحی پایگاه داده‌های باز تحلیل MERRA2 و خروجی مدل (غلظت سطحی گردوغبار) استفاده گردید. نتایج سری زمانی دو طرح‌واره با داده‌های سری زمانی داده‌های باز تحلیل MERRA2 نشان داد که خروجی مدل GOCART با نمودار سری زمانی MERRA2 از مطابقت بالاتری برخوردار است و به‌عنوان مناسب‌ترین طرح‌واره فرسایش بادی در مرکز ایران انتخاب شد. همچنین نتایج الگوی مکانی شار گسیل گردوغبار نشان می‌دهد که بیابان‌های عربی در عربستان سعودی، حوزه هیرمند در کشور افغانستان و بیابان‌های قرقوم در ترکمنستان نیز از کانون‌های گردوغبار خارجی هستند که جو فلات مرکزی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. (Cao *et al.* (2015) در مطالعه‌ای

## منابع

- Alfaro, S.C., Gaudichet, A., Gomes, L. and Maillé, M., 1997. Modeling the size distribution of a soil aerosol produced by sandblasting, *Journal of Geophysical Research Atmospheric*. 102, 11239–11249.
- Alfaro, S.C., 2008. Influence of soil texture on the binding energies of fine mineral dust particles potentially released by wind erosion. *Geomorphology*. 93, 157e167.
- Alizadeh Choobari, O., Zawar-Reza, P. and Sturman, A., 2013. Low level jet intensification by mineral dust aerosols. *Annals of Geophysics*. 31, 625–632.
- Azizi, G., Shamsipour, A., Miri, M. and Safarrad, T., 2012. Synoptic and remote sensing analysis of dust events in southwestern Iran. *Natural Hazards*. 64, 1625–1638.
- Baghbanan, P., Ghavidel, Y. and Farajzadeh, M., 2020. Spatial analysis of spring dust storms hazard in Iran. *Theoretical and Applied Climatology*. 139, 1447–1457.
- Bian, H., Tie, X., Cao, J., Ying, Z., Han, S. and Xue, Y. 2011: Analysis of a severe dust storm event over China: Application of the WRF-Dust model. *Aerosol and Air Quality Research*. 11, 419–428.
- Buschiazzo, D.E. and Zobeck, T.M., 2008. Validation of WEQ, RWEQ and WEPS wind erosion for different arable land management systems in the Argentinean Pampas. *Earth Surface Processes and Landforms*. 33, 1839e1850.
- Cao, H., Liu, J. and Wang, G., 2015. Identification of sand and dust storm source areas in Iran. *Journal of Arid Land*. 7, 567–578.
- Chen, S., Zhao, C., Qian, Y., Leung, L. R., Huang, J., Huang, Z., Bi, J., Zhang, W., Shi, J., Yang, L. and Li, D., 2014. Regional modeling of dust mass balance and radiative forcing over East Asia using WRF-Chem. *Aeolian Research*. 15, 15–30.
- Chen, Y.S., Sheen, P.C., Chen, E.R., Liu, Y.K., Wu, T.N. and Yang, C.Y., 2004. Effects of Asian dust storm events on daily mortality in Taipei/ Taiwan. *Environmental Research*. 95, 151– 155.

- Chin, M., Savoie, D.L., Huebert, B.J., Bandy, A.R., Thornton, D.C., Bates, T.S., Quinn, P.K., Saltzman, E.S. and De Bruyn, W.J., 2000. Atmospheric sulfur cycle simulated in the global model GOCART: Comparison with field observations and regional budgets. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*. 105, 24689–24712.
- Cremades, P.G., Fernández, R.P., Allende, D.G., Mulena, G.C. and Puliafito, S.E., 2017. High resolution satellite derived erodibility factors for WRF/Chem windblown dust simulations in Argentina, *Atmósfera*. 30, 11–25.
- Dipu, S., Prabha, T.V., Pandithurai, G., Dudhia, J., Pfister, G., Rajesh, K. and Goswami, B.N., 2013. Impact of elevated aerosol layer on the cloud macrophysical properties prior to monsoon onset, *Atmospheric Environment*. 70, 454–467.
- Ebrahimi, S.J., Ebrahimzadeh, L., Eslami, A. and Bidarpoor, F., 2014. Effects of dust storm events on emergency admissions for cardiovascular and respiratory diseases in Sanandaj, Iran. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*. 12, 110.
- Fast, J.D., Gustafson J.R., W.I., Easter, R.C., Zaveri, R.A., Barnard, J.C., Chapman, E.G., Grell, G.A. and Peckham, S.E., 2006. Evolution of ozone, particulates, and aerosol direct forcing in an urban area using a new fully-coupled meteorology, chemistry, and aerosol model. *Journal of Geophysical Research*. 111, D21305.
- Flaounas, E., Kotroni, V., Lagouvardos, K., Klose, M., Flamant, C. and Giannaros, T.M., 2016. Assessing atmospheric dust modeling performance of WRF-Chem over the semi-arid and arid regions around the Mediterranean Atmospheric Chemistry and Physics Discussions. <https://doi.org/10.5194/acp-2016-307>.
- Fountoukis, C., Ackermann, L., Ayoub, M.A., Gladich, I., Hoehn, R.D. and Skillern, A., 2016. Impact of atmospheric dust emission schemes on dust production and concentration over the Arabian Peninsula, *Model. Earth Systems and Environment*. 2, 115.
- Ginoux, P., Chin, M., Tegen, I., Prospero, J.M., Holben B., Dubovik, O. and Lin, S. J., 2001. Sources and distributions of dust aerosols simulated with the GOCART model. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*. 106, 20255–20273.
- Gong, S.L., 2003. A parameterization of sea-salt aerosol source function for sub-and super-micron particles, *Global Biogeochem. Cy*. 17, 1097–1104.
- Gregory, J.M., Wilson, G.R., Singh, U.B. and Darwish, M.M., 2004. TEAM: integrated, process-based wind-erosion model. *Environ. Modell. Softw*. 19, 205e215.
- Grell, G.A., Peckham, S.E., Schmitz, R., McKeen, S.A., Frost, G., Skamarock, W.C., and Eder, B., 2005. Fully coupled “online” chemistry within the WRF model. *Atmospheric Environment*. 39, 6957–6975.
- Jish Prakash, P., Stenchikov, G., Kalenderski, S., Osipov, S. and Bangalath, H., 2014. The impact of dust storms on the Arabian Peninsula and the Red Sea. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*. 14, 19181–19245.
- Kalenderski, S. and Stenchikov, G., 2016: High-resolution regional modeling of summertime transport and impact of African dust over the Red Sea and Arabian Peninsula. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*. 121, 6435–6458.
- Kalenderski, S., Stenchikov, G.L. and Zhao, C., 2013. Modeling a typical winter-time dust event over the Arabian Peninsula and the Red Sea, *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*. 13, 1999 - 2013.

- Klose, M. and Shao, Y., 2012. Stochastic parameterization of dust emission and application to convective atmospheric conditions. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*. 12, 7309–7320.
- Klose, M. and Shao, Y., 2013. Large-eddy simulation of turbulent dust emission. *Aeolian Research*. 8, 49–58.
- Kumar, R., Barth, M.C., Pfister, G.G., Naja, M. and Brasseur, G.P., 2014. WRF-Chem simulations of a typical pre-monsoon dust storm in northern India: influences on aerosol optical properties and radiation budget. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*. 14, 2431–2446.
- Liu, M., Westphal, D.L., Walker, A.L., Holt, T.R., Richardson, K.A. and Miller, S.D., 2007. COAMPS real-time dust storm forecasting during Operation Iraqi Freedom. *Weather Forecast*. 22, 192–206.
- Liu, M., Westphal, D.L., Wang, S., Shimizu, A., Sugimoto, N., Zhou, J. and Chen, Y., 2003. A high-resolution numerical study of the Asian dust storms of April 2001. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*. 108, 8653.
- Liu, Z., Liu, Q., Lin, H.-C., Schwartz, C.S., Lee, Y.-H. and Wang, T., 2011: Three dimensional variational assimilation of MODIS aerosol optical depth: Implementation and application to a dust storm over East Asia. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*. 116, D23206.
- Mang, S.H., Gong, S.L., Zhao, T.L., Vet, R.J., Bouchet, V.S., Gong, W., Makar, P.A., Moran, M.D., Stroud, C. and Zhang, J., 2007: Simulation of entrainment and transport of dust particles within North America in April 2001 (“Red Dust Episode”). *Journal of Geophysical Research Atmospheres*. 112, D20209.
- Marticorena, B. and Bergametti, G., 1995. Modeling the atmospheric dust cycle: 1. Design of a soil-derived dust emission scheme. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*. 100, 16415–16430.
- Nabavi, S.O., Haimberger, L. and Samimi, C., 2017. Sensitivity of WRF-chem predictions to dust source function specification in West Asia. *Aeolian Research*. 24, 115–131.
- Naderi, M. and Raeisi, E., 2015. Climate change in a region with altitude differences and with precipitation from various sources, South-Central Iran. *Theoretical and Applied Climatology*. 3, 529–540.
- Nickovic, S., Kallos, G., Papadopoulos, A. and Kakaliagou, O., 2001. A model for prediction of desert dust cycle in the atmosphere, *Journal of Geophysical Research Atmosphere*. 106, 18113–18129.
- Peckham, S.E., Fast, J., Schmitz, R., Grell, G.A., Gustafson, W.I., McKeen, S.A., Ghan, S.J., Zaveri, R., Easter, R.C., Barnard, J. and Chapman, E., 2011. WRF/Chem Version 3.3 User’s Guide, NOAA Technical Memo.
- Rezazadeh, M., Irannejad, P. and Shao, .Y., 2013. Dust emission simulation with the WRF-Chem model using new surface data in the Middle East region. *Journal of Earth and Space Physics*. 39(1), 191-212.
- Rizza, U., Miglietta, M., Mangiaa, C., Lelpo, P., Morichetti, M., Iachini, C., Vigili, S. and Passerini, G., 2018. Sensitivity of WRF-Chem model to land surface schemes: Assessment in a severe dust outbreak episode in the Central Mediterranean (Apulia Region). *Atmospheric Research*. 201, 168-180.
- Rizza, U., Anabor, V., Mangia, C., Miglietta, M.M., Degrazia, G.A. and Passerini, G., 2016. WRF-Chem simulation of a saharan dust outbreak over the mediterranean regions. *Ciência e Natura*. 38, 330–336.



- Shao, Y., 2001: A model for mineral dust emission. *Journal of Geophysical Research Atmosphere*. 106, 20239–20254.
- Shao, Y. and Dong, C.H., 2006. A review on East Asian dust storm climate, modelling and monitoring. *Global and Planetary Change*. 52, 1–22.
- Shao, Y., Wyrwoll, K.H., Chappell, A., Huang, J., Lin, Z., McTainsh, G.H., Mikami, M., Tanaka, T.Y., Wang, X. and Yoon, S., 2011: Dust cycle: An emerging core theme in Earth system science. *Aeolian Research*. 2, 181–204.
- Song, H., Wang, K., Zhang, Y., Hong, C. and Zhou, S., 2017. Simulation and evaluation of dust emissions with WRF-Chem (v3.7.1) and its relationship to the changing climate over East Asia from 1980 to 2015. *Atmospheric Environment*. 167, 511–522.
- Steven A. Ackerman., 1997. Remote sensing aerosols using satellite infrared observations. *Journal of Geophysical Research*. 102(17), 069–079.
- Su, L. and Fung, J.C.H., 2015. Sensitivities of WRF-Chem to dust emission schemes and land surface properties in simulating dust cycles during springtime over East Asia. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*. 120, 11215–11230.
- Tanaka, T.Y. and Chiba, M., 2005. Global simulation of dust aerosol with a chemical transport model, MASINGAR. *Journal of Meteorological Society of Japan*. 83, 255–278.
- Tang, Y. Han, Y. and Liu, Z., 2018. Temporal and spatial characteristics of dust devils and their contribution to the aerosol budget in East Asia—An analysis using a new parameterization scheme for dust devils. *Atmospheric Environment*. 182, 225–233.
- Tegen, I. and Fung, I., 1994. Modeling of mineral dust in the atmosphere: Sources, transport, and optical thickness. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*. 99, 22897–22914.
- Teixeira, J.C., Carvalho, A.C., Tuccella, P., Curci, G. and Rocha, A., 2016. WRF-chem sensitivity to vertical resolution during a Saharan dust event, *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*. 94, 188–195.
- Teixeira, J.C. Carvalho, A.C. Tuccella, P. Curci, G. and Rocha, A., 2016. WRF-chem sensitivity to vertical resolution during a Saharan dust event. *Physics and Chemistry of the Earth*. 94, 188–195.
- Thomson, M.C., Molesworth, A.M., Djingarey, M.H., Yameogo, K.R., Belanger, F. and Cuevas, L.E., 2006. Potential of environmental models to predict meningitis epidemics in Africa. *Tropical Medicine and International Health*. 11(6), 781–788.
- Uzan, L., Egert, S. and Alpert, P., 2016. Ceilometer evaluation of the eastern Mediterranean summer boundary layer height – first study of two Israeli sites, *Atmospheric Measurement Techniques*. 9, 4387–4398.
- Wang, K., Zhang, Y., Yahya, K., Wu, S. Y. and Grell, G., 2015. Implementation and initial application of new chemistry-aerosol options in WRF/Chem for simulating secondary organic aerosols and aerosol indirect effects for regional air quality. *Atmospheric Environment*. 115, 716–732.
- Wang, Z., Ueda, H. and Huang, M.Y., 2000. A deflation module for use in modeling long-range transport of yellow sand over East Asia. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*. 105, 26947–26959.
- Webb, N.P., McGowan, H.A., Phinn, S.R., Leys, J.F. and McTainsh, G.H., 2009: A model to predict land susceptibility to wind erosion in western Queensland. Australia. *Environmental Modelling and Software*. 24, 214e227.

Woodward, S., 2001. Modeling the atmospheric life cycle and radiative impact of mineral dust in the Hadley Centre climate model. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*. 106, 18155–18166.

Xiaolan, L. and Hongsheng, Z., 2014. Soil Moisture Effects on Sand Saltation and Dust Emission Observed over the Horqin Sandy Land Area in China. *Jou Meteorological Researche*. 28, 444-452

Zender, C.S., 2003. Mineral Dust Entrainment and Deposition (DEAD) Model: Description and 1990s dust climatology. *Journal of Geophyscal Research*. 108, 4416-4437.

Zhang, Y., Liu, Y., Kucera, P.A., Alharbi, B.H., Pan, L. and Ghulam, A., 2015. Dust modeling over Saudi Arabia using WRF-Chem: March 2009 severe dust case. *Atmospheric Environmental*. 119, 118–130.

Zhao, C., Chen, S., Leung, L.R., Qian, Y., Kok, J.F., Zaveri, R.A. and Huang, J., 2013. Uncertainty in modeling dust mass balance and radiative forcing from size parameterization. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 13, 10733–10753.

Zhao, C., Liu, X., Leung, L.R., Johnson, B., McFarlane, S.A., Gustafson Jr., W.I., Fast, J.D., and Easter, R., 2010. The spatial distribution of mineral dust and its shortwave radiative forcing over North Africa: modeling sensitivities to dust emissions and aerosol size treatments. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 10, 8821–8838.

Zhao, C., Liu, X., Ruby Leung, L. and Hagos, S., 2011. Radiative impact of mineral dust on monsoon precipitation variability over West Africa. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 11, 1879-1893.





Environmental Sciences Vol.19 / No.2 / Summer 2021

91-110

## Identifying dust springs using WRF-Chem model and GOCART and AFWA wind erosion schemas (simulated dust storm on 05/22/2018)

Farshad Soleimani Sardoo<sup>1</sup>, Tayebeh Mesbahzadeh<sup>\*2</sup>, Ali Salajeghe<sup>2</sup>, Gholamreza Zehtabian<sup>2</sup>, Abbas Ranjbar<sup>3</sup>, Mario Marcello miglietta<sup>4</sup> and Sara Karami<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Department of Ecological Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Jiroft, Jiroft, Iran

<sup>2</sup> Department of Reclamation of Dry and Mountainous Regions, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Tehran, Iran

<sup>3</sup> Institute of Meteorology and Atmospheric Sciences, Meteorological Organization, Tehran, Iran.

<sup>4</sup> Padua Research Institute of Atmospheric and Climatic Sciences, Italian National Research Council, Italy

Received: 2020.04.19

Accepted: 2020.11.10

Soleimani Sardoo., F., Mesbahzadeh, T., Salajeghe, A., Zehtabian, G., Ranjbar, A., miglietta M.M. and Karami, S., 2021. Identifying dust springs using WRF-Chem model and GOCART and AFWA wind erosion schemas (simulated dust storm on 05/22/2018). *Environmental Sciences*. 19(2): 91-110.

**Introduction:** Today, dust is a major challenge for human societies. Dusts have a significant impact on the Earth's radiation budget, global biochemical cycles, soil formations, and chemical compounds in the atmosphere. This phenomenon can affect public health indicators. The Iranian Central Plateau is located in arid and semi-arid climates; it is more likely to face this phenomenon than other regions. Dust management and control depend on identifying critical hotspots and stabilizing the harvesting area. The aim of this study was to identify internal dust sources using the vertical dust flux parameter.

**Material and methods:** Kavir and Loot deserts cover a large area of the Iranian Central Plateau. In this study, the WRF-Chem model and GOCART and AFWA wind erosion schemas were used to identify dust springs. Emission fluxes were used to detect dust springs. In this regard, a severe storm was selected on 05/22/2018 by WRF-Chem model for simulation. In order to verify and select the best wind erosion schematic of the Iranian Central Plateau, the data of MERRA2 re-analysis database and surface dust concentration values were used.

**Results and discussion:** The results showed that the outputs of GOCART and AFWA schemas were different. The GOCART schemas identified three strong dust sources in the study area that were located in the Jazmourian

---

\*Corresponding Author: *Email Address.* tmesbah@ut.ac.ir  
<http://dx.doi.org/10.52547/envs.33897>

Basin, the Loot Basin, and the Central Desert (Kavir Desert), but the AFWA schemas were able to identify only one weak source in the Loot area. The results showed that Loot Desert Center, south of Jazmourian Basin, as well as Dasht-e Kavir Desert Center (Central Desert) are known as internal dust sources. So that from one square meter of these areas, it is possible for 5800 micrograms of dust to rise into the atmosphere per second. Due to the fact that the storm lasted for 12 hours, about 2 tons and 505 kg of dust were transferred to the atmosphere from each hectare of internal dust springs. The results of the GOCART schema were more consistent with the three-hour time-series data of the MERRA2 re-analysis database and were selected as the best wind erosion schematic in the Iranian Central Plateau.

**Conclusion:** The results showed that the WRF-Chem model had a good ability to resemble the dust flux in the study area. The results of the GOCART and AFWA schemas were different. The AFWA model estimated the internal dust sources to be very weak. However, the GOCART model well detected internal dust sources.

**Keywords:** Dust springs, WRF-Chem model, GOCART and AFWA schemas, Dust emission flux, MERRA2 re-analysis base, Central Plateau of Iran