

تحلیل هم‌دید و ماهواره‌ای طوفان‌های گرد و غبار غرب و شمال غرب ایران (مطالعه موردی: طوفان‌های گرد و غبار روزهای ۱۵ تا ۲۰ ژوئیه ۲۰۰۰ و ۱۷ تا ۲۲ ژوئن ۲۰۱۲)

برومند صلاحی*: استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

مجتبی فریدپور: دکتری اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۲۱

تاریخچه مقاله (تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۱۳)



20.1001.1.22517812.1401.12.3.2.1

چکیده

در این پژوهش، شمال غرب و غرب ایران شامل استان‌های اردبیل، آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی، کردستان، زنجان، همدان، کرمانشاه و ایلام از نظر فراوانی پدیده گرد و غبار و علل وقوع آن بررسی شد. برای شناسایی منبع طوفان گرد و غبار، طوفان‌های گرد و غبار روزهای ۱۵ تا ۲۰ ژوئیه ۲۰۰۰ و ۱۷ تا ۲۲ ژوئن ۲۰۱۲ (به عنوان نمونه) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مودیس شرح داده شد. برای شناسایی این پدیده، از شاخص اختلاف دمای روشنی (BTD) و ترکیب رنگی کاذب (RGB) استفاده شد. برای تحلیل سینوپتیک روزهای مذکور نیز داده‌های مربوط به جو بالا از مرکز ملی اقیانوس و جوی به صورت روزانه دریافت شد. نتایج نشان داد که منابع اصلی گرد و غبارهای غرب و شمال غرب ایران، نواحی بیابانی عراق، شبه‌جزیره عربستان و صحرای بزرگ آفریقا است. نتایج تحلیل هم‌دید روزهای مورد مطالعه نیز نشان داد که در تراز سطح دریا، وجود مرکز کم‌فشار بر روی عربستان و عراق مهم‌ترین علت بروز طوفان گرد و غبار در غرب و شمال غرب ایران است. این کم‌فشارها شرایط مناسبی را برای صعود حجم عظیمی از گرد و غبار به هوا فراهم کرده‌اند. بررسی نقشه‌های تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نشان داد که مهم‌ترین عامل ایجاد گرد و غبار در غرب و شمال غرب ایران، حاکمیت زبانه پرفشار جنب‌حاره آزور و قرارگیری منطقه در زیر آن است. به طور کلی، استقرار مرکز کم‌فشار بر روی منطقه و حاکمیت پرفشار جنب‌حاره آزور، زمینه‌ساز شروع گرد و غبارهای گسترده در شرایط آب و هوایی خشک است که فقدان پوشش گیاهی متراکم در منطقه به تشدید این پدیده منجر شده است. استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و تکنیک‌های سنجش از دوری نیز می‌تواند اطلاعات مناسبی را در خصوص ردیابی منشأ و سطح گستردگی این پدیده در اختیار مدیران و تصمیم‌گیران قرار دهد. واژگان کلیدی: تحلیل هم‌دید، تصاویر ماهواره‌ای، طوفان گرد و غبار، غرب و شمال غرب ایران.

۱- مقدمه

طوفان‌های گرد و غبار نقش مهمی در اتمسفر زمین دارد و ذرات گرد و غبار، یکی از عوامل گرمایش جو و کاهش کیفیت هوا به شمار می‌رود و بر سلامت انسان‌ها آثار انکارناپذیری دارد (Khan et al, 2014 & Sternberg, 2017). ذرات گرد و غبار به جذب یا پراکنده شدن امواج تابشی منجر می‌شود که نتیجه آن، کاهش دید افقی است (Gao et al, 2003 & Tsoar and Pye, 1987). حدود سی درصد از کل مساحت زمین در سطح جهان، منبع احتمالی گرد و غبار برای ورود به جو است. با توجه به فعالیت‌های انسانی و تغییرات آب و هوایی، در مورد چگونگی تغییر این وسعت از سطح زمین و انتشار ذرات گرد و غبار در آینده فقدان اطمینان وجود دارد (Ginoux et al, 2012 & Chin et al, 2014).

در سطح ایران و جهان، تحقیقات متعددی در خصوص منشأ گرد و غبار و وسعت مناطق تحت تأثیر آن با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و تحلیل‌های همدید صورت گرفته‌است. Zolfaghari و همکاران (2011) در بررسی همدید طوفان‌های گرد و غبار در مناطق غربی ایران دریافته‌اند که وجود سامانه کم‌فشار در منطقه خاورمیانه به موج فراگیر گرد و غبار در تیرماه سال ۱۳۸۸ منجر شده‌است. Farajzadeh Asl and Alizadeh (2011)، به تحلیل زمانی و مکانی طوفان‌های گرد و خاک در ایران پرداختند و دریافته‌اند که کدهای سینوپتیک ۶ و ۷ بیشترین فراوانی وقوع گرد و غبار را داشته‌اند. Karimi و همکاران (2011) نیز با استفاده از تکنیک سنجش از دور، به شناسایی خاستگاه تولید طوفان‌های گرد و غبار در خاورمیانه پرداختند. Tavousi و همکاران (2012) نشان دادند که شیو دمایی بالا و وجود بادهای شدید صد و بیست روزه، از عوامل ایجاد گرد و غبار در سیستان و بلوچستان است. همچنین Khoshakhlagh و همکاران (2012) به تحلیل همدید بررسی رخداد گرد و غبار بهاره غرب ایران پرداختند و سیستم‌های مهاجر بادهای غربی، شکل‌گیری ناوه غربی و الگوهای بندالی در تراز میانی منطقه را در وقوع این رخداد مؤثر دانستند.

Taghavi و همکاران (2012) با بهره‌گیری از الگوریتم‌های بازسازی گرد و غبار نشان دادند که وجود سیستم کم‌فشار سطح زمین در جنوب غرب کشور، نقش مهمی در بروز طوفان گرد و غبار در آن مناطق دارد. Faten و همکاران (2012) برای تهیه نقشه طوفان گرد و غبار ۳ ژوئیه ۲۰۰۸ و ۳۰ ژوئن ۲۰۰۸ عراق، از باندهای ۳۱، ۳۲ و باند مرئی (باند ۱) مودیس و باند ۲۱ برای تولید تصویر رنگی کاذب (RGB) و تشخیص گرد و غبار استفاده کردند. آنها همچنین نشان دادند که داده‌های طیفی باند ۱، ۲۱، ۳۱ و ۳۲ مودیس برای تشخیص گرد و غبار از سایر پدیده‌ها مناسب‌تر است. Ajoudani و همکاران (2013)، طوفان گرد و غباری روز سیزده آوریل ۲۰۱۱ منطقه غرب و جنوب غرب ایران را با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس مستقر بر ماهواره ترا بررسی کردند. آنها به منظور بازسازی گرد و غبار، از تفاضل درجه حرارت روشنایی (BTD) طول‌موج ۳/۹، ۱۱ و ۱۲ میکرومتر استفاده کردند. Zeinali (2013) نیز با استفاده از سنجنده‌های modis و avhrr، به شناسایی و پایش طوفان‌های شاخص گرد و غباری ایران پرداخت.

Qavami و همکاران (2013) نشان دادند که بیابان‌های شرق سوریه، شمال و شمال غرب عراق و شمال عربستان، از اصلی‌ترین مناطق ایجاد طوفان‌های گرد و غبار است. El-ossta و همکاران (2013) نیز به شناسایی طوفان گرد و غباری بر فراز شمال آفریقا پرداختند و در روش ANN، از اطلاعات به‌دست آمده از BTD باندهای ۲۳ و ۳۱ و BTD باندهای ۳۱ و ۳۲ استفاده کردند. Sehat Kashani و همکاران (۲۰۱۴) در مسیر یابی رخداد گرد و غبار سپتامبر

۲۰۰۸ در نواحی غرب و جنوب غرب ایران، از مدل hysplite استفاده کردند. Mehta and Kunte (2014) نیز در تهیه نقشه گرد و غبار دریای عرب، از شاخص BTD استفاده و نقش بیابان عربستان را در بروز این پدیده تأیید کردند.

Jahanbakhsh و همکاران (2014 و 2015) با استفاده از سنجنده NOAA/AVHRR، به آشکارسازی و پایش توفان فراگیر اول ژوئیه ۲۰۰۸ ایران پرداختند و از شاخص‌های BTD و AVI در تشخیص پدیده گرد و غبار بر روی تصاویر استفاده کردند. Rashki و همکاران (2015) با استفاده از مشاهدات ماهواره‌ای (TOMS، OMI، MODIS و METEOSAT¹) و مدل HYSPLIT، منبع گرد و غبار جنوب غربی آسیا و منطقه سیستان را بررسی کردند. Mohammadimoradian and Hosseinzadeh (2015) به تحلیل ماهواره‌ای و همدید پدیده گرد و غبار در کلان‌شهر مشهد پرداختند و دریافتند که پرفشار حرارتی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و وجود اُمگای منفی در سطح زمین، به صعود و ناپایداری هوا و ایجاد گرد و غبار در شهر مشهد منجر شده‌است. Tamski و همکاران (2015) در پایش و پیش‌بینی وقوع طوفان‌های گرد و غبار در جنوب و جنوب شرق ایران دریافتند که در اوایل هر سال میلادی، این پدیده افزایش و پس از ماه‌های ژوئن و ژوئیه سیر نزولی می‌یابد. Yue و همکاران (2017) نیز نشان دادند که شاخص BADI می‌تواند موقعیت مکانی و تراکم طوفان‌های گرد و غبار را در شمال شرقی آسیا به خوبی تشخیص دهد.

Fallah Ghalhori و همکاران (2017) با استفاده از تکنیک دورکاوی، به بررسی طوفان گرد و غبار یک ژوئیه ۲۰۰۸ غرب و جنوب غرب ایران پرداختند. Raispour (2018)، به اهمیت نقش شرایط جوی حاکم بر لایه مرزی در انتقال گرد و غبار از بیابان‌های عربستان، سوریه و غرب و عراق به جنوب غرب ایران اشاره کرد.

Omidvar and Sepandar (2018) نشان دادند که بیابان‌های شمال عربستان، جنوب و غرب عراق و شمال صحرای آفریقا، منابع اصلی ورود گرد و غبار به استان کرمانشاه است. Zeinali and Asghari (2018) در ارزیابی و پایش گرد و غبار ده اوت ۲۰۰۸ در شرق ایران نشان دادند که در آشکارسازی گرد و غبار، تکنیک بصری ترکیب رنگی کاذب تکنیکی مناسب است. Diravipour و همکاران (2019) در آشکارسازی پدیده گرد و غبار جنوب غرب ایران، از شاخص‌های NDDI، BTD و شبکه عصبی استفاده کردند. Sarikhani و همکاران (۲۰۲۱) نیز با استفاده از داده‌های MODIS، از رویکرد جدیدی برای شناسایی طوفان‌های گرد و غبار در جنوب غرب ایران استفاده کردند. Matthew و همکاران (2021) با استفاده از داده‌های CubeStat و فناوری سنجش از دور، به تحلیل فضایی - زمانی پدیده گرد و غبار در مکزیک پرداختند و نشان دادند که فناوری مورد استفاده در این پژوهش نسبت به فناوری‌های قبلی ماهواره مودیس، در زمینه ارتباط سنجش از دور با مشاهدات میدانی پتانسیل بیشتری دارد. مطالعات مذکور همچنین نشان داد که استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و بررسی شرایط همیدی اتمسفر، در تحلیل پدیده گرد و غبار نقش مهمی دارد. از آنجایی که این پدیده بر جنبه‌های مختلف زیست‌محیطی غرب و شمال غرب ایران تأثیر زیادی دارد و چند سالی است که مناطق وسیعی از کشورمان و به‌ویژه غرب کشور را در بر گرفته‌است؛ بایستی شناخت کاملی از ابعاد آن حاصل شود. همچنین شرایط ایجاد و انتقال این پدیده نیز بررسی و با آن مقابله شود. مطالعه پدیده گرد و غبار با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و تحلیل همدید به صورت هم‌زمان و در ارتباط با یکدیگر، از جمله مواردی است که در سایر

¹ Meteorological Satellite

تحقیقات کمتر قابل توجه بوده است. این پژوهش درصدد آن است که ضمن مطالعه جنبه‌های مختلف گرد و غبار، خاستگاه ریزگردهای غرب و شمال غرب ایران را به صورت موردی بررسی کند.

۲- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در شمال غرب و غرب ایران واقع شده است. در این پژوهش، شمال غرب و غرب ایران شامل استان‌های اردبیل، آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی، کردستان، همدان، کرمانشاه و ایلام، از نظر وقوع پدیده گرد و غبار بررسی شدند. جدول ۱، مشخصات ریاضی ایستگاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد

جدول ۱: مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه

ایستگاه	ارتفاع (متر)	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی
کرمانشاه	۱۳۱۸/۶	۳۴/۳	۴۷/۶
همدان	۱۷۴۱/۵	۳۴/۱	۴۸/۱
سندج	۱۳۷۳/۴	۴۷	۵۳/۳
ایلام	۱۳۳۷	۳۱/۱	۴۶/۲
تبریز	۱۳۶۱	۳۸/۱	۴۶/۳
ارومیه	۱۳۲۸	۳۷/۱	۴۵/۲
اردبیل	۱۳۳۲	۳۸/۴	۴۸/۳

۳- مواد و روش

به منظور آشکارسازی و پایش طوفان‌های گرد و غباری ۱۵ تا ۲۰ ژوئیه ۲۰۰۰ و ۱۷ تا ۲۲ ژوئن ۲۰۱۲ غرب ایران، فراوانی وقوع گرد و غبار با کدهای ۶ تا ۹ و ۳۰ تا ۳۴ متعلق به سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ از سازمان هواشناسی کشور دریافت شد. سپس فراوانی این پدیده در مقیاس‌های ماهانه، ساعتی و دوره نوزده ساله بررسی شد. از آنجایی که کدهای ۸، ۹ و ۳۰ تا ۳۴ نسبت به کدهای ۶ و ۷ فراوانی وقوع کمتری داشت؛ بنابراین، از بررسی فراوانی آنها صرف نظر شد. سپس کدهای مربوط به گرد و غبار شامل کدهای (۶ تا ۹) و (۳۰ تا ۳۵)^۱ از سایر کدهای هواشناسی تفکیک شد. کدهای ۳۰ تا ۳۵، مربوط به طوفان‌های گرد و غباری محلی به ترتیب از ضعیف تا شدید است. همچنین برای آشکارسازی طوفان‌های گرد و غباری (محلی و فرامحلی)، از دید افقی مساوی یا کمتر از هزار متر استفاده شد (Gao et al, 2003 & Zolfaghari and Abedzadeh, 2005). روزی که در برداشت‌های هشت گانه شبانه‌روز، حداقل یک‌بار گرد و غبار در هر ایستگاه گزارش شده بود به عنوان روز گرد و غباری تعیین و فراوانی آن بررسی شد (Jahanbakhsh et al, 2014). برای آشکارسازی و پایش طوفان‌های گرد و غباری مذکور، از تصاویر سنجنده مودیس، ماهواره‌های ترا و آکوا استفاده شد. در جدول‌های ۲ و ۳، مشخصات تصاویر ماهواره مودیس برای تاریخ ۱۵ تا ۲۰ ژوئیه ۲۰۰۰ و ۱۷ تا ۲۲ ژوئن ۲۰۱۲ ذکر شده است.

۱. کد ۶: ذرات معلق گرد و خاک در هوا حاصل از توفان شن و خاک نقاط دیگر یا خارج از ایستگاه، کد ۷: گرد و غبارهای ایجاد شده به وسیله باد در خود ایستگاه یا نزدیکی آن، کد ۸: گردبادهای تکامل یافته در زمان دیده‌بانی یا طی یک ساعت گذشته در خود ایستگاه یا اطراف آن، کد ۹: توفان‌های گرد و خاک در زمان دیده‌بانی یا ساعت گذشته در اطراف ایستگاه، کدهای ۳۰ تا ۳۵: توفان‌های گرد و غباری در شدت‌های به ترتیب ضعیف تا شدید محلی (Fallah Ghalhori et al, 2017).

جدول ۲: مشخصات تصاویر ماهواره مودیس در ۱۵ تا ۲۰ ژوئیه ۲۰۰۰

تصویر	تاریخ	ساعت	ماهواره	عرض N	طول E
MYD021KM.A2012169.1040.006.2012187015140	۲۰۱۲/۶/۱۷	۱۰:۴۰	آکوا	۵۵-۳۵	۴۱-۱۶
MOD021KM.A2012170.0805.006.2014220062757	۲۰۱۲/۶/۱۸	۰۸:۰۵	ترا	۵۷-۳۲	۳۹-۱۷
MYD021KM.A2012171.1025.006.2012187023828	۲۰۱۲/۶/۱۹	۱۰:۲۵	آکوا	۵۹-۳۶	۳۹-۱۷
MYD021KM.A2012172.0930.006.2012187024913	۲۰۱۲/۶/۲۰	۰۹:۳۰	ترا	۶۰-۳۹	۳۹-۱۶
MYD021KM.A2012173.1015.006.2012187025105	۲۰۱۲/۶/۲۱	۱۰:۱۵	آکوا	۵۹-۳۹	۳۸-۱۹
MOD021KM.A2012174.0740.006.2014224170147	۲۰۱۲/۶/۲۲	۰۷:۴۰	ترا	۶۳-۴۰	۳۹-۱۷

جدول ۳: مشخصات تصاویر ماهواره مودیس در ۱۷ تا ۲۲ ژوئن ۲۰۱۲

تصویر	تاریخ	ساعت	ماهواره	عرض N	طول E
MOD021KM.A2000197.0845.005.2010042010839	۲۰۰۰/۰۷/۱۵	۸:۴۵	ترا/مودیس	۵۱-۲۴	۵۰-۳۰
MOD021KM.A2000198.0750.005.2010042014638	۲۰۰۰/۰۷/۱۶	۷:۵۰	ترا/مودیس	۶۳-۳۸	۴۸-۲۸
MOD021KM.A2000199.0835.005.2010042022116	۲۰۰۰/۰۷/۱۷	۰۸:۳۵	ترا/مودیس	۴۹-۲۶	۴۲-۲۲
MOD021KM.A2000200.0740.005.2010042024205	۲۰۰۰/۰۷/۱۸	۰۷:۴۰	ترا/مودیس	۶۲-۴۰	۴۰-۲۱
MOD021KM.A2000201.0820.005.2010042135939	۲۰۰۰/۰۷/۱۹	۰۸:۲۰	ترا/مودیس	۵۷-۳۱	۵۱-۳۱
MOD021KM.A2000201.0825.005.2010042140741	۲۰۰۰/۰۷/۱۹	۰۸:۲۵	ترا/مودیس	۴۹-۲۸	۳۳-۱۳
MOD021KM.A2000202.0725.005.2010042145157	۲۰۰۰/۰۷/۲۰	۰۷:۲۵	ترا/مودیس	۴۴-۷۰	۴۹-۲۹
MOD021KM.A2000202.0730.005.2010042144908	۲۰۰۰/۰۷/۲۰	۰۷:۳۰	ترا/مودیس	۶۲-۴۱	۳۰-۱۰

در ادامه به منظور استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، پیش‌پردازش‌های اولیه شامل تصحیحات هندسی و رادیومتریک صورت گرفت. تصاویر مودیس با توجه به رادیانس طیفی از نظر رادیومتریک به تصحیحاتی نیاز نداشت، ولی از نظر هندسی نیازمند تصحیحات اولیه‌ای بود که این مورد در نرم‌افزار ENVI5.3 صورت گرفت. همچنین به منظور آشکارسازی طوفان‌های گرد و غبار در منطقه مورد مطالعه با استفاده از تصاویر مودیس، از شاخص‌های زیر استفاده شد:

- شاخص اختلاف دمای روشنی (BTD¹)

شاخص اختلاف دمای روشنی (BTD) مربوط به باندهای حرارتی ۳۱ و ۳۲ سنجنده مودیس است؛ بنابراین، اختلاف دمای روشنی باند ۳۱ از باند ۳۲ به دماهای منفی با ارزش بیشتر در پدیده گرد و غبار منجر می‌شود (Mei et al, 2008). شاخص BTD از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\text{BT D} = \text{BT } 31 - \text{BT } 32 \quad \text{رابطه ۱}$$

$$\text{BT } 31 = \text{BT } 10.780 - 11.280 \mu\text{m} \quad \text{رابطه ۲}$$

$$\text{BT } 32 = \text{BT } 11.770 - 12.27 \mu\text{m} \quad \text{رابطه ۳}$$

در این رابطه، BT 31 دمای درخشندگی باند ۳۱ (طول موج یازده میکرومتر) و BT 32 دمای درخشندگی باند ۳۲ (طول موج دوازده میکرومتر) است. دمای تابندگی سطح اول سنجنده مودیس از تبدیل داده‌های سطح 1B باندهای حرارتی MODIS در باندهای ۳۱ و ۳۲ با استفاده از عکس معادله پلانک تهیه می‌شود (Jahanbakhsh et al, 2014). داده‌های سطح اول مودیس در باندهای حرارتی ۳۱ و ۳۲ به صورت داده‌های رادیانس کالیبره شده ذخیره می‌شوند و در نتیجه، داده‌های رادیانس توسط عکس معادله پلانک به دمای تابندگی تبدیل می‌شود (et al, 2001 & Zeinali, 2013). (Dash)

$$B_{\lambda}(T) = \frac{2hc^2\lambda^{-5}}{(e^{hc/k\lambda T} - 1)} \quad \text{رابطه ۴}$$

در رابطه فوق، B_{λ} شدت تابشی است که طول موج λ دارد $\text{Joules/m}^3/\text{sec/steradian}$ ، h ضریب ثابت پلانک $6.626 \times 10^{-34} \text{ j/s}$ ، c سرعت نور در خلأ $2.998 \times 10^{+8} \text{ m/s}$ ، k ضریب ثابت استفان بولتزمن $1.381 \times 10^{-23} \text{ j/deg}^{-1}$ ، T دمای سطحی جسم سیاه به درجه کلون و λ به متر است.

¹ Brightness Temperature Difference

- شاخص ترکیب رنگی کاذب (RGB)

در این روش ترکیب رنگی کاذب حاصل باندهای ۳، ۱ و ۴ (Xie, 2004 & Mei et al, 2008)، برای تفکیک پدیده گرد و غبار از پدیده‌های دیگر بر روی تصاویر مودیس به صورت بصری استفاده می‌شود (Jahanbakhsh et al, 2014).

R(3)G(1)B(4)

رابطه ۵

در رابطه ۵ باند ۳: محدوده طیفی ۴۵۹ تا ۴۷۹ میکرومتر، باند ۱: محدوده طیفی ۶۲۰ تا ۶۷۰ میکرومتر و باند ۴: محدوده طیفی ۵۴۵ تا ۵۶۵ میکرومتر را شامل می‌شود. برای تحلیل هم‌دید طوفان‌های گرد و غباری هفده تا نوزده ژوئیه ۲۰۰۰ غرب ایران با رویکرد محیطی به گردشی، از داده‌های سطوح فوقانی جو استفاده شد. این داده‌ها شامل داده‌های باز تحلیل شده فشار سطح زمین، ارتفاع ژئوپتانسیل، بردار باد، تاوایی، جهت باد و امگا در تراز پانصد میلی‌بار است که قدرت تفکیک فضایی ۲/۵ درجه طول جغرافیایی در ۲/۵ درجه عرض جغرافیایی دارد. این داده‌ها از تارنمای تفکیک فضایی ۲/۵ درجه طول جغرافیایی در ۲/۵ درجه عرض جغرافیایی دارد. این داده‌ها از تارنمای <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data/ncep>، مرکز ملی جو و اقیانوس^۱ (NOAA) دریافت شد که توسط مرکز ملی پیش‌بینی محیطی^۲ (NECP) تهیه می‌شود. نقشه‌های مذکور با استفاده از نرم‌افزار گرس^۳ (Grads) ترسیم و واکاوی سینوپتیک شد.

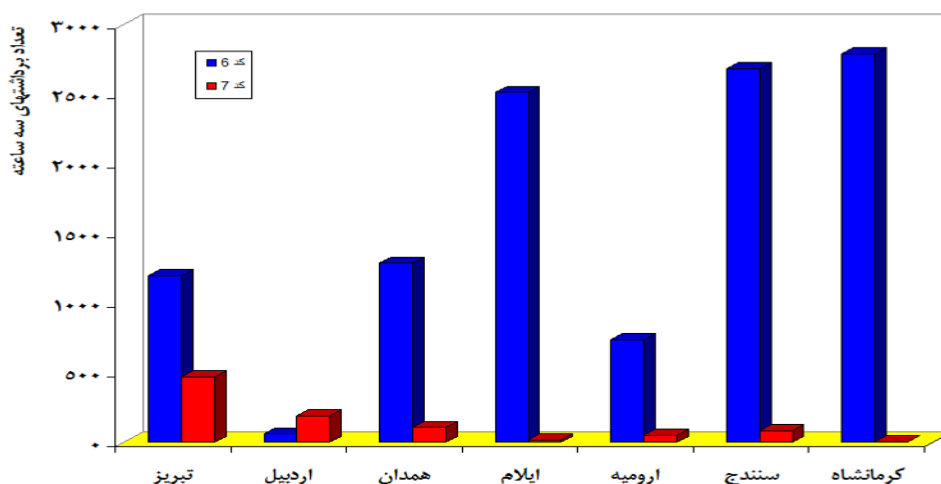
۴- یافته‌ها (نتایج)

همان‌طور که در بخش قبل نیز ذکر شد، به دلیل فراوانی کمتر کدهای ۸، ۹ و ۳۰ تا ۳۴ نسبت به کدهای ۶ و ۷، توزیع فراوانی کدهای ۶ و ۷ پدیده گرد و غبار در برداشت‌های سه‌ساعته در طول دوره آماری در ایستگاه‌های مورد مطالعه، در شکل ۱ ارائه شد. بیشترین فراوانی وقوع کدهای طوفان گرد و غبار رخ داده مربوط به کد ۶ است که بر وجود گرد و غبار در آسمان دلالت دارد. کد ۷ نیز که طوفان ماسه یا گرد و غبار را در آن ایستگاه نشان می‌دهد، فراوانی مناسبی دارد. کدهای ۸، ۹ و ۳۰ تا ۳۴ هم که گرد و غبارهای سبک تا متوسط را نشان می‌دهند، در ایستگاه‌های مورد بررسی فراوانی کمی داشتند که در شکل ۱ نشان داده نشده‌است.

¹ National Oceanic and Atmospheric Administration

² National Center for Environmental Prediction

³ Grid Analysis and Display System



شکل ۱: توزیع فراوانی تعداد کدهای ۶ و ۷ گرد و غبار در ایستگاه‌های مورد مطالعه در برداشتهای سه ساعته در طول دوره آماری مورد بررسی

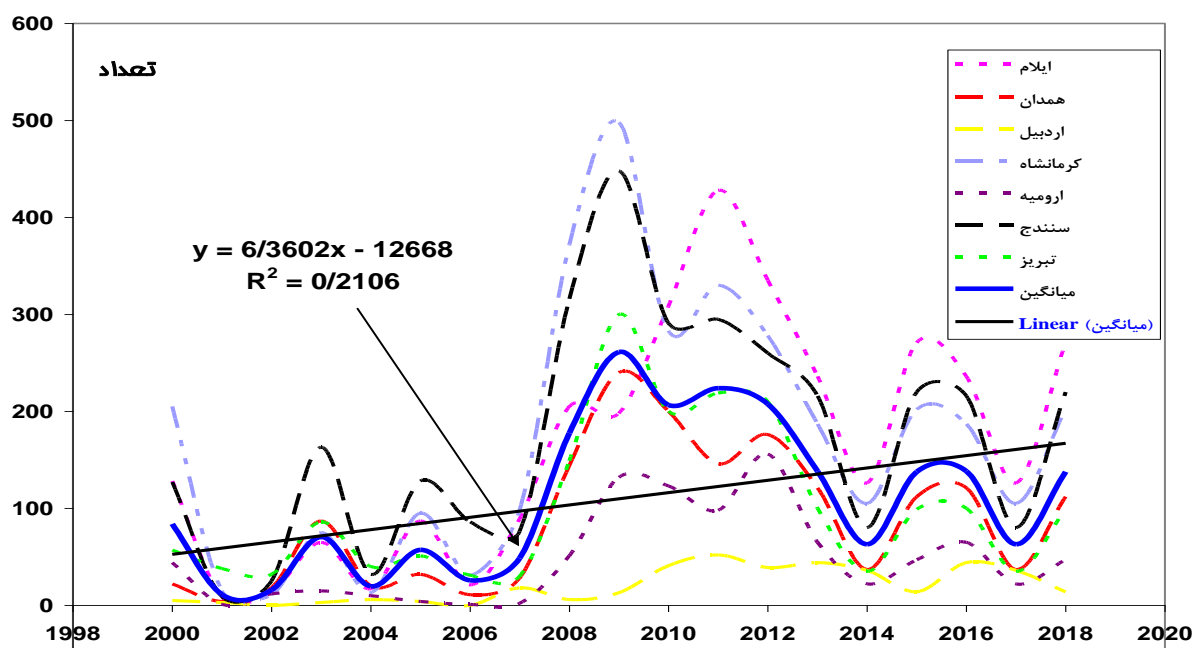
همان‌طور که در شکل ۱ قابل مشاهده است، بیشترین فراوانی کد ۶ مربوط به سه استان ایلام، کرمانشاه و سنندج بود و به سمت شمال غرب کشور از فراوانی گرد و غبار کاسته شد؛ به طوری که کمترین فراوانی مربوط به استان اردبیل بود که از کانون گرد و غبار فاصله دورتری داشت. در ادامه پس از شناسایی استان‌های دارای بیشترین فراوانی گرد و غبار ثبت شده در بازه زمانی مورد مطالعه، برای شناسایی درصد فراوانی این پدیده، مقادیر ماهانه و ساعتی پدیده مورد نظر بررسی شد. جدول ۴، درصد توزیع فراوانی پدیده گرد و غبار به صورت ماهانه را در ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. از نظر توزیع ماهانه، ماه‌های ژوئن، ژوئیه، آوریل و می بیشترین روزهای گرد و غباری را در ایستگاه مورد مطالعه به خود اختصاص داد. همچنین جدول ۵، درصد توزیع فراوانی پدیده گرد و غبار را در ساعات شبانه‌روز در ایستگاه‌های مورد مطالعه به نشان می‌دهد. با توجه به جدول مذکور، وقوع این پدیده از ساعات اولیه شب به سمت ظهر روند افزایشی داشت. شکل ۲، نوسانات سالانه و روند خطی وقوع طوفان گرد و غبار را در ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. فراوانی وقوع روزهای دارای گرد و غبار در سال‌های مختلف آماری، حاکی از وجود روندی افزایشی در وقوع روزهای دارای گرد و غبار از اوایل دهه ۲۰۰۰ تا سال‌های منتهی به ۲۰۱۸ است. نتایج بررسی روند گرد و غبار در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ نشان داد که فراوانی وقوع روزهای دارای گرد و غبار در سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۱۲ نسبت به سال‌های دیگر بیشتر بوده است.

جدول ۴: درصد توزیع فراوانی پدیده گرد و غبار در ماه‌های مختلف سال ایستگاه‌های مورد مطالعه

ایستگاه	تبریز	کرمانشاه	سنندج	اردبیل	ارومیه	ایلام	همدان
زانویه	۰/۷	۴	۲	۷/۷	۰	۴	۰
فوریه	۱/۷	۶/۱	۳/۲	۳/۵	۱/۳	۶	۲/۷
مارس	۹/۲	۸/۹	۷/۶	۱۴/۳	۹/۱	۸/۳	۷/۵
آوریل	۱۵/۴	۱۱/۹	۱۳/۸	۱۳	۱۴/۳	۱۲/۵	۱۳/۹
می	۲۰/۷	۱۶/۴	۱۸/۶	۱۲/۷	۲۴/۱	۱۵	۲۱/۲
ژوئن	۱۴/۳	۲۰/۸	۲۱/۹	۸/۸	۱۷/۵	۱۸/۴	۲۴
ژوئیه	۱۳/۸	۱۹/۳	۱۸/۱	۹/۵	۱۳/۸	۲۰/۸	۱۸/۷
اوت	۶/۹	۸/۵	۷/۲	۷/۷	۱۰/۱	۹/۱	۴/۳
سپتامبر	۷/۶	۴/۹	۳/۷	۶/۷	۴/۷	۵/۹	۴
اکتبر	۸/۸	۲/۴	۵/۳	۸/۵	۷/۷	۳/۲	۳/۳
نوامبر	۰/۶	۰/۱	۰/۳	۳/۲	۰/۳	۰	۰/۳
دسامبر	۰/۴	۰/۳	۰/۱	۵/۳	۰/۱	۰/۵	۰/۱

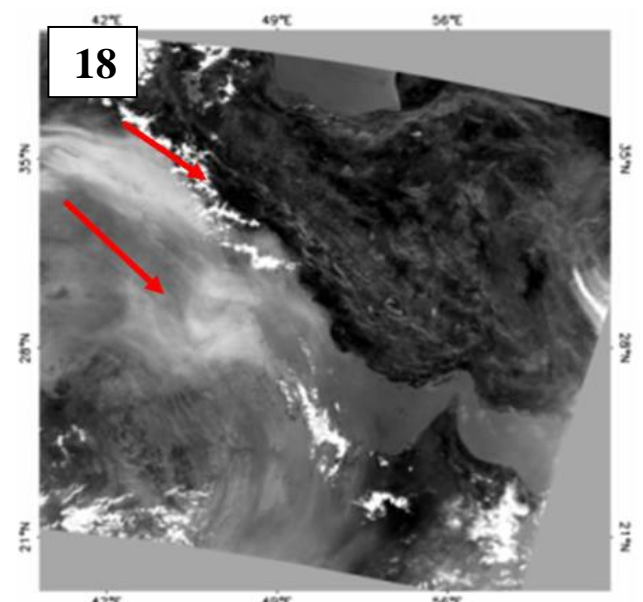
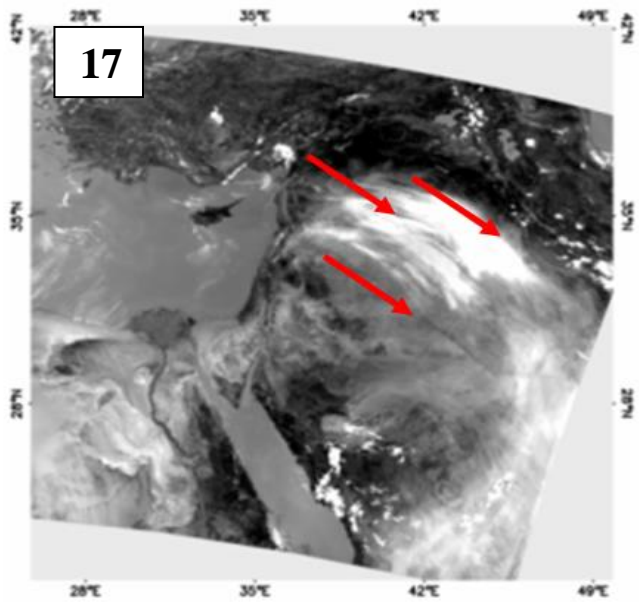
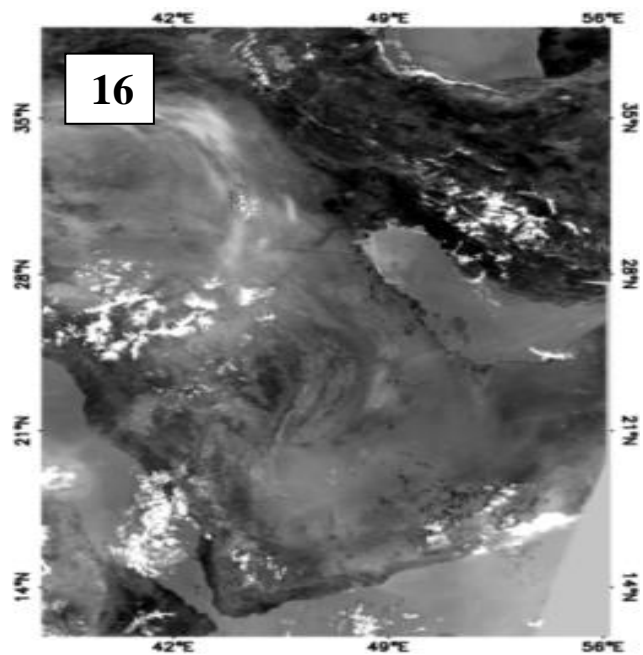
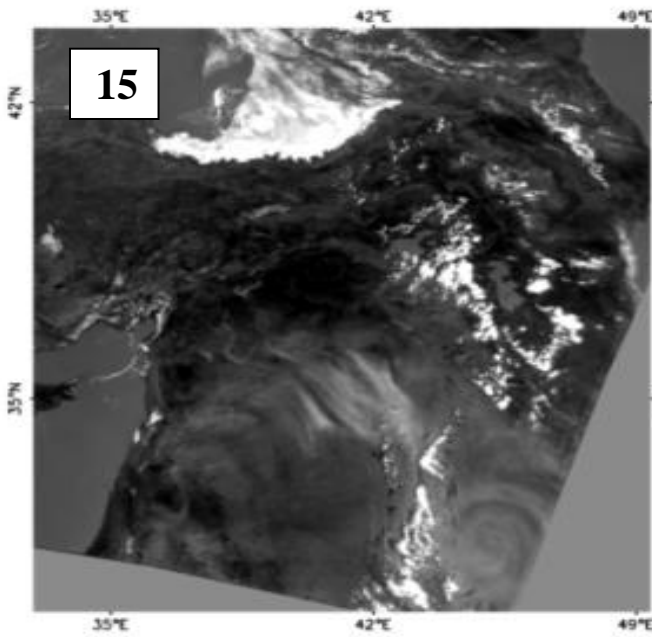
جدول ۵: درصد توزیع فراوانی پدیده گرد و غبار در ساعات شبانه‌روز در ایستگاه‌های مورد مطالعه

ایستگاه	تبریز	کرمانشاه	سنندج	اردبیل	ارومیه	ایلام	همدان
۰۰	۷/۵	۷/۶	۸/۹	۳/۲	۱۱/۲	۱۰/۵	۵/۱
۰۳	۸/۵	۱۳	۱۱/۸	۴/۶	۱۱/۹	۱۲/۷	۱۲/۱
۰۶	۱۲/۲	۱۵/۵	۱۴/۶	۸/۸	۱۳/۴	۱۱	۱۷/۳
۰۹	۱۷/۵	۱۵/۱	۱۵/۸	۲۳/۲	۱۳/۷	۱۲/۱	۲۰/۴
۱۲	۱۹	۱۴/۸	۱۵	۳۱/۷	۱۴/۳	۱۳/۸	۱۸/۵
۱۵	۱۵/۶	۱۵/۱	۱۳/۷	۱۹/۷	۱۲/۹	۱۶/۴	۱۳/۹
۱۸	۱۱/۴	۱۰/۴	۱۰/۶	۵/۳	۱۱/۴	۱۲/۳	۷/۳
۲۱	۸/۵	۸/۵	۹/۴	۳/۵	۱۱/۲	۱۱/۳	۵/۵



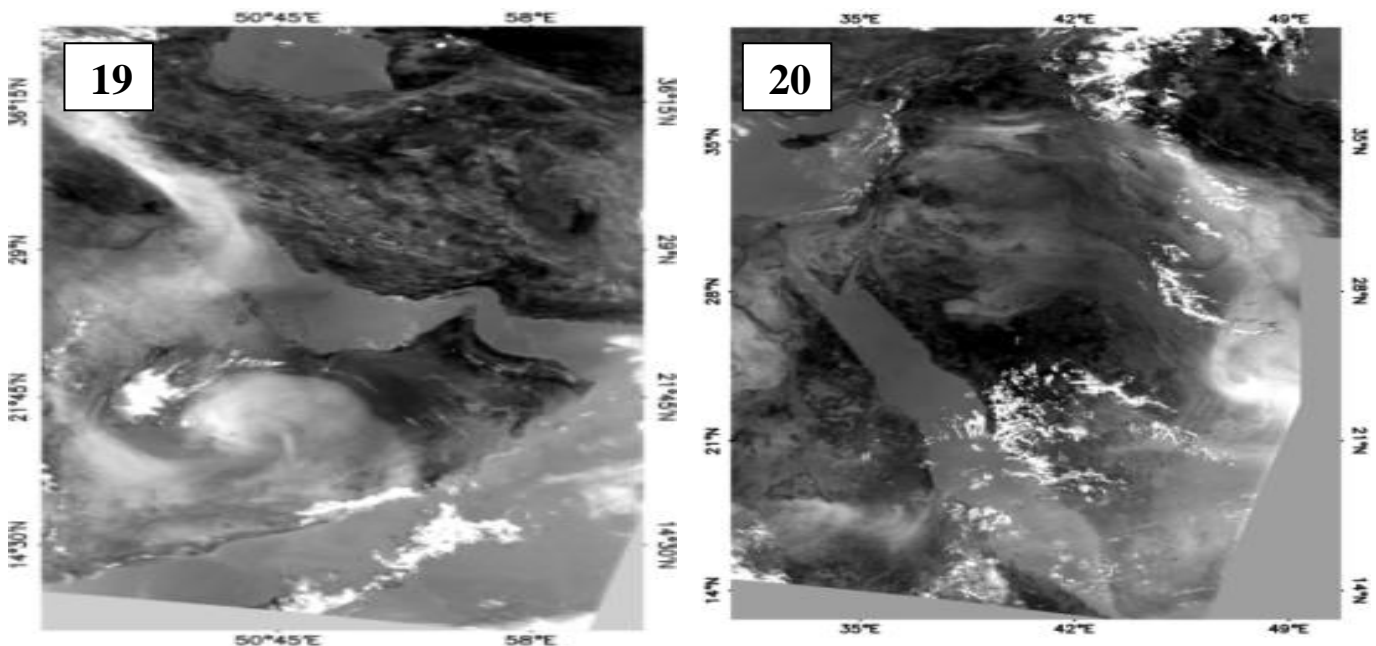
شکل ۲: نوسانات سالانه و روند خطی وقوع طوفان گرد و غبار در ایستگاه‌های مورد مطالعه در برداشت‌های سه‌ساعته

در ادامه به منظور بررسی پدیده گرد و غبار با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، سال ۲۰۰۰ به عنوان شروع بازه زمانی مورد مطالعه و سال ۲۰۱۲ نیز به عنوان سال دارای فراوانی بالا، انتخاب و تصاویر مربوط به ماه‌های ژوئن و ژوئیه و روزهای مورد نظر دانلود و پردازش شد. برای شناسایی پدیده گرد و غبار، از شاخص **BTD** حاصل از تفاضل باند ۳۱ از باند ۳۲ سنجنده مودیس استفاده شد. ارزش‌های عددی به دست آمده از این شاخص، منفی است که این امر به بالا بودن دمای پدیده گرد و غبار در باند ۳۲ نسبت به باند ۳۱ این سنجنده بازمی‌گردد. همان‌گونه که ذکر شد، تصاویر مورد استفاده، حاصل اعمال شاخص **BTD** که نتیجه اعمال باندهای ۳۱ و ۳۲ سنجنده مودیس، ماهواره اکوا/ترا است می‌باشند (Zeinali, 2013). نتایج مربوط به تحلیل پدیده گرد و غبار با استفاده از تصاویر **MODIS** (شکل ۳) نشان داد که در روز پانزده تا هیجده ژوئیه ۲۰۰۰، گرد و غبار بر فراز کشور عراق شدت یافت و غرب ایران را در بر گرفت. در این بازه با توجه به داده‌های ایستگاهی، دید افقی در ایستگاه‌های شهرهای مرزی کشور به شدت کاهش یافت.



شکل ۳: گسترش گرد و غبار در خاورمیانه و ایران در روزهای پانزده تا هیجده ژوئیه ۲۰۰۰

در روزهای نوزده و بیست ژوئیه ۲۰۰۰، گسترش گرد و غبار در خاورمیانه و ایران مشهود است. در این ایام، مرکز گرد و غبار بر فراز خلیج فارس گسترش یافت و گرد و غبار غرب ایران را تشدید کرد. در ایستگاه‌های مرزی ایران، دید افقی در روزهای مذکور نیز همانند روزهای قبل کاهش یافت (شکل ۴).

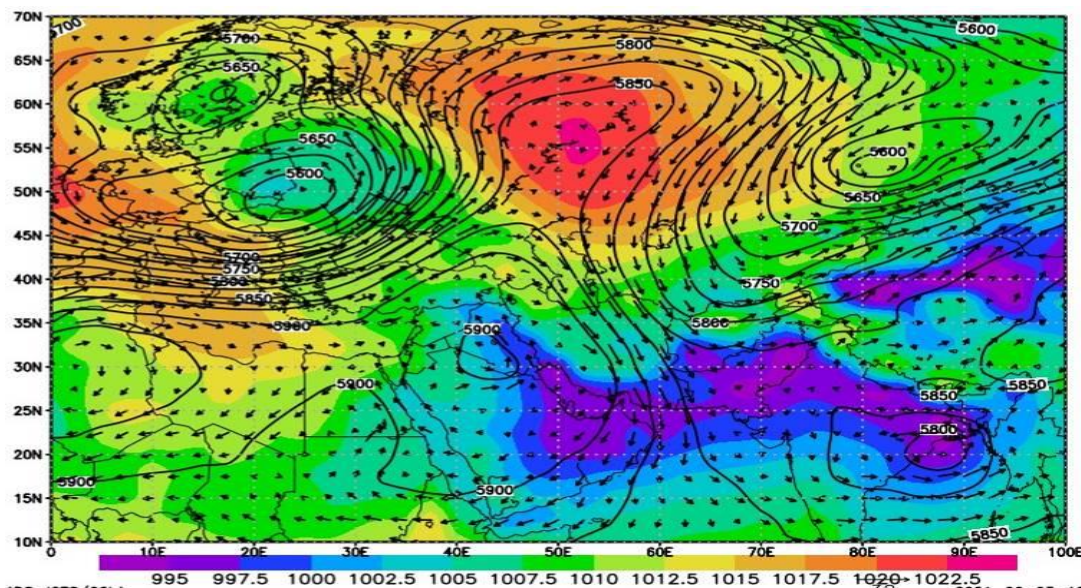


شکل ۴: گسترش گرد و غبار در خاورمیانه و ایران در روز نوزده و بیست ژوئیه ۲۰۰۰

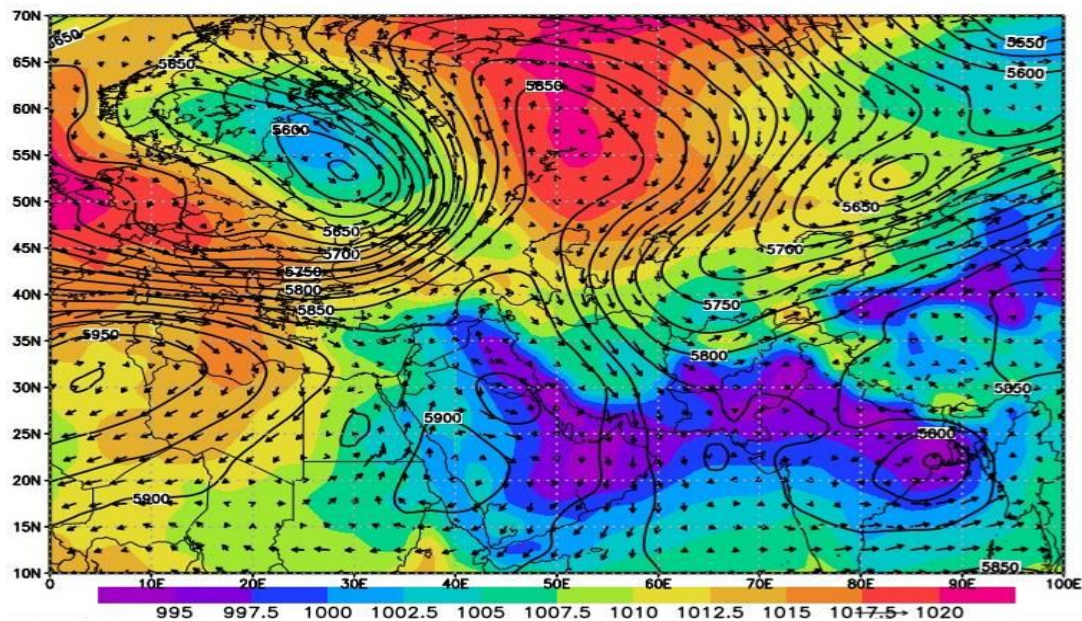
در ادامه به منظور تحلیل همدیدی پدیده گرد و غبار، داده‌های مربوط به سطوح فوقانی جو در روزهای دارای بیشترین فراوانی گرد و غبار تهیه و نقشه‌های مورد نظر ترسیم شد. نتایج نشان داد که در روز ۲۰۰۰/۷/۱۷، در سطح زمین شاهد استقرار یک سیستم کم‌فشار با فشار مرکزی ۹۹۶ میلی‌بار بر روی خلیج فارس و شرق عربستان بودیم (شکل ۵). جریان همگرا و پادساعتگرد این سامانه کم‌فشار، به ناپایداری هوا و خیزش گرد و غبار در عربستان و عراق و انتقال آن به ایران منجر شد که این حالت در تصاویر ماهواره مودیس (اشکال ۳ و ۴) نیز به وضوح قابل تشخیص است. با استقرار پرفشار شمال دریای خزر با فشار مرکزی ۱۰۲۳ میلی‌بار، زبانه‌های جنوب‌سوی آن تا مرکز و غرب ایران کشیده شد. در امتداد زاگرس و در غرب ایران نیز شاهد تراکم منحنی‌های هم‌فشار با راستای شمال غربی - جنوب شرقی بودیم که محل برخورد زبانه‌های شمال‌سوی کم‌فشار مستقر بر روی خلیج فارس و زبانه‌های جنوب‌سوی پرفشار مستقر در شمال دریای خزر بود. در این حالت، جبهه زمینی تشکیل و به ناپایداری و توربولانس هوا منجر شد که در زمینه جریان پادساعتگرد و همگرای هوا در این منطقه، گرد و غبار از عراق، شمال آفریقا و عربستان به مرزهای غربی ایران وارد شد. در روز ۲۰۰۰/۷/۱۸، سیستم موجود در روز قبل همچنان در منطقه مورد مطالعه مستقر بود؛ با این تفاوت که محدوده مرکز کم‌فشار و مقدار فشار زبانه‌های شمالی اندکی تغییر داشت. بنابراین، همچنان انتقال گرد و غبار از منابع مذکور به نوار غربی ایران صورت گرفت (شکل ۶). همین شرایط در روز ۲۰۰۰/۷/۱۹ نیز حاکم بود (شکل ۷)، ولی گستره کم‌فشار در این روز اندکی بیش از روزهای قبل بود (Zeinali, 2013).

پایداری شرایط گرد و غباری در این سه روز، به حاکمیت آرایش توپوگرافی ترازهای فوقانی جو نیز مرتبط بود. در روز ۲۰۰۰/۷/۱۷، شاهد نفوذ یک پشته قوی در تراز ۵۰۰ میلی‌بار بودیم که علاوه بر ایران، غرب کشور روسیه را نیز در بر گرفت (شکل ۵). این پشته، زبانه پرفشار جنب حاره آזור بود که در فصل گرم سال، در عرض‌های جغرافیایی

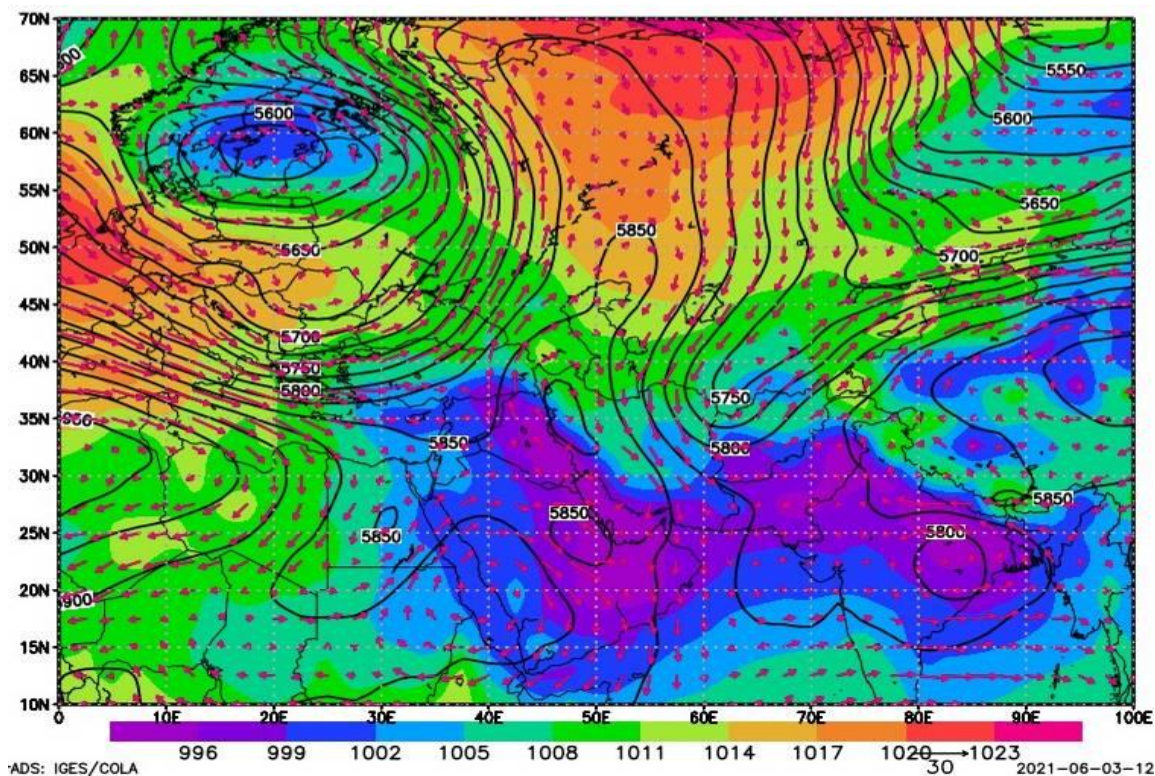
پایین و مناطق معتدل حاکم می‌شد. زبانه ۵۹۰۰ ژئوپتانسیل متر این پرارتفاع - که منشأ جنب‌حاره‌ای آזור داشت - بر فراز عربستان مستقر و به غرب ایران نیز کشیده شد. حرکت ساعتگرد هوا در این پشته با چرخندگی منفی همراه بود و با فرونشست اجباری هوا، شرایط را برای صافی آسمان و انتقال اشعه گرمابخش خورشید به ایران فراهم کرد. این شرایط سبب شد که در سطح زمین در اطراف خلیج فارس و شرق عربستان، کم‌فشار حرارتی تشکیل شود. همان‌گونه که در تصاویر ماهواره مودیس (اشکال ۳ و ۴) نیز آشکار است حرکت پادساعتگرد و همگرایی هوا در این کم‌فشار، زمینه انتقال گرد و غبار را از روی عربستان، عراق و شمال آفریقا به نوار غربی ایران فراهم کرد. همین شرایط در روز ۲۰۰۰/۷/۱۸ هم دیده می‌شد (شکل ۶)؛ با این تفاوت که منحنی ۵۸۷۵ ژئوپتانسیل متر در مرز عراق و عربستان بسته شد که بیانگر شرایط واچرخندی هوا در تراز پانصد میلی‌باری و حاکمیت شرایط گرم و خشک در سطح زمین و به تبع آن، خیزش گرد و غبار بود. در روز ۲۰۰۰/۷/۱۹ نیز شرایط روزهای قبل تکرار شد. منحنی بسته ۵۸۷۵ ژئوپتانسیل متر در غرب ایران و جنوب خلیج فارس به چشم می‌خورد (شکل ۷). در روزهای هفده تا نوزده ژوئیه سال ۲۰۰۰، وجود دو ناوه عمیق - یکی بر روی اروپا و دیگری بر فراز کشورهای قزاقستان و ترکمنستان - با راستاهای متفاوت و همگرا، به ایجاد فراز و انتقال هوای گرم به غرب روسیه منجر شد که در این مسیر، عبور هوای گرم از روی ایران و خیزش گرد و غبار نیز اتفاق افتاد.



شکل ۵: نقشه فشار سطح زمین، ارتفاع ژئوپتانسیل و بردار باد تراز پانصد میلی‌بار در روز ۲۰۰۰/۷/۱۷ (بردار باد با فلش، فشار سطح زمین با رنگ و ارتفاع ژئوپتانسیل با خطوط تراز مشخص شده‌است)

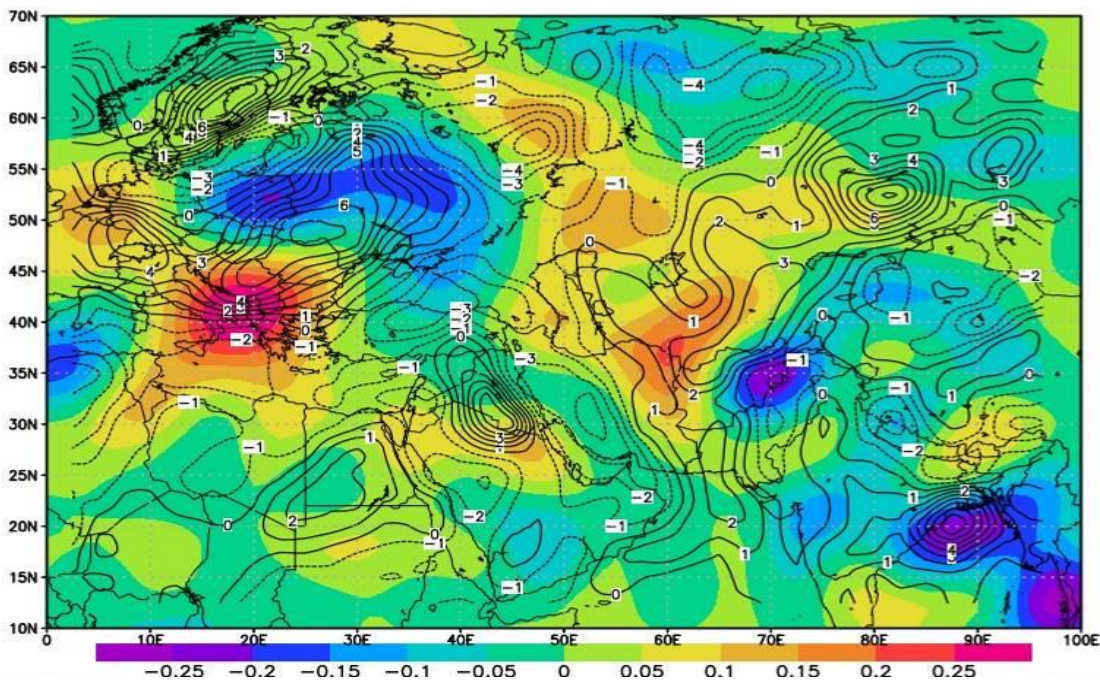


شکل ۶: نقشه فشار سطح زمین، ارتفاع ژئوپتانسیل و بردار باد تراز پانصد میلی‌بار در روز ۲۰۰۰/۷/۱۸ (بردار باد با فلش، فشار سطح زمین با رنگ و ارتفاع ژئوپتانسیل با خطوط تراز مشخص شده‌است)

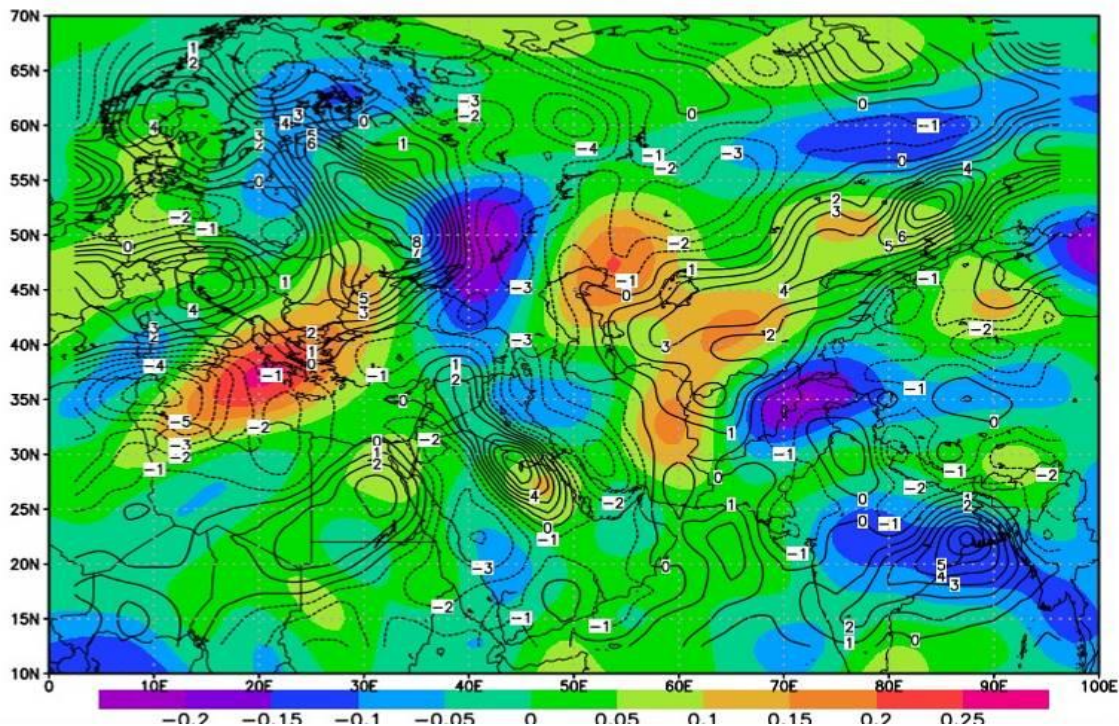


شکل ۷: نقشه فشار سطح زمین، ارتفاع ژئوپتانسیل و بردار باد تراز پانصد میلی‌بار در روز ۲۰۰۰/۷/۱۹ (بردار باد با فلش، فشار سطح زمین با رنگ و ارتفاع ژئوپتانسیل با خطوط تراز مشخص شده‌است)

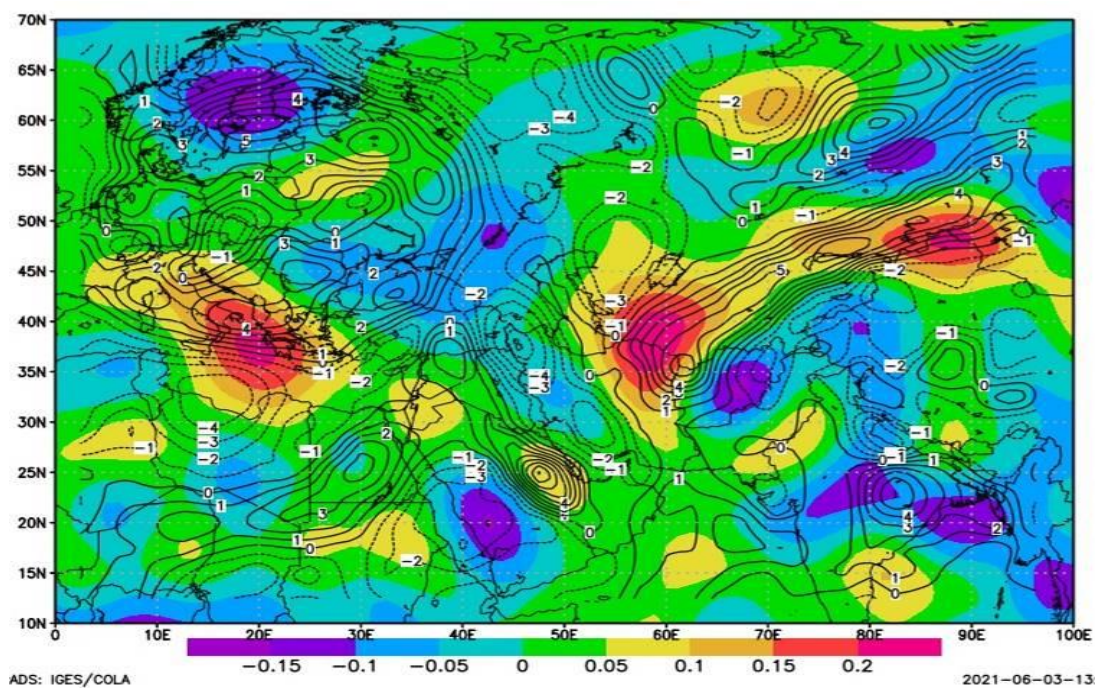
شکل‌های شماره ۸، ۹ و ۱۰، مقادیر تاوایی و امگای تراز پانصد میلی بار را به تصویر کشیده‌است. در این شکل‌ها، مقادیر امگا به صورت تنوع رنگ و مقادیر تاوایی به صورت منحنی میزان نشان داده شده‌است. مقادیر امگای منفی بیانگر ناپایداری هوا و مقادیر امگای مثبت بیانگر پایداری هواست. در روز ۲۰۰۰/۷/۱۷، امگای -0.05 پاسکال در ثانیه در منطقه غرب ایران دیده شد که حاکی از ناپایداری هوا و خیزش گرد و غبار در آن منطقه بود (شکل ۸). در روزهای هیجده و نوزده ژوئیه سال ۲۰۰۰، پارامتر امگا مقادیر منفی بیشتری به خود گرفت و به -0.1 رسید که به معنای تشدید ناپایداری هوا در این روزها بود (شکل ۹ و ۱۰). از طرف دیگر، در روز هفده ژوئیه سال ۲۰۰۰، شاهد هسته تاوایی مثبت بر فراز کشور عراق و شمال عربستان بودیم که بیانگر حرکات چرخندی، ناپایداری و صعود هوا در تراز پانصد میلی بار بود و این مسئله می‌تواند در زمینه آرایش موج بادهای غربی، به خیزش گرد و غبار در آن منطقه منجر شود. این شرایط در روزهای هیجده و نوزده ژوئیه سال ۲۰۰۰ نیز تکرار شد؛ با این تفاوت که هسته تاوایی مثبت در حال انتقال از عراق به عربستان بود. غرب کشور ایران در این روزها نیز مقادیر تاوایی منفی داشت که دلیل آن، حرکت واچرخندی هوا در زبانه پرفشار آזור و سلول بسته آن بود.



شکل ۸: نقشه مقادیر تاوایی و امگای تراز پانصد میلی بار در روز ۲۰۰۰/۷/۱۷
(مقادیر تاوایی با خطوط تراز و مقادیر امگا با رنگ مشخص شده‌است)

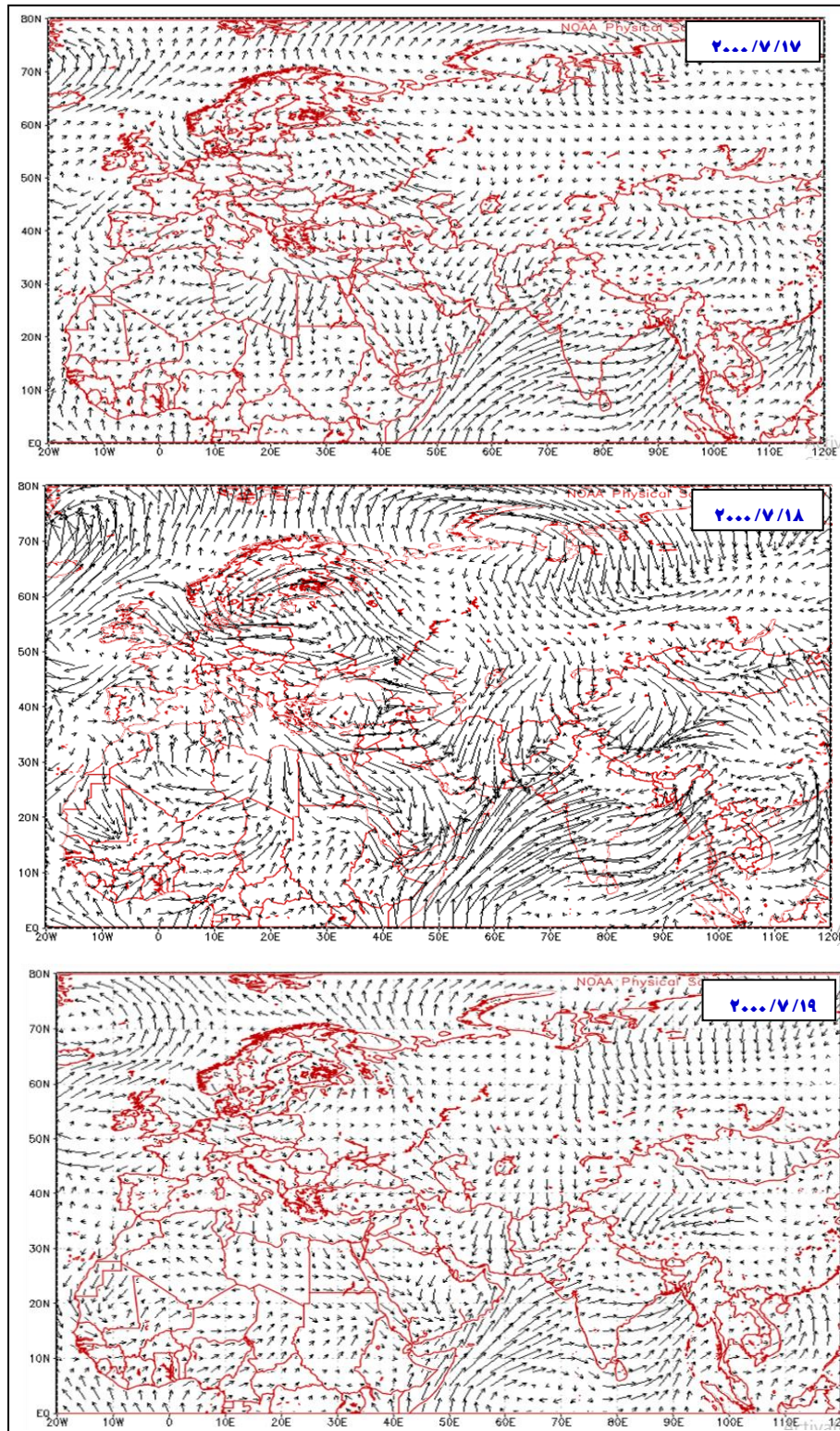


شکل ۹: نقشه مقادیر تاوایی و امگای تراز پانصد میلی‌بار در روز ۲۰۰۰/۷/۱۸
(مقادیر تاوایی با خطوط تراز و مقادیر امگا با رنگ مشخص شده‌است)



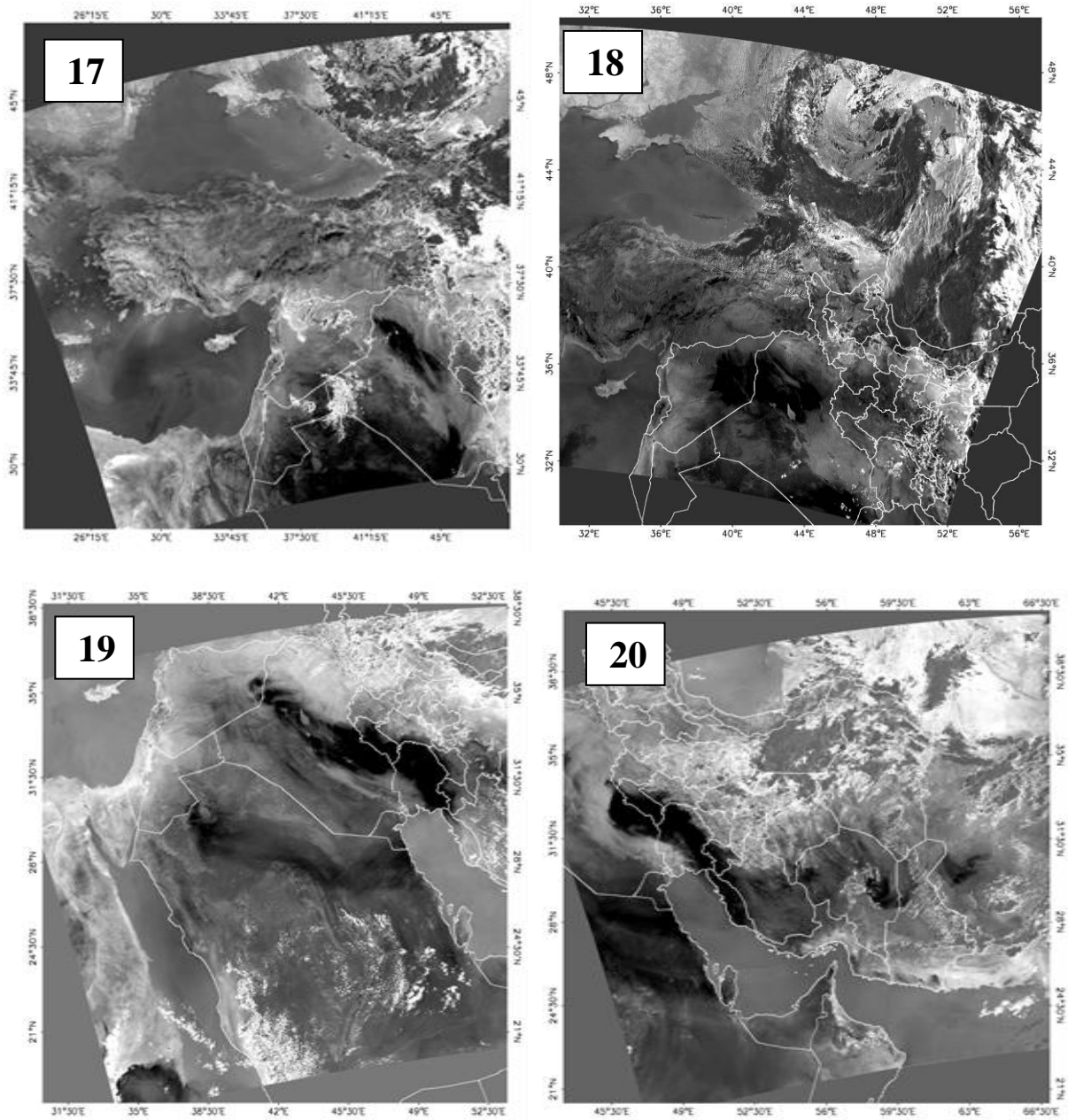
شکل ۱۰: نقشه مقادیر تاوایی و امگای تراز پانصد میلی‌بار در روز ۲۰۰۰/۷/۱۹
(مقادیر تاوایی با خطوط تراز و مقادیر امگا با رنگ مشخص شده‌است)

نقشه‌های باد تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال در روزهای ۱۷، ۱۸ و ۱۹ ژوئیه سال ۲۰۰۰ (شکل ۱۱) نیز نشان می‌دهد که وزش بادهای شمال‌شرقی ناشی از پرفشار خزری، از نفوذ جریان‌های غربی و جنوب غربی به کشور جلوگیری می‌کند و این امر سبب می‌شود گرد و غبار تنها در ایستگاه‌های مرزی کشور نفوذ کند (Zeinali, 2013).

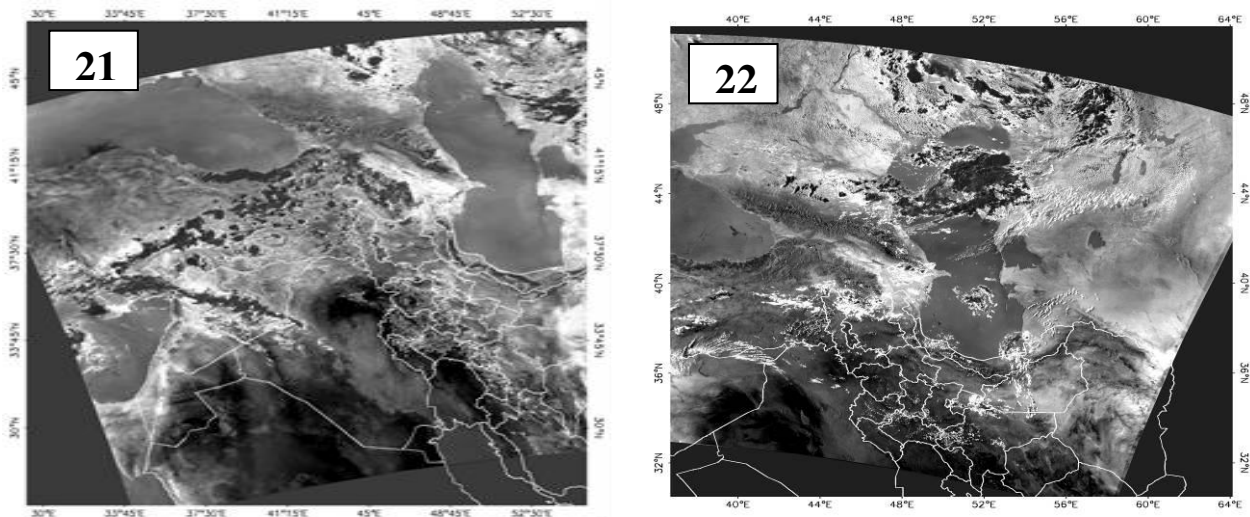


شکل ۱۱: نقشه بردار باد تراز ۱۰۰۰ در روزهای ۱۷، ۱۸ و ۱۹ ژوئیه ۲۰۰۰

شکل‌های ۱۲ و ۱۳، وضعیت گرد و غبار منطقه غرب ایران را در روزهای ۱۸ تا ۲۱ ژوئن ۲۰۱۲ نشان می‌دهد. در روز هیجده ژوئن ۲۰۱۲، شاهد خیزش گرد و غبار از عراق، عربستان و سوریه بودیم. در روز نوزده ژوئن ۲۰۱۲، موج گرد و غبار مذکور، بخش غربی کشور ایران را در بر گرفت و ایستگاه‌های مرزی کشور را متأثر ساخت. در این ایام، دید افقی در اکثر ایستگاه‌های مذکور به ۵۰۰-۰ متر رسید (شکل‌های ۱۲ و ۱۳).

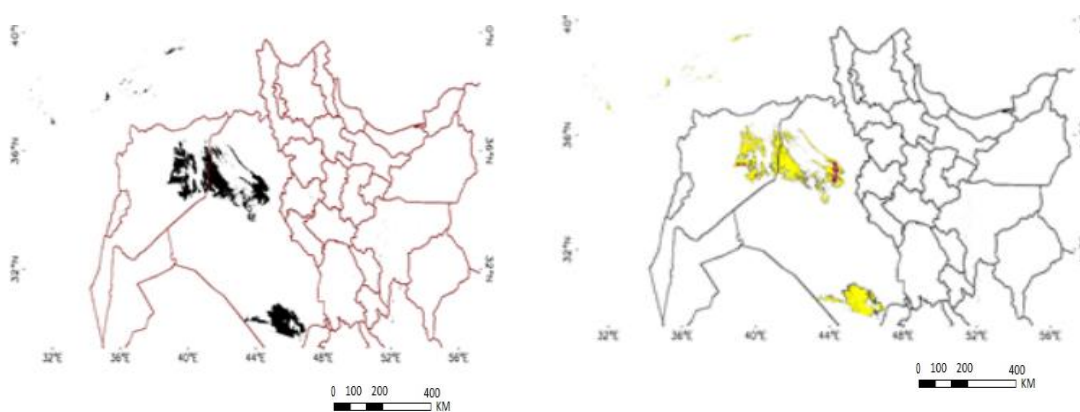


شکل ۱۲: وضعیت گرد و غبار منطقه غرب ایران در روزهای ۱۸ تا ۲۱ ژوئن ۲۰۱۲

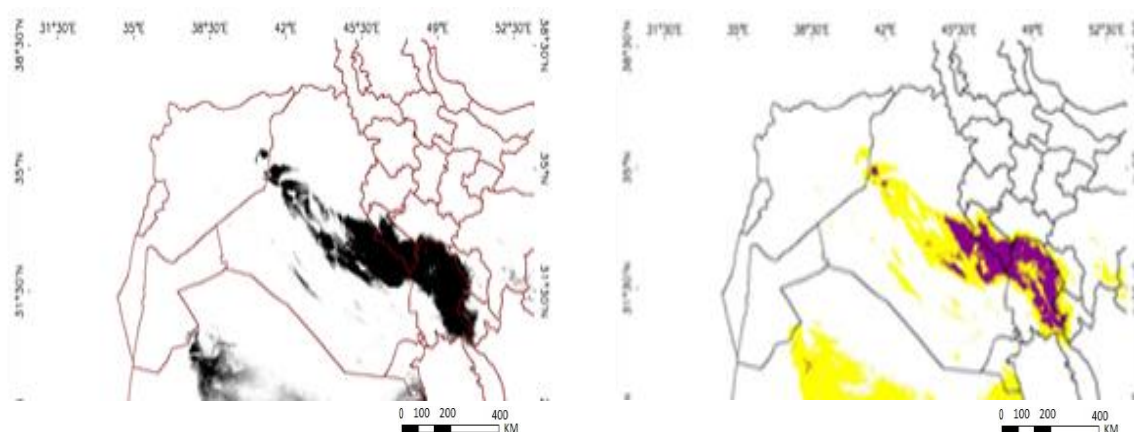


شکل ۱۳: وضعیت گرد و غبار منطقه غرب ایران در روزهای ۲۱ و ۲۲ ژوئن ۲۰۱۲

در شکل‌های ۱۴ و ۱۵، پیکسل‌های کمتر از صفر در خروجی شاخص BTD و نقشه‌های غلظت طوفان گرد و غباری روزهای هیجده و نوزده ژوئن ۲۰۱۲ (روزهای اوج طوفان) آورده شده‌است. این غلظت، با نرم‌افزار GIS و بر اساس خروجی حاصل از شاخص BTD به دست آمد. دامنه اعداد حاصل از شاخص BTD معیاری برای تشخیص غلظت گرد و غبار مورد مطالعه است. در این مطالعه، طوفان‌های گرد و غباری با قدرت دید کمتر از هزار متر بررسی شد. با توجه به محدودیت صفحات مقاله، از ارائه نقشه‌های روزهای ۱۷، ۲۰، ۲۱ و ۲۲ ژوئن ۲۰۱۲ صرف نظر شد. در روز هیجده ژوئن سال ۲۰۱۲، خیزش گرد و غبار در عراق، سوریه و عربستان آغاز شد و به سمت شرق حرکت کرد. در روز نوزده ژوئن، طوفان گرد و غبار به مرزهای ایران وارد شد و برخی از استان‌های غربی و جنوب غربی را درگیر کرد. به همین ترتیب، با توجه به نقشه‌های غلظت گرد و غبار می‌توان دریافت که غلظت این پدیده در روزهای نوزدهم ژوئن بسیار چشم‌گیر بود (شکل‌های ۱۴ و ۱۵).



شکل ۱۴: نقشه $BTD < -1/2$ (شکل چپ) و غلظت (شکل راست) گرد و غبار هیجده ژوئن ۲۰۱۲ غرب ایران



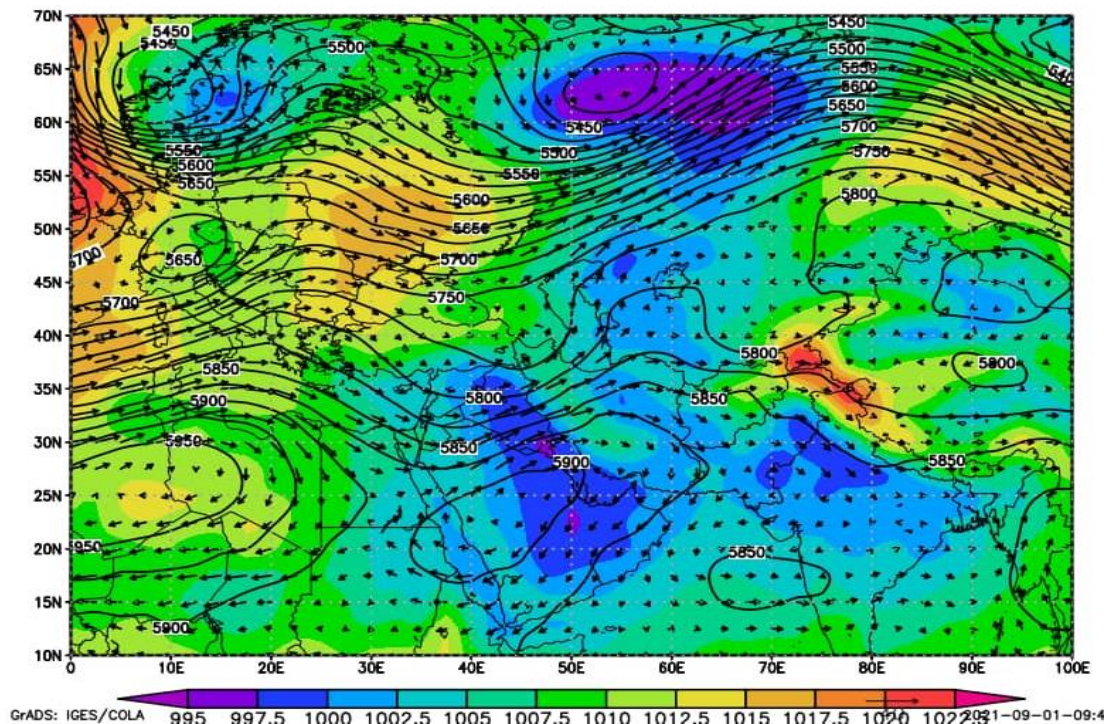
شکل ۱۵: نقشه $1/2$ - BTD (شکل چپ) و غلظت (شکل راست) گرد و غبار نوزده ژوئن ۲۰۱۲ غرب ایران

بررسی نقشه‌های سطوح فوقانی جو (شکل ۱۶) برای تحلیل همدیدی پدیده گرد و غبار در روزهای هیجده و نوزده ژوئن ۲۰۱۲، بیانگر نفوذ زبانه‌های کم‌فشاری بود که در روز هیجدهم ژوئن سال ۲۰۱۲ به کشور وارد شد و زبانه‌های ۹۹۹ تا ۱۰۱۱ آن، غالب مناطق کشور به‌خصوص نواحی غربی را فرا گرفت. از طرفی، در این روز شاهد گسترش زبانه‌های پرفشار مستقر در شرق اروپا بودیم که زبانه‌های جنوب‌شرق سوی آن تا مرزهای ایران گسترش یافت. چرخش پادساعتگرد زبانه‌های سامانه کم‌فشار گسترش‌یافته بر نواحی غربی ایران، به مکش هوا از روی عراق، سوریه و عربستان به این نواحی منجر شد. همین شرایط در روز نوزده ژوئن سال ۲۰۱۲ نیز تکرار شد؛ با این تفاوت که مرکز کم‌فشار مذکور بر روی خلیج فارس، دریای عمان و نواحی شرقی عراق استقرار یافت. طبیعتاً حرکت پادساعتگرد سامانه مذکور، به انتقال ریزگردها در سطح زمین و سطوح میانی اتمسفر به منطقه مورد مطالعه منجر شد.

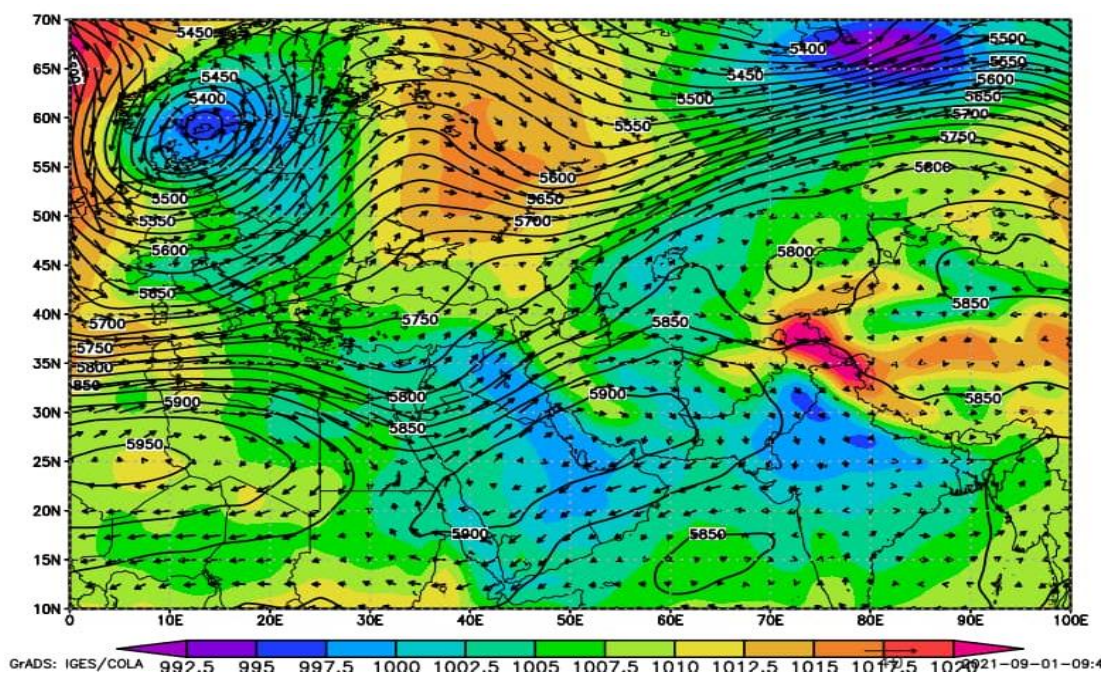
همچنین در تراز ۵۰۰ میلی‌بار، بلوکینگ حلقه آتش در روز هیجده ژوئن سال ۲۰۱۲ با ارتفاع مرکزی ۵۹۰۰ ژئوپتانسیل متر در مرکز عربستان و بخش‌هایی از دریای سرخ شکل گرفت که دنباله پرفشار جنب‌حاره آזור بود. ارتفاع تراز ۵۰۰ میلی‌بار در اغلب مناطق ایران در این روز بین ۵۸۰۰ تا ۵۹۰۰ متر بود که سلطه زبانه پر ارتفاع جنب‌حاره‌ای آזור را در این مناطق نشان می‌دهد. آرایش موج بادهای غربی و فرود شکل‌گرفته در روی دریای مدیترانه و دریای سرخ در این روز، حاکی از انتقال هوای گرم و خشک از بیابان‌های عراق، سوریه و عربستان در این تراز به محدوده مورد مطالعه است. همان‌گونه که در تصاویر ماهواره مودیس (شکل‌های ۱۲ و ۱۳) نیز دیده می‌شود همگرایی هوا در لایه‌های پایین، زمینه انتقال گرد و غبار را از روی عربستان، عراق و شمال آفریقا به نوار غربی ایران فراهم کرد. در روز نوزده ژوئن سال ۲۰۱۲ (شکل ۱۷)، شرایط حاکم در روز قبل همچنان وجود داشت؛ با این تفاوت که مرکز پر ارتفاع جنب‌حاره (بلوکینگ حلقه آتش) تا نواحی مرکزی ایران پیشروی کرد و نیمه جنوبی این منطقه را فرا گرفت. در این روز، جهت بادهای تبعیت از شکل موج همانند روز قبل، غربی و جنوب غربی بود و انتقال ریزگردها از کشورهای مذکور در این روز هم ادامه داشت.

در ادامه نتایج نشان داد که مقادیر تاوایی و امگا در تراز ۵۰۰ میلی‌بار در روزهای هیجده و نوزده ژوئن سال ۲۰۱۲ (شکل‌های ۱۸ و ۱۹) الگوی تقریباً یکسانی داشت؛ چراکه آرایش موج بادهای غربی در این روز نسبتاً ثابت بود (شکل‌های ۱۶ و ۱۷). در هر دو روز، مقادیر چرخندگی در محدوده مورد مطالعه مثبت گزارش شد و مقادیر امگا، منفی.

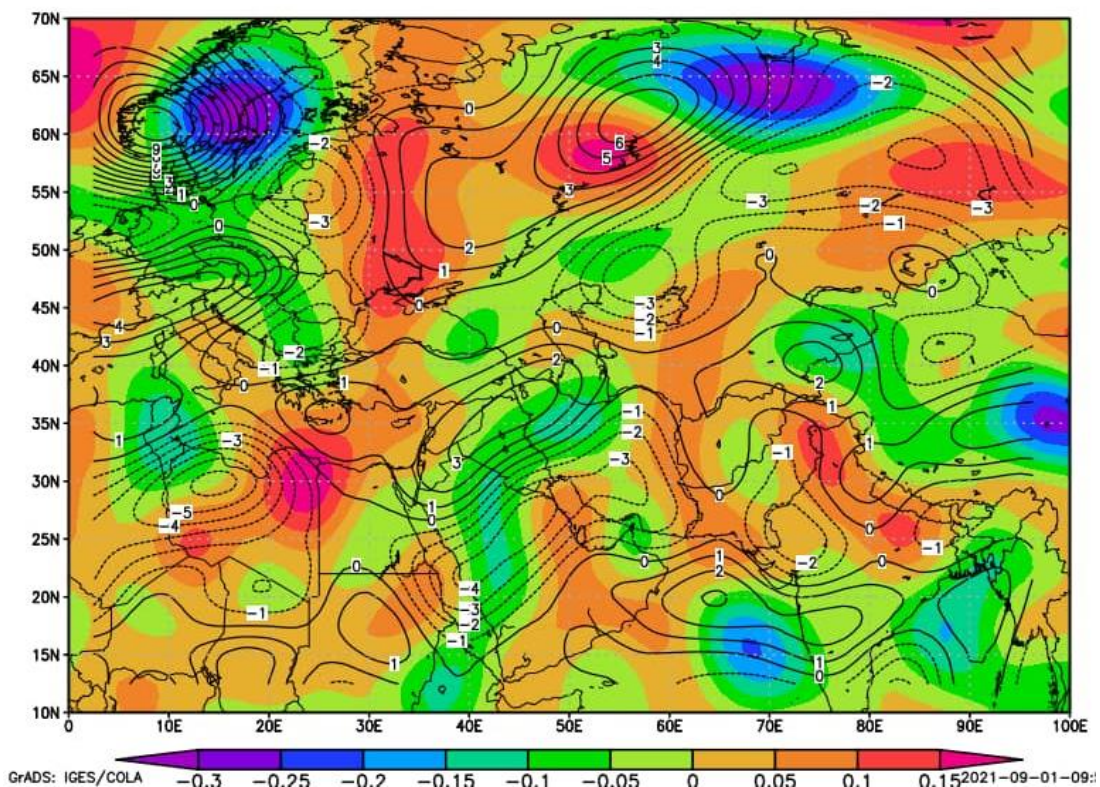
این شرایط حاکی از جو ناپایدار در تراز ۵۰۰ میلی‌بار بود که به خیزش گرد و غبار در این دو روز در محدوده مورد مطالعه منجر شد.



شکل ۱۶: نقشه فشار سطح زمین، ارتفاع ژئوپتانسیل و بردار باد تراز ۵۰۰ میلی‌بار در روز ۲۰۱۲/۶/۱۸ (بردار باد با فلش، فشار سطح زمین با رنگ و ارتفاع ژئوپتانسیل با خطوط تراز مشخص شده‌است)

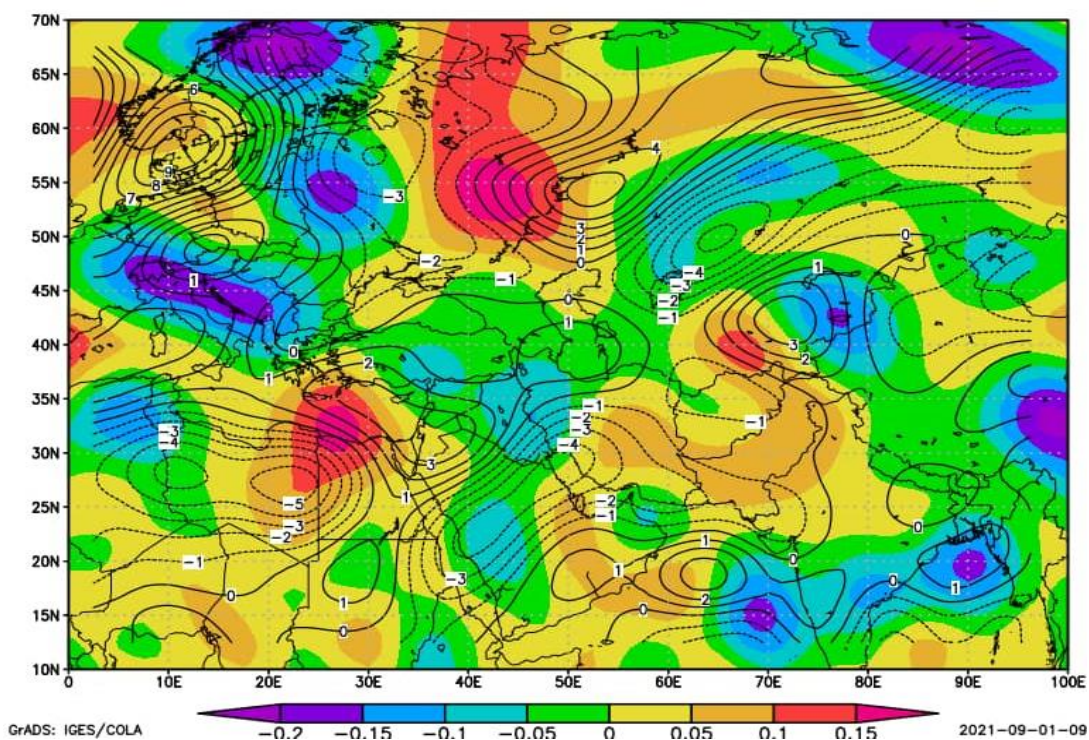


شکل ۱۷: نقشه فشار سطح زمین، ارتفاع ژئوپتانسیل و بردار باد تراز ۵۰۰ میلی‌بار در روز ۲۰۱۲/۶/۱۹ (بردار باد با فلش، فشار سطح زمین با رنگ و ارتفاع ژئوپتانسیل با خطوط تراز مشخص شده‌است)



شکل ۱۸: نقشه مقادیر تاوایی و امگای تراز ۵۰۰ میلی‌بار در روز ۲۰۱۲/۶/۱۸

(مقادیر تاوایی با خطوط تراز و مقادیر امگا با رنگ مشخص شده‌است)



شکل ۱۹: نقشه مقادیر تاوایی و امگای تراز ۵۰۰ میلی‌بار در روز ۲۰۱۲/۶/۱۹

(مقادیر تاوایی با خطوط تراز و مقادیر امگا با رنگ مشخص شده‌است)

۵- بحث و نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که در منطقه مورد بررسی، کدهای گرد و غباری ۶ و ۷ (گرد و غبار در آسمان و طوفان ماسه یا گرد و خاک)، بیشترین تکرار را در بین سایر کدهای گرد و غبار (کدهای ۸، ۹ و ۳۰ تا ۳۴) داشت که این نتیجه با نتایج کار فرج‌زاده اصل و علیزاده (۱۳۹۰) همخوانی دارد. بررسی‌ها همچنین نشان داد که ماه‌های ژوئن، ژوئیه، آوریل و می بیشترین روزهای گرد و غبار را در ایستگاه‌های مورد مطالعه داشت و وقوع گرد و غبار از ساعات اولیه شب به سمت ظهر، روند افزایشی یافت. نوسانات سالانه و روند خطی وقوع طوفان گرد و غبار در ایستگاه‌های مورد مطالعه نیز نشان داد که فراوانی وقوع روزهای دارای گرد و غبار در سال‌های مختلف آماری روند افزایشی داشت. نتایج همچنین نشان داد که ارزش‌های عددی به دست آمده از شاخص *BTD* (حاصل از تفاضل باند ۳۱ از باند ۳۲) منفی بود؛ این امر به دلیل بالا بودن دمای پدیده گرد و غبار در باند ۳۲ نسبت به باند ۳۱ این سنجنده بود.

پیکسل‌های کمتر از ۱/۲- در خروجی شاخص *BTD* و نقشه‌های غلظت طوفان گرد و غباری در روزهای هفده و هیجده ژوئیه ۲۰۰۰ (اوج طوفان گرد و غبار) نشان داد که خیزش گرد و غبار از عراق و عربستان نسبت به روزهای قبل تشدید شد و دامنه آن به بخش‌های غربی ایران رسید؛ به گونه‌ای که در ایستگاه‌های واقع در استان‌های کرمانشاه، ایلام، خوزستان، کهگیلویه و بویر احمد و بوشهر، دید افقی به ۱۰۰ تا ۸۰۰ متر رسید. در روز نوزده ژوئیه ۲۰۰۰، دید افقی در اغلب ایستگاه‌های مورد بررسی بین ۵۰۰-۱۰۰ متر بود. تصاویر مودیس برای روزهای ۱۸، ۱۹ و ۲۰ ژوئن ۲۰۱۲ نشان داد که خیزش گرد و غبار در روی عراق و شرق سوریه تشدید شد و بیابان‌های شمال عربستان نیز در تشدید گرد و غبار غرب ایران مؤثر بود. در روز نوزده ژوئن سال ۲۰۱۲ (اوج طوفان گرد و غبار)، گسترش این موج گرد و غباری قدرت دید افقی را در اغلب ایستگاه‌های بخش غربی کشور به ۵۰۰-۰ متر رساند.

نتایج همچنین نشان داد که طوفان‌های گرد و غباری غرب ایران فرامحلی است و از کشورهای عراق، شرق سوریه و عربستان منشأ گرفته است که این یافته با نتایج پژوهش‌های *Qavami* و همکاران (2013) همسو است. نتایج نشان داد که در تراز سطح دریا، مهم‌ترین علت بروز گرد و غبار غرب و شمال غرب ایران، وجود مرکز کم‌فشار بر روی عربستان و عراق است. این کم‌فشارها، شرایط مناسبی را برای صعود حجم عظیمی از گرد و غبار به هوا فراهم می‌کنند. این یافته با نتایج پژوهش *Omidvar and Sepandar* (2018) که منابع عمده گرد و غبارهای وارد شده به استان کرمانشاه را بیابان‌های شمال عربستان، جنوب و غرب عراق و شمال صحرای آفریقا معرفی می‌کند، همسو است. همچنین با نتایج مطالعه *Mehta and Kunte* (۲۰۱۴) که به نقش بیابان عربستان در بروز طوفان‌های گرد و غباری منطقه دریای عرب معتقد است و با پژوهش *Raispour* (2018) که بیابان‌های شمال عربستان، شرق و جنوب سوریه و غرب و جنوب عراق را عامل اصلی انتقال گرد و غبار به جنوب غرب ایران می‌داند.

از نظر سینوپتیک، در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، مهم‌ترین عامل ایجاد گرد و غبار در غرب و شمال غرب ایران، حاکمیت زبانه پرفشار جنب‌حاره آזור و قرارگیری منطقه در زیر آن بود. این یافته با کار *Khoshakhlagh* و همکاران (2012) که در علت‌یابی رخداد گرد و غبار بهاره غرب ایران، به وجود ناوه غربی و الگوی بندالی در تراز میانی جو و نیز ایجاد مرکز همگرایی سطحی، جبهه‌زایی و پرفشار جنب‌حاره در آن منطقه معتقد بودند، همسویی دارد. نتایج این تحقیق از نظر منشأیابی طوفان‌های گرد و غبار با نتایج مطالعات *Khoshhal Dastjerdi* و همکاران (2012)،

Zoulfaghri و همکاران (2011)، Zolfaghari and Abedzadeh (2005)، Azizi و همکاران (2012A)، Taei Semiromi و همکاران (2013) و Azizi و همکاران (2012B) و بسیاری از پژوهشگران داخلی و خارجی مطابقت دارد. همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که تکنیک سنجش از دور و بررسی همدید می‌تواند در پایش گرد و غبار نسبت به اندازه‌گیری‌های زمینی نقش عمده‌ای داشته باشد. نتایج تحلیل تصاویر ماهواره‌ای نیز نشان داد که سنجنده مودیس ماهواره‌های آکوا، ترا به دلیل قدرت تفکیک زمانی، مکانی و طیفی بالا قابلیت مناسبی در شناسایی و ردیابی گرد و غبار دارد. این یافته در پژوهش‌های Faten و همکاران (2012)، El-ossta و همکاران (2013) و Ajoudani و همکاران (2013) نیز به چشم می‌خورد.

منابع

1. Ajoudani, S.; Rengzen, k.; Duty's friend, M.; & A. Abdolkhani, 2013. Monitoring of dust storms using remote sensing in the western and southwestern regions of Iran, *Third National Conference on Wind Erosion and Dust Storms*, Yazd, 1-7. (in Persian)
2. Azizi, Gh.; Miri, M.; & S. A. Nabavi, 2012 B. Detection of dust phenomenon in the western half of Iran, *Geographical studies of arid regions*, 7(2), 63-81. (in Persian)
3. Azizi, Gh.; Shamsipour, A.; Mirry, V.; & T. Safarrad, 2012 A. Statistical-Synoptic Analysis of Dust Phenomenon in the Western Half of Iran, *Environmental Science*, 38(3), 123-134. (in Persian)
4. Chin, M.; Diehl, T.; Tan, Q.; Prospero, J. M.; Kahn, R. A.; & L. A. Remer, 2014. Multi-decadal aerosol variations from 1980 to 2009: A perspective from observations and a global model, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 14(7), 3657– 3690.
5. Dash, P.; Gotische, F. M.; Olesen, F. S.; & H. Fischer, 2001. Retrieval of Land Surface Temperature and Emissivity from Satellite Data: Physics. Theoretical Limitations and Current Methods, *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 29(1 & 2), 23-30.
6. Diravipour, M.; Mohammad Asgari, H.; Farhadi, S.; & A. Najafi, 2019. Detection of dust phenomenon in southwestern Iran using NDDI and BTM indices and neural network, *Geographical Information*, 111, 217-234. (in Persian)
7. El-ossta, E.; Qahwaji, R.; & S. S. Ipson, 2013. Detection of Dust Storms Using MODIS Reflective and Emissive Bands, *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 6(6), 2480 – 2485.
8. Fallah Ghalhori, GH.; Aliabadi, K.; & M. Moghiseh, 2017. Detection of dust storms in western and southwestern of Iran using remote sensing technology on July 1, 2008, *Geographical Studies of Arid Areas*, 8(30), 1-20. (in Persian)
9. Farajzadeh Asl, M., & Kh. Alizadeh., (2011). Temporal and spatial analysis of dust storms in Iran. *quarterly modarres human sciences*. 1, 65-84. (in Persian)
10. Faten, G. A.; Abed Alkareem, A. A.; & H. N Eshtar, 2012. The use of MODIS data to extract a dust storm product, *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences*, 9(2), 70-77.
11. Gao, Y.; Fan, S.; & J. L. Sariato, 2003. Aeolian ironinput to the ocean through precipitation scavenging: A modeling perspective and its implications for natural iron fertilization in the ocean, *J. Geophys. Res*, 108(7), 4221-4232.
12. Ginoux, P.; Prospero, J. M.; Gill, T. E.; Hsu, N. C.; & M. Zhao, 2012. Global-scale attribution of anthropogenic and natural dust sources and their emission rates based on MODIS deep blue aerosol products, *Reviews of Geophysics*, 50, RG3005. <https://doi.org/10.1029/2012RG000388>.

13. Jahanbakhsh, S.; Valizadeh Kamran, Kh.; Zeinali, B.; & S. Asghari, 2015. Detection and Monitoring of Inclusive dust storm July 1, 2008 Iran Using NOAA/AVHRR Sensor, *Geography and Environmental Planning*, 58, 176-263. (in Persian)
14. Jahanbakhsh, S.; Valizadeh Kamran, Kh.; Zeinali, B.; Khosravi, M.; & S. Asghari, 2014. Identification and Detection of 1 July 2008 Dust Storm with MODIS, *Journal of Geographic Space*, 46, 31-51. (in Persian)
15. Karimi, Kh.; Taheri Shahraeini, H.; Habibi Nokhandan, M.; & N. Hafezi Moqaddas, 2011. Identifying the origins of dust storm production in the Middle East using remote sensing, *Climatological Research*, 2(7-8), 57-72. (in Persian)
16. Khan, A.; Trautmann, T.; Blaschke, T.; & S. Fazli, 2014. Changes in aerosol optical properties due to duststorms in the Middle East and Southwest Asia, *Remote Sens Environ*, 143, 216-227.
17. Khoshakhlagh, F.; Najafi, M.; & M. Samadi, 2012. Synoptic analysis of the occurrence of spring dust in west of Iran, *Natural Geography Research*, 44(2), 99-124. (in Persian)
18. Khoshhal Dastjerdi, J.; Mousavi, S.; & A. Kashki, 2012. Synoptic analysis of dust storms in Ilam (2005-1987), *Journal of Geography and Environmental Planning*, 23(46), 15-34. (in Persian)
19. Matthew, C. B.; Bryant, R. G.; Miguel, D. A.; & E. Thomas, 2021. Understanding dust sources through remote sensing: Making a case for CubeSats, *Journal of Arid Environments*, 184, 104335. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2020.104335>.
20. Mehta, P.S. Kunte, P.D, (2014). Detection and monitoring of two dust storm events by multispectral modis images. *Journal of Environmental Research and Development*. 8(4), 974-982.
21. Mei, D.; Xiushan, L.; Lin, S.; & W. Ping, 2008. A Dust-Storm Process Dynamic Monitoring With Multi-Temporal MODIS Data, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXVII, Part B7, 965-970.
22. Mohammadimoradian, J., & S. R. Hosseinzadeh., (2015). Satellite Monitoring and Synoptic Analysis of Dust Phenomenon in Mashhad Metropolis during the Statistical Period 2013-2009. *Geography and Environmental Hazards*. 14, 35-57. (in Persian)
23. Omidvar, K., & N. Sepandar., (2018). Synoptic analysis and satellite monitoring of dust phenomena in Kermanshah province in the period (1987 to 2010) Case study: Dust pervasive June 17 and 18, 2009. *Applied research in geographical sciences*. 18(49). 1-18. (in Persian)
24. Qavami, S. Amanullahi, J., & Sh. Kaboudvandpour., (2013). Identification of dust sources in the western half of Iran using MODIS images, *Second National Conference on Conservation and Environment*, 1-9. (in Persian)
25. Raispour, K., 2018. Analysis of events of dust using satellite monitoring and synoptic analysis in southwest Iran, *Quarterly journal of Environmental Erosion Research*, (29)1, 8, 74-93.
26. Rashki, A.; Kaskaoutis, D. G.; Francois, P.; Kosmopoulos, P. G.; & M. Legrand, 2015. Dust-storm dynamics over Sistan region, Iran: Seasonality, transport characteristics and affected areas, *Aeolian Research*, 16, 35-48.
27. Sarikhani, A.; Dehghani, M.; & A. Karimi-Jashni, 2021. A New Approach for Dust Storm Detection Using MODIS Data, *Iran J Sci Technol Trans Civ Eng*, 45, 963-969. <https://doi.org/10.1007/s40996-020-00508-4>.
28. Sehat Kashani, S.; Kamali, G.; Vazifeh Doost, M.; Ali Akbari Beidakhti, A.; & M. Fakhraeipour, 2014. Detection of dust occurrence in western and southwestern regions of Iran (September 2008), *Journal of Environmental Sciences*, 12(1), 95-102. (in Persian).
29. Sternberg, T., 2017. *Climate hazard crises in Asian societies and environments*, Abingdon: Taylor & Francis.

30. Taei Semiromi, S.; Moradi, H.; Khodagholi, M.; & M. Ahmadi Akhormeh, 2013. Recognition and study of factors affecting the dust phenomenon in west of Iran, *Quarterly Journal of Man and Environment*, 27, 1-10. (in Persian)
31. Taghavi, F.; Olad, A.; Safarrad, T.; & P. Irannejad, 2012. Dust exposure of western Iran using MODIS spectral properties, *15th Iranian Geophysical Conference*, 106-109.
32. Tamski, A.; Khorani, A.; Darvishi Blourani, A.; & A. Nohehagar, 2015. Monitoring and Predicting the Occurrence of Dust Storms Using Remote Sensing Data, Spatial Information System and Terrestrial Data Based on Vegetation Change and Climatic Elements (Case Study: South and Southeast of Iran), *Remote Sensing and GIS of Iran*, 4(7), 27-44. (in Persian)
33. Tavousi, T.; Saligheh, M.; & N. Safarzaei, 2012. Investigation of wind vector parameters and its role in dust storms in Sistan Iran, *Geography and environmental stability*, 2, 19-30. (in Persian)
34. Tsoar, H., & K. Pye., (1987). Dust transport and the question of desert loess formation. *Sedimentology*. 34, 139-153.
35. Xie, Y., 2004. Detection of smoke and dust aerosols using multi-sensor satellite remote sensing measurements, Master of Electronics, Nanjing Normal University, P. R. China, 1-136.
36. Yue, H.; Chunyang, H.; Yuanyuan, Z.; Qun, M.; & Z. Qiaofeng, 2017. The brightness temperature adjusted dust index: An improved approach to detect dust storms using MODIS imagery, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 57, 166-176.
37. Zeinali, B., 2013. Identification and monitoring of Iranian dust storms in Iran using modis and avhrr sensors, PhD Thesis in Climatology, University of Tabriz.
38. Zeinali, B., & S. Asghari., (2018). Evaluation of some indicators of dust identification and its monitoring (Case study: The hurricane August 10, 2008 in East of Iran). *Journal of Geography and Planning*. 22, 205-222. (in Persian)
39. Zolfaghari, H., & H. Abedzadeh., (2005). Synoptic analysis of dust systems in west of Iran. *Journal of Geography and Development*. 6(3), 173-188. (in Persian)
40. Zolfaghari, H.; Masoompoursamakoush, J.; Shaygan Mehr, Sh.; & M. Ahmadi, 2011. Synoptic study of dust storms in western regions of Iran from 2005 to 2009 (Case study: Inclusive wave of July 2009), *Journal of Geography and Environmental Planning*, 43, 17-34. (in Persian)
41. Zoulfaghri, H.; Masoompoursamakoush, J.; Shayganmehr, SH.; & M. Ahmadi, 2011. Synoptic study of dust storms in the western regions of Iran during the years 2005 to 2009 (Case study of the sweeping wave of July 2009), *Journal of Geography and Environmental Planning*, (22)43, 6, 17-34.

Synoptic and Satellite Analyses of Dust Storms in West and Northwest of Iran (Case Study: Dust Storms of July 15-20, 2000, and June 17-22, 2012)

Bromand_Salahi¹: Professor, Physical Geography Department, Faculty of Social Science, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

Mojtaba_Faridpour: Ph.D in Climatology, Physical Geography Department, Faculty of Social Science, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

Article History (Received: 2021/09/4

Accepted: 2022/03/12)



20.1001.1.22517812.1401.12.3.2.1

Extended abstract

1- Introduction

The Dust storm is one of the most important climatic phenomena of the present age in arid and semi-arid regions of the world. Due to its characteristics, this phenomenon can have various environmental and climatic effects in different atmospheric systems, oceans and continents. Dust storms play a very important role in the earth's atmospheric cycle, so that dust particles are one of the factors of atmospheric warming, as well as reducing air quality and affecting human health. Dust particles have direct effects on absorbing or scattering radiation waves, which results in a significant decrease in visibility. The west and the northwest of Iran are facing the dust storm phenomenon and its problems periodically.

2- Methodology

In this study, the frequency of dust phenomenon and its occurrence causes have been analyzed in the northwest and west of Iran, including Ardabil, East Azerbaijan, West Azerbaijan, Kurdistan, Zanzan, Hamedan, Kermanshah and Ilam provinces. At First, the occurrence of dust in the study area was investigated. To identify the source of the dust storm, dust storms of 15-20 July 2000 & 17-22 June 2012 (as case study) were described using MODIS satellite images. Modis sensor images were used to detect and monitor the dust storms. The reason for choosing these days for analysis was the high intensity and concentration of dust in those days in most of the stations. For the synoptic analysis of dust storms, re-analyzed data of sea level pressure, geopotential height, vector wind, vorticity, wind direction and omega at 500mb level were used. These data were obtained from National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) which was prepared by the National Center for Environmental Prediction (NECP). The maps were drawn and synoptically analyzed using Grads software.

3- Results

The results showed that the highest frequency of dust storm codes occurred in the studied stations was related to code 6, which indicated the presence of dust in the sky. In terms of monthly distribution, June, July, April, and May has the dustiest days in the studied area. The occurrence of dust had an increasing trend from the early hours of the night to noon. The frequency of dusty days in different years indicated an increasing trend from 2000 to 2018. The frequency of dusty days was higher in 2008 and 2012 compared with other years. The results also showed that the main sources of dust in the west and northwest of Iran are the desert areas of Iraq, the Arabian Peninsula, and the African Sahara. At sea level, the most important cause of dust storms in the west and northwest of Iran was the existence of a low-pressure center in Saudi Arabia and Iraq. In other words, dust storms in the west of Iran were transitional and have originated from the western neighbors of Iran (Iraq, east of Syria, and northern Saudi Arabia), where in the most severe event, the dust has spread to central Iran. At 500 mb level, the most important factor in creating dust storms in the west and northwest of Iran was the rule of the Azores sub-tropical high-pressure tongue and the location of the region below it. Due to the high pressure of the Azores on Iran, migratory cyclones and troughs due to lack of penetration into the region, had little effect

¹ Corresponding Author: salahi@uma.ac.ir

on the formation of instability and dust storms, which the main reason for this phenomenon should be found in surface pressure systems. The extreme warming of the earth's surface had caused the instability of the atmosphere of Iran in summer up to a height of 2-3 km above the earth's surface. The low-pressure thermal cell was stretched from Pakistan to the south of Iran, and from there to the deserts of Saudi Arabia, Iraq and Syria on all days under study. The Iran-Pakistan low-pressure system, which appeared as a focal point in the southeast of Iran, was a low-pressure, high-suction system that created dust storms in the region.

4- Discussion & Conclusions

The results of dust storms monitoring in northwest and west of Iran using satellite images showed that remote sensing techniques due to extensive and continuous coverage in space, monitoring natural disasters and also monitoring dust storms, intensity and dynamic tracking, can play a major role in dust monitoring. The results also showed that the Aqua and Terra satellites have a high capability in detecting and tracking dust storms due to their high temporal, spatial, and spectral resolution.

Key Words: Dust Storm, Satellite Images, Synoptic Analysis, West and northwest of Iran.