

برآورد غلظت گرد و غبار (PM_{10}) با استفاده از مدل عددی GOCART

- ❖ حسین محمد عسگری*؛ استادیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، ایران.
- ❖ شهرام خلیقی سیگارودی؛ دانشیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران.
- ❖ پرویز ایران نژاد؛ دانشیار، مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، ایران.
- ❖ حسن احمدی؛ استاد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، ایران.
- ❖ آرش ملکیان؛ دانشیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران.

چکیده

برآورد غلظت ذرات گردوغبار به دلیل تأثیراتش بر سلامتی افراد جامعه، فعالیت‌های اجتماعی و اقتصادی، اکوسیستم‌های خشکی و آبی و اثر بر متغیرهای هواشناسی از اهمیت بالایی برخوردار است. هدف از این مطالعه ارزیابی کارایی طرح‌واره عددی GOCART در شبیه‌سازی ذرات گردوغبار است. این طرح‌واره در بستر مدل تحقیقاتی پیش‌بینی وضع هوا (WRF) به اجرا درآمد. این مدل در سه شبکه با ساختار لانه‌ای تودرتو به اجرا درآمد. شبکه اول از غرب آفریقا تا شرق آسیا به‌منظور در نظر گرفتن همه مناطق منشأ غبار، زیر شبکه دوم کشور ایران و زیر شبکه سوم استان خوزستان است. برای شرایط آغازین و مرزی میدان‌های هواشناسی از داده‌های ۶ ساعته FNL استفاده شد. نتایج اولیه مدل حاکی از رطوبت سطحی بالا و همچنین برآوردهای نامناسب مدل برای ذرات گردوغبار PM_{10} بود. بدین منظور با در نظر گرفتن رطوبت سطحی کمتر از نقطه پژمردگی در مناطق بیابانی در ماه‌های گرم سال، محاسبه رطوبت اصلاح گردید. همچنین شاخص فرسایش پذیری با استفاده از رطوبت سطحی و سرعت آستانه فرسایش در مدل تعریف گردید و ضرایب شاخص موردنظر با استفاده از داده‌های PM_{10} در ماه‌های تیر و دی سال ۱۳۸۷ که دارای بیشترین و کمترین مقادیر متوسط ماهانه بودند تنظیم گردید. در نهایت نتایج به‌دست‌آمده از مدل اصلاح‌شده با داده‌های PM_{10} ایستگاه محیط‌زیست اهواز برای یک دوره یک‌هفته‌ای در خرداد ۱۳۸۸ مورد ارزیابی قرار گرفت. تحلیل‌های آماری نشان‌دهنده دقت بالای مدل در برآورد غلظت این ذرات می‌باشند.

واژگان کلیدی: هواویز، مدل‌های عددی، مدل‌های هواشناسی، فرسایش بادی، گسیل ذرات.

۱. مقدمه

ذرات معلق در اتمسفر را هواویز و یا آئروسول^۱ و هواویزهایی با قطر کمتر از ۱۰ میکرون در اتمسفر را ذرات PM₁₀^۲ گویند. این ذرات شامل سولفات‌ها، کربن آلی، کربن سیاه، نمک دریا و غبارهای معدنی حاصل از فرسایش می‌باشند. با توجه به اینکه حدود ۹۸ درصد این ذرات را غبار معدنی تشکیل می‌دهد [۱۴]، از داده‌های غلظت PM₁₀ در این مطالعه به‌عنوان غلظت گردوغبار استفاده گردید. اهمیت مطالعه این ذرات به دلایل تأثیر بر سلامتی، اختلال در فعالیت‌های اجتماعی و اقتصادی، تغییر و برهم زدن چرخه عناصر بخصوص در دریاها و اقیانوس‌ها و تغییر متغیرهای هواشناختی از جمله تابش، دما، بارندگی، فشار و سایر متغیرهای هواشناختی می‌باشد.

گردوغبار در نتیجه فرسایش بادی و حمل ذرات به‌صورت معلق می‌باشد. با توجه به اهمیت پدیده گردوغبار محققان از جنبه‌های مختلف این پدیده را مورد بررسی قرار دادند. برخی از محققین با استفاده از تونل باد سرعت آستانه فرسایش بادی را در ارتباط با اندازه ذرات و شرایط سطحی خاک مطالعه نموده‌اند. برخی از محققین با استفاده از نمونه‌برداری‌های صحرائی اقدام به مطالعه پدیده گردوغبار نموده‌اند. برخی نیز به مطالعه فرسایش بادی در مقیاس قاره‌ای بر اساس تعریف فرسایش پذیری و فرسایش‌پذیری خاک پرداخته‌اند [۴، ۱۱، ۱۵]. مدل‌های تجربی زیادی از قبیل WEQ و مدل WEPS [۲۱] توسعه یافتند.

در سال‌های اخیر پدیده فرسایش بادی و گردوغبار با استفاده از ابزار سنجش‌ازدور و مدل‌های عددی جامع فرسایش بادی مورد مطالعه قرار گرفته است. استفاده از سنجش‌ازدور دارای مزایای زیادی از قبیل تشخیص و پایش طوفان غبار [۱] تعیین پارامترهای سطح زمین و جو جهت مدل‌سازی غبار، تعیین کمیت‌های غبار از قبیل بار غبار، عمق نوری و اندازه ذرات [۱، ۲۳] و غیره تعیین

گرایش طولانی‌مدت کلیماتولوژی غبار [۱۸] می‌باشد.

سیستم مدل‌سازی جامع فرسایش بادی توانایی شبیه‌سازی و پیش‌بینی همه جنبه‌های فرسایش بادی از ورود ذرات، حمل و نشست آن‌ها را دارد. این مدل‌ها قادر به ارزیابی و پیش‌بینی فرسایش بادی در مقیاس‌های محلی تا جهانی می‌باشند. این مدل‌ها دارای شش جزء اصلی می‌باشند که شامل: مدل اتمسفری، مدل فرسایش بادی، طرح‌واره سطح زمین، طرح‌واره حمل غبار، طرح‌واره گوارد داده‌ها و بانک‌های اطلاعاتی GIS می‌باشند. در این زمینه می‌توان به مطالعات [۸، ۲۰، ۲۲] اشاره نمود. در تحقیق انجام شده [۲] با استفاده از اندازه‌گیری‌های ماهواره‌ای و مدل GOCART^۳ همبستگی بین مونوکسید کربن و آئروسول را در چند مقیاس به دست آوردند. اندازه‌گیری‌های آن‌ها در مهر و موم‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۶ انجام گردید. شاخص AOD ریزمد با استفاده از تصاویر MODIS^۴ بدست آمد. نتایج نشان داد که پراکنش مونوکسید کربن مشابه با پراکنش آئروسول است هر چند پخش شدن مونوکسید کربن به دلیل زمان ماندگاری بالاتر بیشتر بود. در تحقیقی پراکنش جهانی غبار را به‌وسیله مدل GOCART شبیه‌سازی نمودند [۸]. در این مدل مناطق کم ارتفاع فاقد پوشش بعنوان مناطق تجمع رسوب و دارای پتانسیل ایجاد منشأ غبار در نظر گرفته شدند. بلند شدن غبار تابعی از سرعت سطحی و رطوبت در نظر گرفته شد. در نهایت نتایج این مدل با اندازه‌گیری‌های زمینی و داده‌های ماهواره مورد ارزیابی قرار گرفت که نشان‌دهنده قابلیت این مدل در شبیه‌سازی غبار است که در تحقیق [۱۹ و ۲۰] به بررسی روش‌های مدل‌سازی و پایش طوفان‌های غبار پرداختند. نتایج بررسی آنها نشان‌دهنده پیشرفت در توسعه مدل‌های ادغامی پایش و مدل‌سازی غبار با استفاده از مدل‌های

¹ Aerosol

² Particulate Matter

³ Godard Global Ozone Chemistry Aerosol Radiation and Transfer

⁴ MODerate Resolution Imaging Spectrometer

می‌باشند که عبارت‌اند از:

۱.۲.۲. مدل اتمسفری

مدل‌های اتمسفری شامل یک چهارچوب دینامیکی و چندین طرح‌واره برای فرآیندهای فیزیکی می‌باشند. این مدل‌ها اغلب دارای چند معادله اصلی می‌باشند که سه معادله مربوط به مؤلفه‌های سرعت، معادله پیوستگی، معادله ترمودینامیک، معادله رطوبت و معادله حالت می‌باشند. شکل کلی این معادلات به صورت زیر می‌باشد.

$$\frac{\partial}{\partial t}(p_s u) = -\frac{\partial(p_s uu)}{\partial x} - \frac{\partial(p_s uv)}{\partial y} - \frac{\partial(p_s u \sigma)}{\partial \sigma} + f p_s v - p_s \frac{\partial \phi}{\partial x} - RT \frac{\partial p_s}{\partial x} + F_u + D_u$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(p_s v) = -\frac{\partial(p_s vu)}{\partial x} - \frac{\partial(p_s vv)}{\partial y} - \frac{\partial(p_s v \sigma)}{\partial \sigma} + f p_s u - p_s \frac{\partial \phi}{\partial y} - RT \frac{\partial p_s}{\partial y} + F_v + D_v$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial \sigma} = \frac{p_s}{p}$$

$$\frac{\partial p_s}{\partial t} = -\frac{\partial(u p_s)}{\partial x} - \frac{\partial(v p_s)}{\partial y} - \frac{\partial(\sigma p_s)}{\partial \sigma}$$

$$c_p \frac{\partial T}{\partial t} = -c_p \left(u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} \right) - c_p \sigma \frac{\partial T}{\partial \sigma} + RT \left(\frac{\dot{\sigma}}{\sigma} + \frac{d \ln p_s}{dt} \right) + Q_T + F_T + D_T$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} = -\left(u \frac{\partial q}{\partial x} + v \frac{\partial q}{\partial y} \right) - \sigma \frac{\partial q}{\partial \sigma} + Q_q + F_q + D_q$$

که σ سرعت قائم، F_u و F_v نیروهای افقی، F_q و F_T تغییرات دما و رطوبت ناشی از تلاطم عمودی زیر شبکه‌ای، Q_q و Q_T مربوط به منشأ گرما و رطوبت و D_u و D_v و D_T و D_q مربوط به پخشیدگی گشتاور، گرما و رطوبت است.

۲.۲.۲. طرح‌واره سطح زمین

داده‌های قابل اعتماد سطح زمین جهت مدل‌سازی فرسایش بادی با اهمیت می‌باشند زیرا خصوصیات سطح

عددی و داده‌های سنجش‌ازدور و GIS است. مدل WRF-HAM جهت بررسی واداشت تابشی و اثر آن بر پیش بینی وضع هوا توسعه یافت [۱۴]. نتایج این مدل با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، اندازه‌گیری‌های شبکه EMEP اروپا و شبکه AERONET مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج ارزیابی نشان دهنده قابلیت بالای مدل در شبیه‌سازی مقادیر غلظت هواویز سولفات و PM₁₀ است. در این مطالعه به شبیه‌سازی ذرات هواویز کمتر از ۱۰ میکرون با استفاده از مدل عددی WRF^۱ و طرح‌واره GOCART پرداخته می‌شود و قابلیت آن در شبیه‌سازی ذرات هواویز کمتر از ۱۰ میکرون مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

۲. روش‌شناسی تحقیق

۱.۲. معرفی منطقه مورد مطالعه

شبیه‌سازی هواویزها با یک ساختار لانه‌ای تودرتو بصورت شبکه‌ای با تفکیک افقی ۹۰ کیلومتر برای منطقه‌ای از غرب آفریقا تا شرق چین به‌منظور در نظر گرفتن کلیه چشمه‌های تأثیرگذار غبار، زیر شبکه‌ای با تفکیک ۳۰ کیلومتری برای ایران و زیر شبکه‌ای با تفکیک ۱۰ کیلومتری برای خوزستان در نظر گرفته شد. برای شرایط آغازین و مرزی میدان‌های هواشناسی از داده‌های ۶ ساعته FNL^۲ استفاده شد. جهت شبیه‌سازی داده‌های PM₁₀ یک دوره یک‌هفته‌ای از تاریخ ۲۵ تا ۳۱ خردادماه ۱۳۸۸ که طوفان غبار شدیدی در این تاریخ گزارش گردیده است انتخاب شد.

۲.۲. مدل عددی WRF

مدل تحقیقاتی پیش‌بینی وضع هوا از جمله مدل‌های اتمسفری است که در بخش شیمی مدل امکان مطالعه ذرات هواویزها وجود دارد. این مدل دارای چند جز اصلی

^۱ Weather Research Forecast

^۲ Final operational global analysis Data

که θ_g رطوبت حجمی خاک در لایه سطحی، C_1 و C_2 ضرایب واداشت و بازیافت، P_d بارش مؤثر، θ_{geq} رطوبت ویژه، τ بازه زمانی یک روزه می‌باشد.

۳.۲.۲. طرح‌واره آئروسول

مدل فرسایش بادی قادر است فرایندهای برداشت، حمل (طرح‌واره حمل) و رسوب ذرات خاک با اندازه‌های مختلف را کمی‌سازی نماید. به‌عنوان نمونه در صورتی که برداشت ذرات مدنظر باشد، قادر است: (۱) سرعت آستانه فرسایش بادی، (۲) شار حمل ماسه، (۳) شار گسیل غبار را پیش‌بینی نماید.

ساختار ماجولی یا به عبارت دیگر ویژگی‌های ساختاری در برنامه منبع مدل میان‌مقیاس پیش‌بینی عددی WRF این مدل را بستر مناسبی برای اجرا و آزمون طرح‌واره‌های هواویز مختلف قرار داده و در نتیجه شرایط لازم برای در نظر گرفتن بر هم‌کنش میدان‌های هواشناسی و شیمیایی را فراهم آورده است. در سال‌های اخیر، طرح‌واره‌های هواویز متعددی در بخش شیمی مدل WRF به‌منظور مطالعه هواویزها اجرا و آزمون گردیده‌اند که از جمله آنها طرح‌واره‌های MADE^۳/sorgam^۴، MOSAIC و GOCART است.

۴.۲.۲. طرح‌واره GOCART

مدل خصوصیات شیمیایی تابشی و حمل هواویز گذارد (GOCART) عناصر اصلی تروپوسفری هواویزها از جمله سولفات، گرد و غبار، کربن سیاه، کربن آلی و نمک دریا را شبیه‌سازی می‌کند.

۱.۴.۲.۲. گسیل در طرح‌واره GOCART

ذرات گرد و غبار با قطر ۰٫۱ تا ۱۰ میکرون در ۵ گروه مجزا دسته‌بندی می‌گردند. فرمول گسیل برای گروه ρ

زمین کنترل کننده سرعت آستانه فرسایش بادی، پتانسیل خاک جهت آزادسازی غبار و تقسیم کردن نیروی برشی باد بر اجزا غیرقابل فرسایش و سطح قابل فرسایشی، می‌باشد. ۳ نوع از این نوع پارامترها می‌تواند در نظر گرفته شود: الف) پارامترهای خاک: توزیع اندازه ذرات خاک، مقاومت خاک، ب) پارامترهای آئروسول‌پنایمیک که مربوط به زبری سطح و بلند شدن هستند، ج) پارامترهایی که مختص خصوصیات دمایی و هیدرولیکی خاک‌اند.

به‌منظور مدل‌سازی فرسایش بادی در مقیاس‌های محلی تا قاره‌ای، پارامترهای خاک و سطح زمین می‌توانند به‌صورت لایه‌های در سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS ذخیره گردند (بانک اطلاعاتی GIS).

با توجه به این‌که توزیع اندازه ذرات و رطوبت سطحی در فرسایش بادی نقش اساسی دارد، دو مورد از طرح‌واره سطح تشریح می‌گردند:

۱.۲.۲.۲. توزیع اندازه ذرات

جهت تعیین پتانسیل خاک در گسیل^۱ غبار نیاز است توزیع اندازه ذرات برای بافت‌های شن، سیلت، رس مشخص گردد. به‌طور کلی تابع توزیع لوگ نرمال برای اندازه ذرات مختلف در نظر گرفته می‌شود.

$$P(d) = \frac{1}{d} \sum_{j=1}^J \frac{w_j}{\sqrt{2\pi}\sigma_j} \exp\left(-\frac{(\ln d - \ln D_j)^2}{2\sigma_j^2}\right)$$

که $P(d)$ توزیع اندازه ذرات، J تعداد اندازه ذرات، w_j وزن اندازه ذرات J در تابع توزیع و D_j و σ_j پارامترهای توزیع لوگ نرمال اندازه ذرات J می‌باشد.

۲.۲.۲.۲. رطوبت سطحی

در این مطالعه از طرح‌واره سطح پلایم استفاده گردید که در آن تغییرات رطوبت سطحی خاک از رابطه زیر محاسبه می‌گردد.

$$\frac{\partial \theta_g}{\partial t} = \frac{C_1}{\rho_w d_{z1}} (P_d - E_{dir}) - \frac{C_2}{\tau} (\theta_g - \theta_{geq})$$

¹ Emission

² Secondary Organic model

³ Model Aerosol Dynamics for Europe

⁴ Model for Simulating Aerosol Interactions and Chemistry

به صورت زیر است:

$$F_p = C S s_p u^2 (u - u_t), \text{ if } u > u_t$$

که F_p تابع گسیل S تابع چشمه که مناطق دارای پتانسیل گسیل گرد و غبار را تعیین می کند و تابعی از پوشش سطح می باشد، s_p سهم هر گروه ذرات خاک در گسیل است، u سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری، u_t سرعت آستانه فرسایش بادی که بوسیله اندازه ذره و رطوبت سطحی تعیین می گردد و C ثابت تجربی است.

$$U_t = \begin{cases} A \sqrt{\frac{\rho_p - \rho_a}{\rho_a}} g \Phi_p (1/2 + 0/2 \log w), & \text{if } w < 0/5 \\ \infty & \text{در غیر این صورت} \end{cases}$$

U_t : سرعت آستانه؛ A : برابر با ۶٫۵؛ w : رطوبت سطحی؛ Φ_p : قطر ذرات؛ g : شتاب ثقل؛ ρ_p : جرم ذرات و ρ_a : جرم هوا

۳.۲. فیزیک مدل

فیزیک مدل شامل میکروفیزیک، پارامتره کردن همرفت کوموله‌ای، لایه مرزی (PBL)، مدل سطح زمین و

تابش می باشد. میکروفیزیک شامل فرآیندهای بخار آب، ابر و بارش است و شامل چندین طرح‌واره می باشد. همرفت کوموله‌ای مربوط به تأثیرات زیر شبکه‌ای ابرهای همرفتی است. طرح‌واره لایه سطحی، سرعت آستانه و ضرایب تبدیل را محاسبه می کند که محاسبه شار جریان‌ات گرمای سطح و رطوبت را به وسیله طرح‌واره‌های سطح زمین و همچنین تنش سطحی در طرح‌واره‌ی PBL امکان پذیر می شود. مدل‌های سطح زمین اطلاعات شار پارامترهای سطحی را از طرح‌واره لایه سطحی، نیروهای تابشی را از طرح‌واره تابش و نیروهای بارشی را از طرح‌واره‌های میکروفیزیک و همرفت دریافت می کند و شار گرما و رطوبت را در نقاط زمینی فراهم می آورد. در این قسمت از طرح‌واره PXLISM استفاده گردید [۱۷]. بخش PBL شامل جریان‌ات عمودی در مقیاس نیم‌شبکه‌ای که در نتیجه جریان‌ات پیچکی در کل ستون اتمسفر است، می باشد. طرح‌واره تابشی فراهم کننده گرمای اتمسفری در نتیجه جریان‌ات تابشی و تابش‌های با طول موج بلند و کوتاه سطحی جهت در نظر گرفتن بودجه گرمای زمین است.

جدول ۱. طرح‌واره‌های فیزیکی مورد استفاده در شبیه سازی

منابع	روش پارامتره سازی	فرآیندهای جوی
[۱۷]	RRTM	تابش موج بلند
[۶]	sward	تابش موج کوتاه
[۱۷]	PLX	طرح‌واره سطح
[۱۰]	YSU	لایه مرزی
[۹]	Grell-Devenyi	طرح‌واره همرفت
[۱۲]	Lin	میکروفیزیک ابر
[۷]	GOCART	طرح‌واره هواویز

۳. نتایج

به صورت عددی در نظر می گیرند. طرح‌واره‌های سطح زمین تبادل انرژی و ماده را بین اتمسفر، خاک و پوشش گیاهی شبیه سازی می نماید. جهت مدل سازی ریز گرد‌ها طرح‌واره سطح زمین سرعت آستانه و رطوبت خاک را

مدل اتمسفری به عنوان میزبان سایر طرح‌واره‌ها عمل می نماید. مدل‌های اتمسفری فرآیندهای فیزیکی و دینامیکی جو از قبیل تابش، ابرها، همرفت و تلاطم را

می‌باشد. تغییرات شبانه‌روزی و فصلی رطوبت خاک در ارتباط با بارش و تبخیر در طرح‌واره‌های سطح محاسبه می‌گردد. نتایج اولیه مدل نشان دهنده این است که طرح‌واره سطح رطوبت سطحی بالایی را نشان می‌دهد. همچنین تابع منشأ در رابطه گسیل نشان دهنده شاخص فرسایش پذیری است. تابع منشأ در مدل اصلی بر اساس نقشه پتانسیل فرسایش بادی با در نظر گرفتن اندازه ذرات مختلف به دست می‌آید. نتایج اولیه مدل نشان داد که تابع منشأ به‌درستی در این مدل محاسبه نمی‌گردد. جهت کالیبره کردن مدل با استفاده از داده‌های FNL سال ۱۳۸۷ در فصول گرم سال رطوبت سطحی در مناطق مورد مطالعه به دست آمد. با توجه به اینکه در فصل گرم سال در مناطق بیابانی رطوبت سطحی کمتر از رطوبت پژمردگی است رابطه محاسبه رطوبت سطحی در طرح‌واره GOCART با تقسیم رطوبت سطحی بر ۲ اصلاح گردید. همچنین شاخص فرسایش بادی بر اساس رطوبت سطحی و سرعت آستانه فرسایش بادی که از رابطه بگنولد به دست می‌آید تعریف گردید. با توجه به این که رطوبت سطحی و سرعت آستانه فرسایش بادی رابطه عکس با فرسایش‌پذیری دارند رابطه $S = a / (w * u_t)$ تعریف گردید. جهت محاسبه ضریب a از داده‌های FNL مربوط به ماه‌های تیر و دی که به ترتیب دارای بیشترین و کمترین متوسط ماهانه PM_{10} می‌باشند استفاده گردید و با مقایسه نتایج مدل در این دو ماه با مقادیر اندازه‌گیری شده این دو ماه در سال ۱۳۸۷ و محاسبه میانگین مجذور مربعات خطا (RMSE) ضریب a بهینه گردید و برابر با ۰,۰۰۱ قرار گرفت. شکل (۳) نشان‌دهنده رطوبت سطحی خاک در مناطق مورد مطالعه می‌باشد.

تهیه می‌نماید. طرح‌واره گسیل غبار سرعت آستانه و رطوبت سطحی را از مدل‌های سطح و سایر پارامترهای مکانی را از بانک‌های اطلاعاتی GIS به دست آورده و میزان گسیل غبار را برای گروه‌های مختلف اندازه ذرات محاسبه می‌نماید.

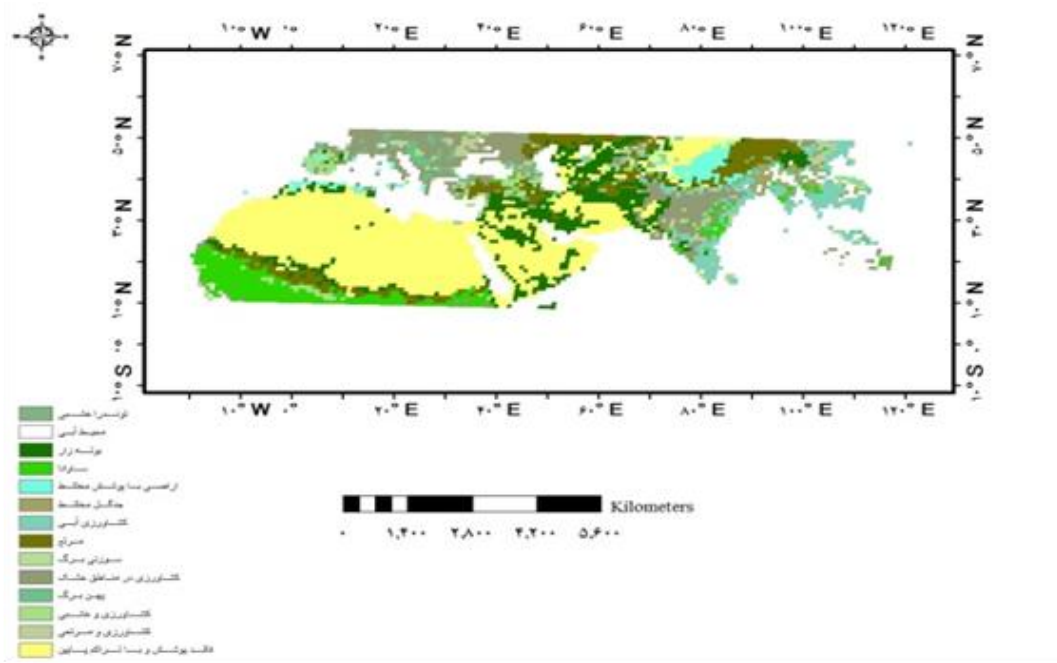
به‌منظور پیش‌بینی حرکت غبار مدل حمل و نشست، داده‌های باد، جریانات متلاطم و بارش را از مدل اتمسفری و اطلاعات میزان گسیل و اندازه ذرات را از مدل گسیل غبار به دست می‌آورد. مدل‌های اتمسفری، طرح‌واره‌های سطح، گسیل غبار و نشست نیازمند داده‌های سطح می‌باشند. داده‌های کلیدی سطح زمین جهت مدل‌سازی غبار شامل توزیع اندازه ذرات غبار، خصوصیات سطح خاک، پوشش گیاهی و شاخص‌های پوشش سطح می‌باشند.

توزیع اندازه ذرات خاک دارای اهمیت زیادی می‌باشد. در مدل‌های بزرگ‌مقیاس یکی از روش‌ها تقسیم‌بندی خاک‌ها بر اساس مثلث بافت خاک USDA می‌باشد. این روش دارای مزایایی می‌باشد:

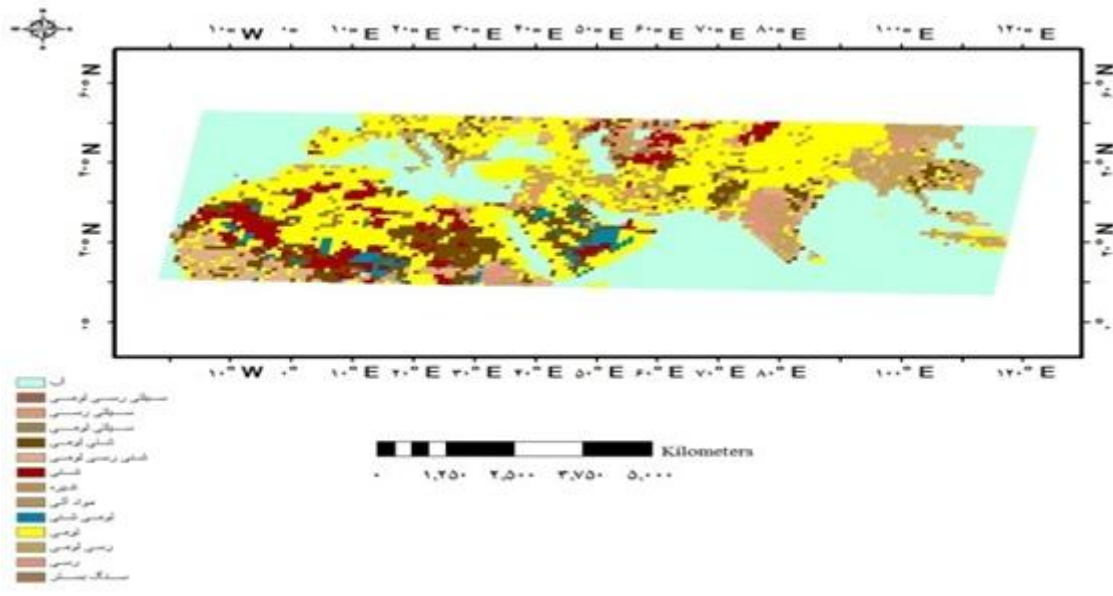
۱. تقسیم‌بندی خاک جهت طرح‌واره‌های سطح زمین و گسیل ذرات در همه‌جا ثابت است.
۲. اده‌های اندازه ذرات خاک در مناطق مختلف دنیا می‌تواند جمع‌آوری گردد و بر این اساس طبقه‌بندی گردند و بانک‌های اطلاعاتی اندازه ذرات را تشکیل دهند. شکل (۱) نشان‌دهنده بافت خاک در مناطق مختلف مورد مطالعه می‌باشد.

۱.۳. کالیبره کردن مدل

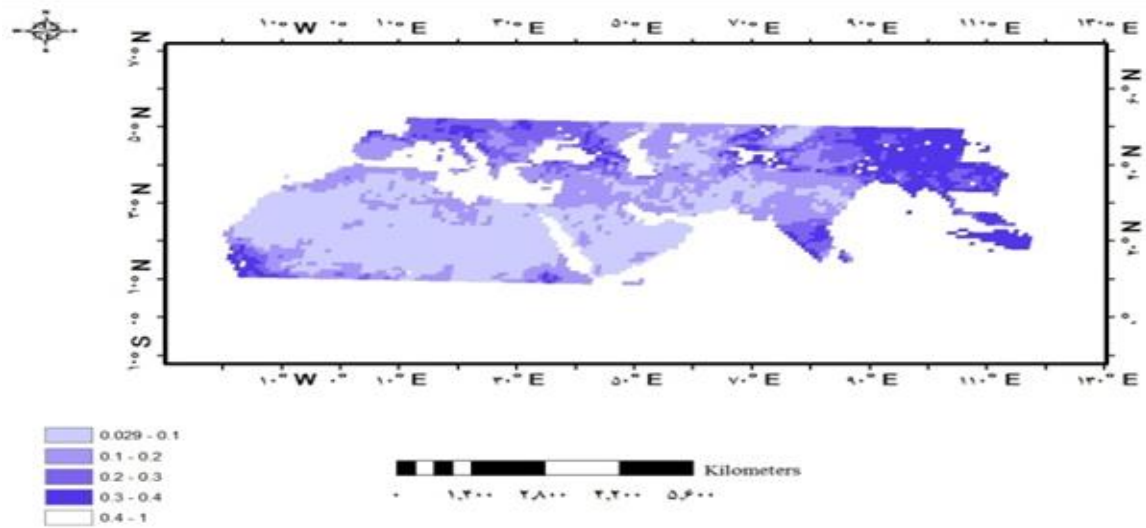
در طرح‌واره GOCART سرعت آستانه فرسایش بادی تابعی از اندازه و چگالی ذرات و رطوبت سطحی



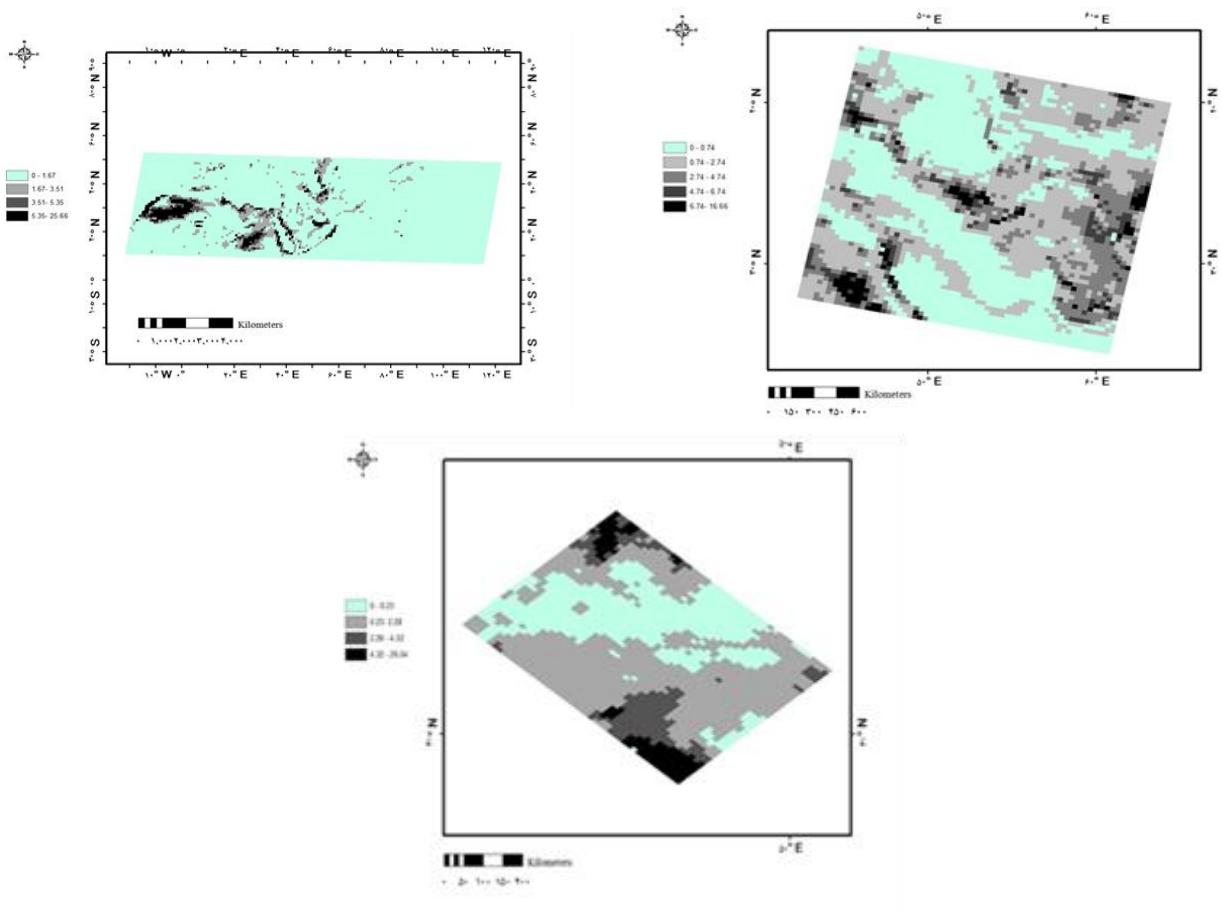
شکل ۱. نقشه بافت خاک



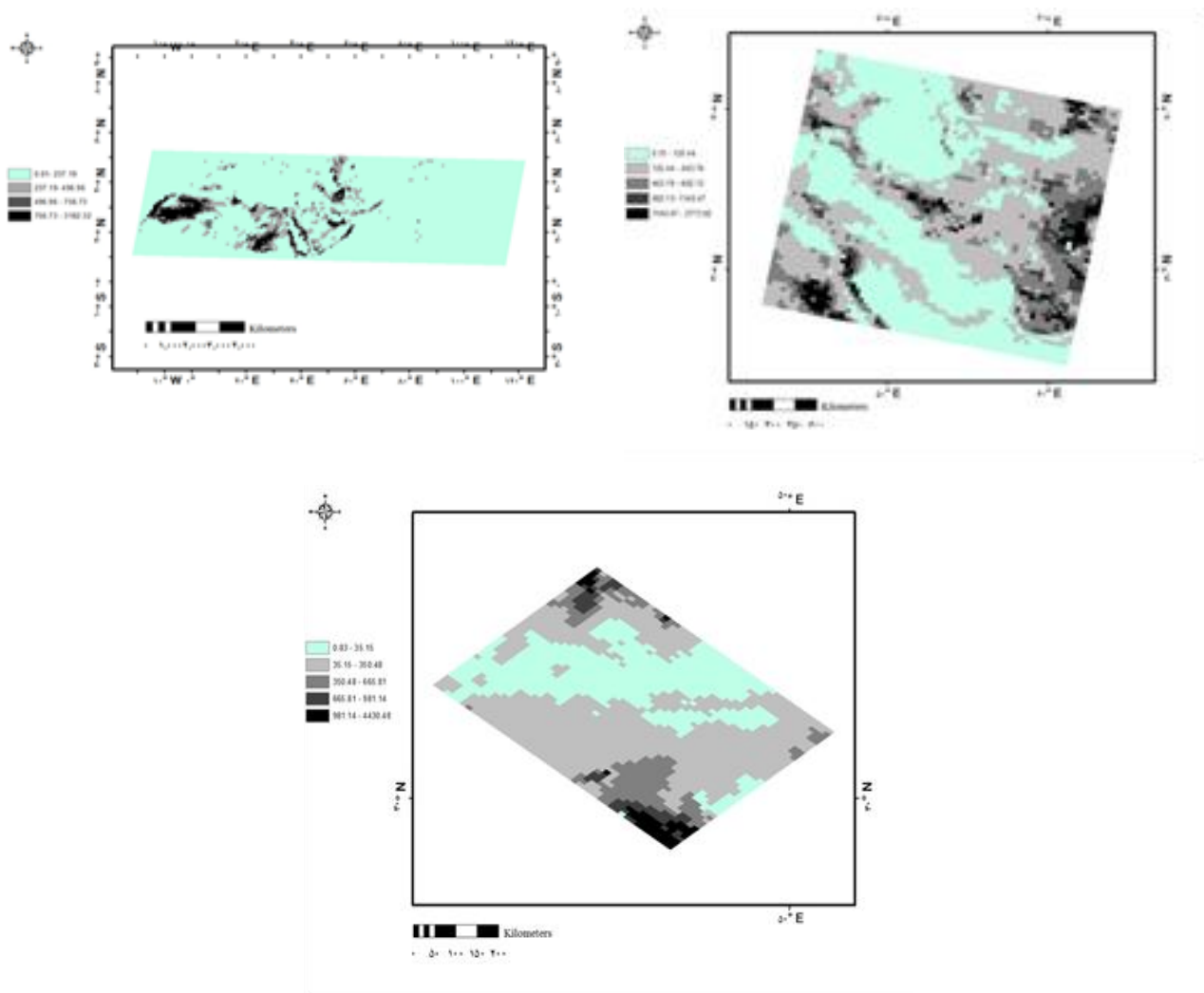
شکل ۲. پوشش گیاهی در مناطق مورد مطالعه



شکل ۳. نقشه رطوبت سطحی ساعت ۶ در تاریخ ۱۳۸۸/۳/۲۹ در مناطق مورد مطالعه (m^3/m^3)



شکل ۴. نقشه مناطق منشأ غبار به دست آمده از مدل در ساعت ۶ در تاریخ ۱۳۸۸/۳/۲۹ در مناطق مورد مطالعه ($\mu g/m^2/s$) در این شکل به ترتیب شبکه اول (منطقه‌ای از غرب آفریقا تا شرق چین)، زیر شبکه دوم (ایران) و زیر شبکه سوم (خوزستان) نشان داده شده است.



شکل ۵. نقشه PM_{10} به دست آمده از مدل در ساعت ۶ در تاریخ ۱۳۸۸/۳/۲۹ در مناطق مورد مطالعه ($\mu g/m^3$) در این شکل به ترتیب شبکه اول (منطقه‌ای از غرب آفریقا تا شرق چین)، زیر شبکه دوم (ایران) و زیر شبکه سوم (خوزستان) نشان داده شده است.

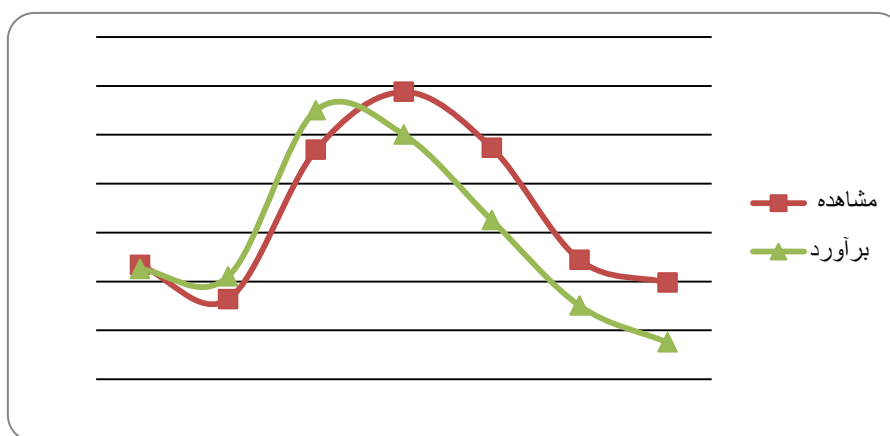
منشأ، مناطقی در شمال غرب آفریقا، سودان، مناطقی در غرب عربستان، امارات متحده عربی، عمان، کویت و همچنین منطقه‌ای در شرق عراق بیشترین مقادیر گسیل و فرسایش بادی را دارند. با توجه به نقشه‌های پوشش گیاهی شکل (۲) مناطق منشأ منطبق بر مناطق بدون پوشش و بوته‌زار می‌باشند.

در این مطالعه از طرح‌واره گسیل GOCART و همچنین طرح‌واره آئروسول GOCART جهت شبیه‌سازی و پیش‌بینی هواویزه‌های با قطر کمتر از ۱۰

از توانایی‌های این مدل تهیه نقشه میزان گسیل برحسب میکروگرم در هر مترمربع و در هر ثانیه و همچنین تعیین نقشه‌های غلظت گردوغبار برحسب میکروگرم در مترمربع (شکل ۵) است. شکل ۴ نشان دهنده مناطق منشأ گردوغبار می‌باشد. با در نظر گرفتن نقشه‌های بافت خاک، پوشش گیاهی (شکل ۲) و رطوبت می‌توان بیان نمود که مناطق منشأ از لحاظ بافت خاک به ترتیب میزان و گستردگی اثر، مناطقی با بافت‌های لومی، شنی و لومی شنی می‌باشند. با توجه به نقشه مناطق

این مطلب که بیشتر از ۹۸ درصد ذرات PM_{10} در ایران در روزهای با آلودگی بالا مربوط به غبار معدنی [۱۲] است در این مطالعه سایر هواویزها در نظر گرفته نشد. نمودار (۱) نشان دهنده داده های PM_{10} اندازه گیری شده در ایستگاه محیط زیست اهواز و داده های شبیه سازی شده توسط مدل می باشد.

میکرون استفاده گردید و غلظت ذرات PM_{10} در شهر اهواز برای یک دوره یک هفته ای از تاریخ ۱۳۸۸/۳/۲۵ تا ۱۳۸۸/۳/۳۱ شبیه سازی گردید و نتایج شبیه سازی مدل با استفاده از داده های اندازه گیری شده در ایستگاه محیط زیست شهر اهواز مورد ارزیابی قرار گرفت. این طرحواره توانایی شبیه سازی دیگر هواویزها نظیر سولفات ها، کربن ها و نمک های دریا را دارد. با توجه به



شکل ۶. مقادیر PM_{10} مشاهداتی در اهواز و مقادیر شبیه سازی شده با استفاده از مدل GOCART

بیان نمود که در دوره زمانی مورد مطالعه مدل مذکور از توانایی مناسبی جهت شبیه سازی ذرات غبار برخوردار است. با توجه به نقشه مناطق منشأ حاصل از این مدل مناطقی در شمال غرب آفریقا، سودان، مناطقی در غرب عربستان، امارات متحده عربی، عمان، کویت و همچنین منطقه ای در شرق عراق بیشترین مقادیر گسیل و فرسایش بادی را دارند.

لازم به ذکر است که کنترل طوفان های گردوغبار و حرکت تپه های شنی در مناطق منشأ اساسی ترین روش در کنترل می باشد. از نتایج بسیار حائز اهمیت این مطالعه این است که منشأ ذرات غبار مشخص می گردد و می توان به صورت کمی میزان گسیل ذرات غبار در اندازه های مختلف را با این روش برآورد نمود و کانون های بحرانی گردوغبار را شناسایی نمود.

نتایج تحلیل های آماری نشان دهنده ارتباط معنی دار (ضریب تعیین برابر با ۰,۷۶) داده های شبیه سازی شده با داده های مشاهداتی می باشد. همچنین میانگین مجذور مربعات خطا (RMSE) کمتر از میانگین (۲۵۵) و برابر با ۱۸۸ می باشد.

۴. بحث و نتیجه گیری

هدف از این مطالعه ارزیابی مدل عددی GOCART در شبیه سازی ذرات PM_{10} بود نتایج اولیه کاربرد مدل نشان دهنده این است که مدل نیازمند اصلاحات می باشد. اصلاح رطوبت سطحی خاک و تعریف و بکارگیری شاخص فرسایش بادی بر اساس رطوبت سطحی و سرعت آستانه فرسایش بادی دقت مدل را در شبیه سازی غلظت ذرات افزایش می دهد. با توجه به نتایج ارزیابی می توان

رطوبت سطحی می‌باشد. همان‌طور که بیان گردید اندازه ذرات خاک با استفاده از بانک‌های اطلاعاتی GIS و بر اساس مثلث بافت خاک تعیین می‌گردد؛ و رطوبت خاک با در نظر گرفتن بارش و تبخیر در طرحواره سطح محاسبه می‌گردد. با توجه به دلایل مذکور استفاده از داده‌های سطح با دقت بالا و توان تفکیک مناسب و همچنین استفاده از طرحواره سطح مناسب دارای اهمیت بسیار بالایی در مطالعه ریزگردها می‌باشد.

نقشه‌های بافت خاک نشان دهنده فرسایش‌پذیری زیاد بافت لومی و بافت شنی می‌باشند و نقشه‌های پوشش گیاهی اراضی بدون پوشش و بوته‌زارها را مناطقی با فرسایش‌پذیری بالاتر معرفی می‌نمایند.

مناطق منشأ به دلیل قرار گرفتن در مناطق بیابانی تغییرات ارتفاعی زیادی ندارند و نوع و میزان پوشش گیاهی در این مناطق تقریباً ثابت است. بر اساس این مدل عامل‌های اصلی انتشار غبار اندازه ذرات خاک و

References

- [1] Ackerman, S. (1989). Using the radiative temperature difference at 3.7 and 11 μm to track dust outbreaks. *Remote Sensing of Environment*, 27: 129-133
- [2] Bian, H., Chin, M., Randy Kawa, S., Yu, H., Diehl, T. and Kucsera, T. (2010). Multiscale carbon monoxide and aerosol correlations from satellite measurements and the GOCART model: Implication for emissions and atmospheric evolution, *Journal of Geophysical Research*, 115. Doi: 10.1029/2009JD012781.
- [3] Chen, F. and Dudhia, J. (2001). Coupling an advanced land surface/hydrology model with Penn State/NCAR MM5 modeling system. Part I: Model description and implementation. *Mon. Wea. Rev.*, 129, 569-589.
- [4] Chepil, WS. And Woodruff, NP. (1963). The physics of wind erosion and its control. *Advances in Agronomy*, 15, 211-302.
- [5] Chian, M., B-Rood, R., Lin, S., Muller, J. and Thompson, A. (2000). Atmospheric sulfur cycle simulated in the global model GOCART: Model Description and Global properties. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 105(D20), 24671-24688.
- [6] Dudhia, J. (1989). Numerical study of convection observed during the winter monsoon experiments using a mesoscale two-dimensional model. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 46, 3077-3107.
- [7] Ginoux, P., Chin, M., Tegen, I., Prospero, M., Holben, B., Dubovik, O. and Lin, S. (2001). Sources and distribution of dust aerosols simulated with the GOCART model. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 106 (D17), 20255–20274.
- [8] Ginoux, P., Prospero, M., Torres, O. and Chin, M. (2004). Long term simulation of global dust distribution with the GOCART model: correlation with North Atlantic Oscillation. *Environmental modelling and software*, 19, 113-128.
- [9] Grell, G. and Devenyi, D. (2002). A generalized approach to parameterizing convection combining ensemble and data assimilation techniques. *Geophysical Research Letters*, 29(14), 1-38, DOI 10.1029/2002GL015311.
- [10] Hong, S., Noh, Y. and Dudhia, J. (2006). A new vertical diffusion package with an explicit treatment of entrainment processes. *Monthly Weather Review*, 134, 2318-2341.
- [11] Kurosaki, Y. and Mikami, M. (2005). Regional difference in the characteristics of dust event in East Asia: relationship among dust break, surface wind, and land surface condition. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 83, 1-18.
- [12] Lin, Y., Farley, R. and Orville, H. (1983). Bulk parameterization of the snow field in a cloud model. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 22, 1056-1092.
- [13] Mashaekhi, R. (2010). The simulation of aerosols and its radiative forcing using the new coupled system of aerosol HAM model with the Weather Research and Forecasting (WRF) model in Iran, Ph.D. thesis, university of Tehran.
- [14] Mashaekhi, R., Irannejad, p. and Aliakbari bidokhti, A. (2010). The simulation of aerosols and its radiative forcing using the new coupled system of aerosol HAM model with the Weather Research and Forecasting (WRF) model. *Journal of the Earth and Space Physics*, 36(2), 91-107.
- [15] McTainsh, G., Lynch, A. and Burgess, R.C. (1990). Wind erosion in eastern Australia. *Australian Journal of Soil Research*, 28, 323-339.
- [16] Mlawer, E., Taubman, S., Brown, P. Iacono, M. and Clough, S. (1997). Radiative transfer for inhomogeneous atmosphere: RRTM, a validated correlated-k model for longwave. *Journal of Geophysical Research*, 102(D14), 16663-16682.
- [17] Pleim, J. and Xiu, A. (2003). Development of land surface model. Part II: Data Assimilation. *Journal of Applied Meteorology*, 42, 1811-1822.
- [18] Prospero, J., Ginoux, P., Torres, O., Nickolson, S. and Gill, T. (2002). Environmental characterization of global source of atmospheric soil dust identified with the NIMBUS 7 Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) absorbing aerosol product. *Reviews of Geophysics*, 40(1), 2-31.

- [19] Shao, Y. and Dong, C. (2006). A review on East Asian dust storm climate, modeling and monitoring. *Global and Planetary Change*, 52, 1-22.
- [20] Shao, Y., Yang, Y., Wang, J., Song, Z., Leslie, L., Dong, C., Zhang, Z., Lin, Z., Kanani, Y., Yabuki, S. and Chun, Y. (2003). Real time numerical prediction of northeast Asian dust storm using an integrated modeling system. *Journal of Geophysical Research*, 108, 4691, doi:10.1029/2003JD003.667.
- [21] Woodruff, N. and Siddoway, F. (1965). A wind erosion equation. *Soil Science Society of America Journal*, 29, 602-608.
- [22] Zender, C., Bian, S. and Newman, D. (2003). Mineral Dust Entrainment and Deposition (DEAD) model: Description and 1990s dust climatology. *Journal of Geophysical Research*, 108 (D14), 4416. DOI: 10.1029/2002JD002775.
- [23] Zhang, P., Lu, N., Hu, X. and Dong, C. (2006). Identification and physical retrieval of dust storm using three MODIS thermal IR channels. *Global Planet Change*, 52, 197-206.

