

نرخ فرونشست گرد و غبار اتمسفری و ارتباط آن با برخی از پارامترهای اقلیمی در استان خراسان رضوی

عاطفه ضیایی - دانشجوی دکتری علوم خاک، گروه مهندسی علوم خاک، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.
علیرضا کریمی کارویه^۱ - دانشیار علوم خاک، گروه مهندسی علوم خاک، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.
امیر لکزیان - استاد علوم خاک، گروه مهندسی علوم خاک، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.
حسین خادمی - استاد علوم خاک، گروه مهندسی علوم خاک، دانشگاه صنعتی اصفهان، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۵/۱ تاریخ تصویب: ۱۳۹۶/۱۰/۴

چکیده

ذرات معلق اتمسفری به عنوان نتیجه اصلی فرسایش بادی، اثرات بسیار مهمی بر محیط پیرامون خود دارند. هدف از این پژوهش، تعیین نرخ فرونشست گرد و غبار در استان خراسان رضوی و ارتباط آن با پارامترهای اقلیمی است. به این منظور تعداد ۵۰ ایستگاه در سطح استان انتخاب و طی ۱۲ ماه (مجموعاً ۶۰۰ نمونه)، توسط تله‌های شیشه‌ای نمونه‌های گرد و غبار به صورت ماهیانه جمع‌آوری شد. حداقل مقدار میانگین نرخ فرونشست مربوط به ماه آذر با میزان ۹/۹۷ گرم بر متر مربع و حداکثر آن در ماه خرداد با میانگین ۲۰/۹۶ مشاهده شد. دامنه مقدار فرونشست گرد و غبار در طول مدت نمونه‌برداری ۰/۳ تا ۱۵۰/۴۲ گرم بر متر مربع در ماه بود. شهرستان‌های گناباد و قوچان، به ترتیب، با متوسط ۳۱۳/۱۴ و ۷۴/۶۲ متر مربع بر گرم در سال بیشترین و کمترین میزان فرونشست گرد و غبار را در سال داشتند. بر اساس نقشه‌های پراکنش مکانی، بیشترین مقدار فرونشست در ماه‌های مربوط به فصول بهار و تابستان در غرب و جنوب با اقلیم خشک و فرا خشک بود و در قسمت‌های شمالی استان به دلیل رطوبت بیشتر و کوهستانی بودن کمتر بود. تحلیل نقشه‌های سینوپتیک اقلیمی طوفان، حاکی از شیب فشار حاصل از استقرار همزمان کم فشاری در مرزهای جنوبی کشور و مرکز پرفشار بر روی دریای خزر و ترکمنستان بوده که سبب وزش بادهای شدید و ایجاد طوفان‌های گرد و غبار در فصل بهار شده است. با تغییر جهت باد غالب از شرق و شمال‌شرق در ماه‌های خشک سال، به غرب و جنوب غرب در ماه‌های با بارش بیشتر، نرخ فرونشست ذرات معلق در اکثر مناطق به جز مناطق شرقی استان کاهش یافت. همچنین، نتایج نشان

داد که بین متوسط فرونشست گرد و غبار در ۱۲ دوره نمونه برداری رابطه مثبت و معنی داری با حداقل و حداکثر دما، سرعت باد و رابطه منفی با رطوبت نسبی در سطح ۵٪ وجود داشته است. بالا بودن سرعت باد و خشک تر بودن خاک و در نتیجه بالا بودن رخداد طوفان، در فصل بهار نسبت به سایر فصول باعث شده مقدار گرد و غبار بیشتری توسط باد و تا فواصل طولانی حمل شده باشد که می تواند به منابع محلی و برون مرزی مربوط باشد.

کلیدواژه‌ها: غبار اتمسفری، نرخ فرونشست غبار، پارامترهای اقلیمی، طوفان گرد و غبار.

۱- مقدمه

ذرات معلق اتمسفری، اجزای مهمی از چرخه های ژئوشیمیایی در سیستم زمین می باشند. تعیین منشأ ذرات معلق اتمسفری برای پیش بینی تأثیرات آن ها ضروری می باشد. در سال های اخیر، شناخت نقش مهم ذرات معلق در اقلیم جهانی و همچنین اثرات آن بر سلامت انسان، تلاش های گسترده ای را برای منشأ یابی این ذرات در پی داشته است (Wiggs et al., 2003; wang et al., 2015; Goudie & Midelton, 2006).

وجود بادهای با سرعت بیش از حد بحرانی، وجود منشأ مناسب برداشت ذرات، پوشش گیاهی کم و خشکی سطح خاک از شرایط اصلی ایجاد ذرات معلق اتمسفری هستند. زمانی که سرعت باد در بیابان ها از حد مشخصی بیشتر می شود (۸ متر بر ثانیه) و بسته به زبری سطح، رطوبت خاک، پوشش گیاهی، بافت خاک و پستی و بلندی های زمین، ذرات ریز، وارد جریان اتمسفری می شوند و ذرات معلق اتمسفری را ایجاد می نمایند (Engelstaedter & Xuan et al., 2004; Tagen, 2006).

یکی از مهم ترین ویژگی های غبار اتمسفری میزان فرونشست اتمسفری است. نرخ فرونشست به شدت و مدت حمل، سرعت باد، خشکی ذرات خاک، اندازه قطر ذرات و فاصله از منبع غبار بستگی دارد. در دهه اخیر، مطالعات گسترده ای درباره نرخ فرونشست ذرات معلق اتمسفری به منظور تشخیص منشأ، در مناطق خشک و نیمه خشک، انجام شده است. همچنین، به منظور اندازه گیری نرخ فرونشست، تحقیقات مشابهی در ایران و سایر کشورها، انجام شده است، که از آن جمله می توان به مطالعاتی در آسیای مرکزی اشاره نمود که با بررسی توزیع مکانی و زمانی نرخ فرونشست ذرات معلق اتمسفری در آسیای مرکزی، بین سال های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۰، بیشترین مقدار نرخ فرونشست را در ماه های ژوئن و فوریه گزارش دادند و برنامه مشاهداتی پیوسته ای را برای درک بهتر فرایند انتقال ذرات معلق و اثرات آن روی اراضی قابل کشت و سلامتی انسان، توصیه نمودند (Groll et al., 2013). فرونشست ذرات معلق، به وسیله عوامل زیادی از قبیل وضعیت هواشناسی فصلی، تأثیر می پذیرد (Wang et al., 2006) (Marx et al (2014) بالاترین نرخ فرونشست را در تابستان به سبب فراوانی بادهایی که مناسب انتقال ذرات معلق می باشند و همچنین کاهش بارندگی، گزارش نمودند. (Hojati et al (2012) با بررسی خصوصیات ذرات معلق در یک برش اقلیمی -

ارتفاعی از جندق تا کوه‌رنگ، نرخ ترسیب ذرات معلق اتمسفری را در طول برش مورد مطالعه، متأثر از دو عامل ارتفاع و اقلیم دانستند. آن‌ها همچنین فاصله از منبع تولید ذرات معلق و اختلاف بین منابع محلی و برون مرزی تولید ذرات معلق را به‌عنوان عوامل اثرگذار بر روی نرخ فرونشست و سایر خصوصیات ذرات معلق اتمسفری، معرفی نمودند. همچنین، می‌توان به مطالعات محمودی و همکاران (۱۳۹۰) و نوروزی و همکاران (۱۳۹۴) در شهر اصفهان و جعفری و همکاران (۱۳۹۲) در شهر کرمان اشاره نمود که ارتباط نرخ فرونشست ذرات معلق اتمسفری را با پارامترهای اقلیمی مورد بررسی قرار دادند.

Rashki et al (2012) طی مطالعه ذرات معلق اتمسفری منطقه سیستان، در دو مکان، در نزدیکی دریاچه هامون، در طول دوره آگوست ۲۰۰۹ تا جولای ۲۰۱۲، گزارش نمودند که مقدار ذرات معلق منتقل شده، وابستگی زیادی به زمان وقوع، سرعت باد و فاصله از منطقه منشأ، دارند. همچنین، مطالعات انجام شده حاکی از رخداد بیشتر طوفان‌های گرد و غبار در فصول بهار و تابستان و فراوانی کمتر در فصول پاییز و زمستان بوده که از آن جمله می‌توان به مطالعات (Hamidi et al (2013) ; Rezazadeh (2013)، بروغنی و همکاران (۱۳۹۵) و میری ممرآبادی (۱۳۹۵) اشاره کرد.

استان خراسان رضوی با اقلیم خشک و نیمه‌خشک و وجود رسوبات سخت نشده دوران سوم و چهارم و وجود پلایاهای متعدد، مستعد طوفان‌های گرد و غبار است. با این حال، اطلاعاتی از گرد و غبار در این استان وجود ندارد. هدف از این مطالعه، اندازه‌گیری نرخ فرونشست ماهانه و ارتباط آن با پارامترهای اقلیمی در استان خراسان رضوی بود.

۲- مواد و روش

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

ناحیه مورد مطالعه، استان خراسان رضوی می‌باشد. این استان در طول شرقی ۱۲° ۵۶ تا ۳۰° ۶۱ و عرض شمالی ۳۰° ۳۳ تا ۴۲° ۳۷ واقع شده که از شمال و شمال‌شرق به کشور ترکمنستان، از شرق به کشور افغانستان، از جنوب و جنوب‌شرق به استان خراسان جنوبی، از غرب به استان‌های یزد و سمنان و از شمال غرب به استان خراسان شمالی محدود می‌باشد (شکل ۱). ارتفاع این استان از ۳۲۱۱ متر در ارتفاعات بینالود شمال شهرستان نیشابور تا ۲۳۵ متر در دشت سرخس متغیر است.

۲-۲- نمونه‌برداری و آنالیز داده‌ها

در این پژوهش، به منظور جمع‌آوری و اندازه‌گیری گرد و غبار، از تله رسوب‌گیر پیشنهادی توسط Menendez et al (2007) که قبلاً توسط Hojati et al (2012) استفاده شده بود، برای جمع‌آوری ذرات معلق، استفاده شد. این تله،

یک صفحه شیشه‌ای یک متر مربعی است که یک مش پلاستیکی با منافذ 2×2 میلی‌متر به وسیله پیچ بر روی صفحه به منظور به دام انداختن ذرات معلق روی آن قرار گرفت. در فصول با بارندگی زیاد جهت جلوگیری از شستشوی ذرات فرونشسته روی شیشه، لبه شیشه‌ای به ارتفاع ۱۰ میلی‌متر دور شیشه چسبانده شد.

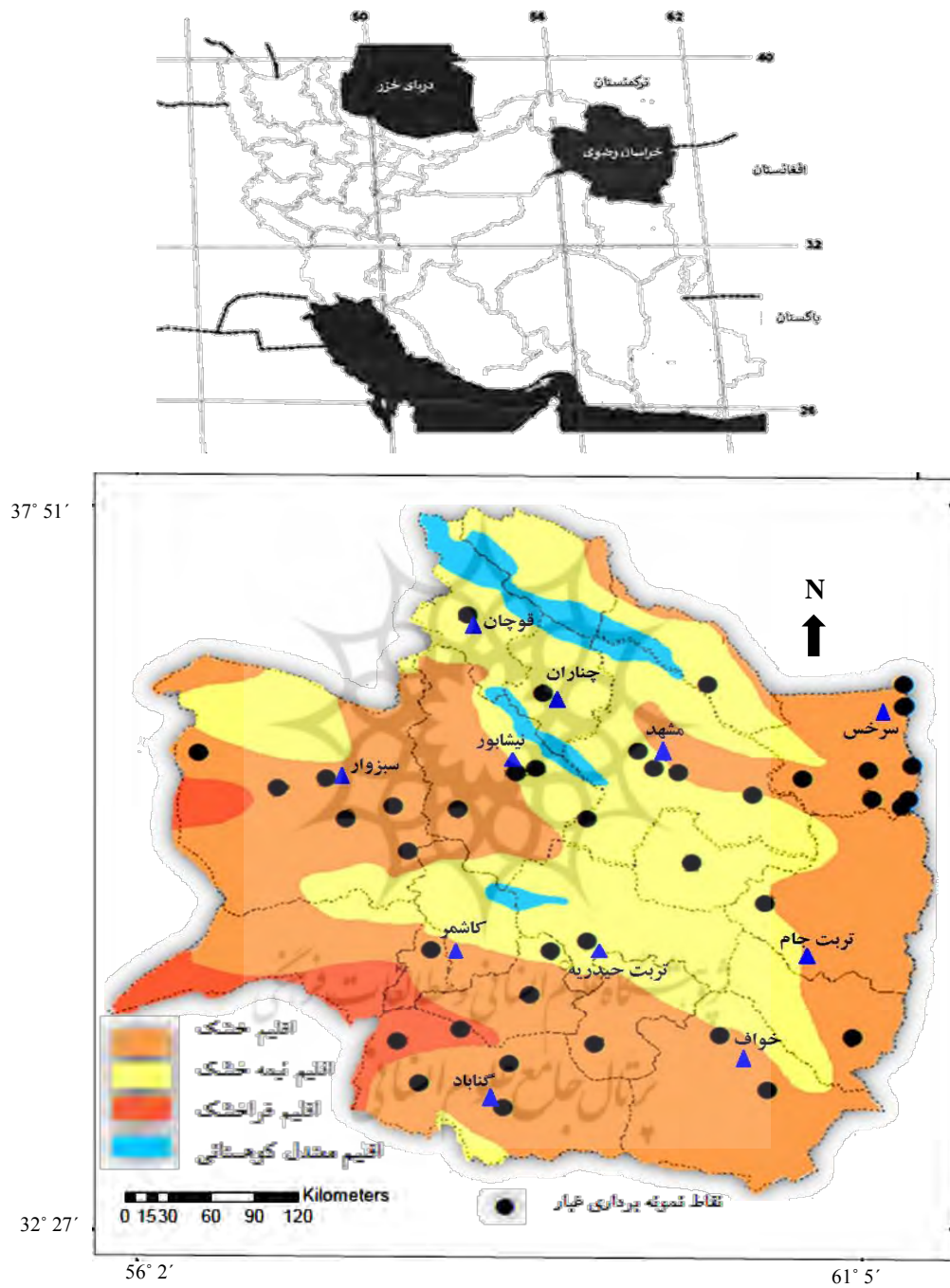
با توجه به تغییرات زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، جهت‌گیری ارتفاعات و جهت بادهای غالب در منطقه، ۵۰ نقطه انتخاب و تله‌ها بر روی پشت بام ساختمان‌های یک طبقه که دارای ارتفاع حدوداً ۳ متر از سطح زمین بودند، نصب گردید. به منظور بررسی توزیع زمانی تغییرات خصوصیات گرد و غبار، نمونه‌برداری به صورت ماهانه از اردیبهشت ۱۳۹۳ تا فروردین ۱۳۹۴ انجام شد. ذرات رسوب کرده بر روی تله‌ها در فواصل زمانی مشخص با استفاده از کاردک جمع‌آوری، و پس از برداشت نمونه‌ها درون ظروف دربسته، به آزمایشگاه انتقال یافت. پس از جمع‌آوری، نمونه‌ها توزین شدند و نرخ فرونشست ذرات بر اساس واحد جرم ذرات بر سطح تله در طول دوره نمونه‌برداری محاسبه شد. داده‌های اقلیمی شامل دما، بارش، سمت و سرعت باد در طول نمونه‌برداری در مناطق مورد مطالعه از سازمان هواشناسی استان خراسان رضوی دریافت گردید.

جهت توصیف نتایج و به دست آوردن خلاصه‌ای از اطلاعات آماری، از نرم افزار SPSS 16 و برای تعیین همبستگی بین ویژگی‌های دارای توزیع طبیعی، از ضریب پیرسون استفاده شد. برای پهنه‌بندی میزان فرونشست از روش کریجینگ استفاده شد. روش میانابایی معکوس فاصله^۱ (IDW) در این پژوهش با نرم افزار Surfer 14 صورت گرفت. همچنین با دریافت داده‌های خام از مرکز بین‌المللی هواشناسی NOAA، ترسیم الگوی سرعت و جهت باد ماهیانه در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال و نقشه‌های ایزوبار، با استفاده از نرم افزار Grads انجام شد.

۳-۲- ویژگی‌های اقلیمی دوره نمونه‌برداری

خراسان به سه منطقه آب و هوایی در شمال، مرکز و جنوب تقسیم می‌شود (شکل ۱). شمال استان به‌طور کلی دارای شرایط آب و هوایی معتدل و سرد کوهستانی است و شامل شهرستان‌های قوچان، مشهد، درگز و چناران می‌باشد. منطقه مرکزی استان شامل شهرستان‌های سبزوار، نیشابور، تربت حیدریه، کاشمر، تربت جام، تایباد و خواف است.

1 Inverse distance weighting



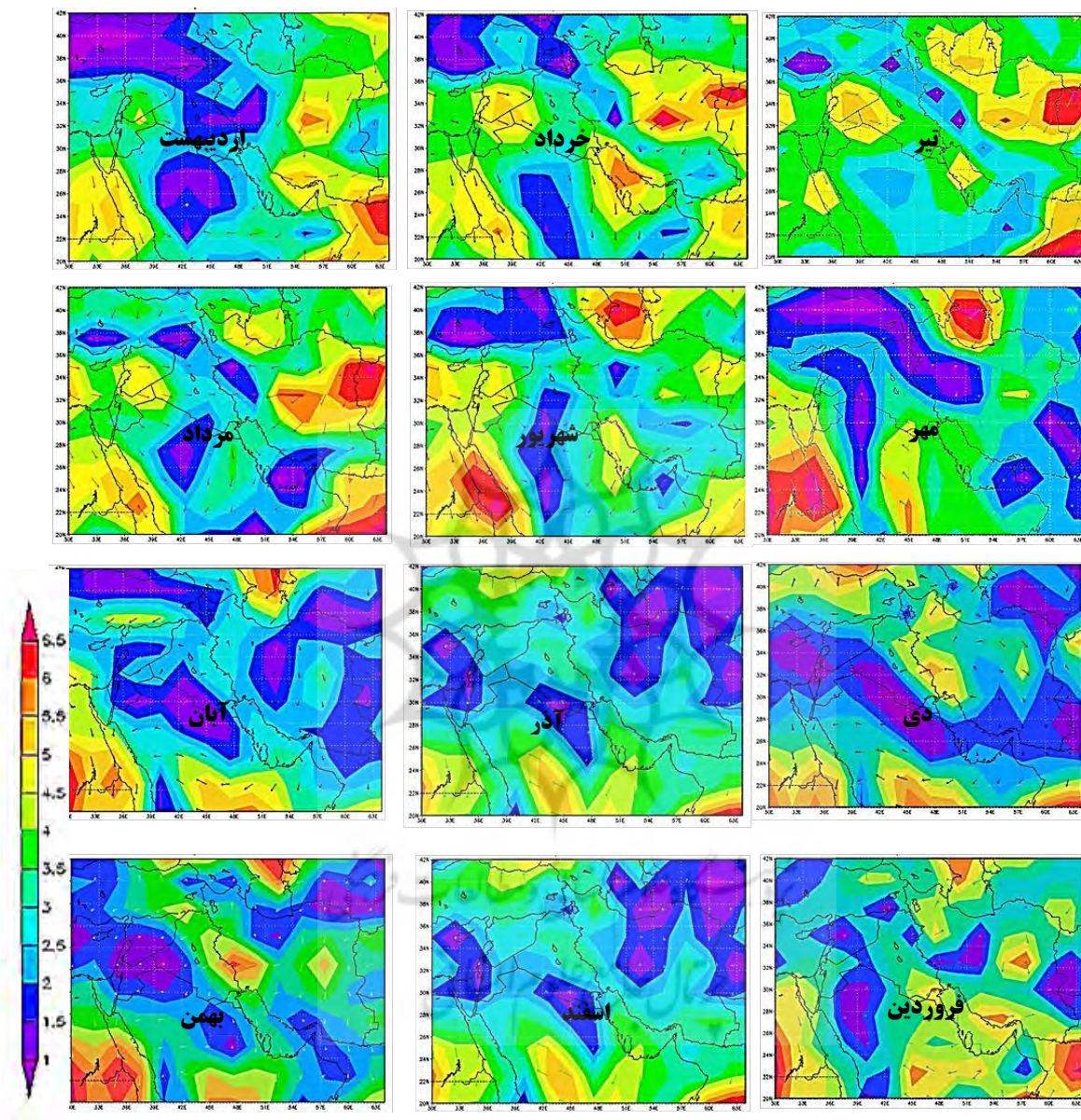
شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و پراکنش نواحی اقلیمی بر اساس طبقه بندی اقلیمی دومارتین گسترش یافته و نقاط نمونه برداری در استان خراسان رضوی

جدول ۱- آمار عناصر اقلیمی ایستگاه‌های سینوپتیک هواشناسی خراسان رضوی

شهر	ارتفاع (m)	میانگین بارندگی سالانه (mm)	میانگین دمای سالانه (°C)	تعداد روزهای گرد و غبار	ماه‌های رخداد گرد و غبار	حداکثر سرعت باد (کیلومتر در ساعت)
مشهد	۹۸۹	۲۵۳/۵	۱۶/۳	۱۳	فروردین، شهریور، خرداد، مهر	۱۹
سبزوار	۹۷۲	۱۹۰/۸	۱۸/۹	۲۴	اردیبهشت، خرداد، تیر، مرداد، شهریور	۲۵
ترت حیدریه	۱۴۵۰	۲۶۸/۲	۱۵/۰	۳۰	فروردین، اردیبهشت، خرداد، تیر، شهریور، مهر	۲۵
سرخس	۲۸۸	۱۸۴/۸	۱۸/۹	۵۰	اردیبهشت، خرداد، تیر، شهریور، مهر، دی	۲۳
قوچان	۱۳۰۶	۳۰۶/۳	۱۲/۷	-	-	۱۶
کاشمر	۱۰۵۵	۱۹۷/۶	۱۸/۵	۱۲	فروردین، اردیبهشت، خرداد، تیر، مهر	۱۵
گناباد	۱۰۷۳	۱۴۰/۵	۱۸/۲	۴۸	فروردین، اردیبهشت، خرداد، تیر، شهریور، مهر	۱۹
نیشابور	۱۲۳۰	۲۳۶/۷	۱۵/۰	-	-	۲۵
ترت جام	۹۵۴	۱۷۰/۲	۱۶/۶	۳۰	فروردین، اردیبهشت، خرداد، تیر، مرداد، شهریور، مهر	۲۱
خواف	۹۹۸	۱۱۱/۵	۱۸/۵	۳۰	فروردین، اردیبهشت، خرداد، تیر، مرداد، شهریور، مهر	۲۳
فریمان	۱۴۶۲	۲۰۳/۷	۱۲/۷	۸	فروردین، اردیبهشت، خرداد، تیر، شهریور، مهر	۱۶

این منطقه شامل دشت‌های وسیع دامنه‌های جنوبی بینالود تا کویر نمک و مناطق کویری مرز افغانستان و از نظر آب و هوایی جزو مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شوند. جنوب استان دارای آب و هوای خشک و نیمه‌صحرائی است. این منطقه از شهرستان‌های گناباد و بجستان تشکیل شده است (سازمان هواشناسی کشور، ۱۳۸۹). اطلاعات اقلیمی ایستگاه‌های سینوپتیک استان خراسان رضوی و ویژگی‌های تعداد روزهای با گرد و غبار، ماه‌های دارای گرد و غبار و حداکثر سرعت باد، در جدول ۱ و الگوی سرعت و جهت وزش باد در سطح ایران در طی ۱۲ ماه در ایران و کشورهای همسایه در شکل ۲ نشان داده شده است. مطابق این شکل‌ها در ماه‌های اردیبهشت تا مهر باد غالب منطقه از شرق و شمال شرقی و در ماه‌های آبان تا فروردین شاهد تغییر جهت باد منطقه از غرب و شمال

غربی می‌باشیم. همچنین، برخی از پارامترهای اقلیمی در ماه‌های دوره نمونه‌برداری در استان جدول ۲ آورده شده است.



شکل ۲- الگوی متوسط سرعت و جهت باد ماهیانه ایران در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال در طول دوره نمونه

برداری (<http://www.esrl.noaa.gov>)

جدول ۲- میانگین برخی خصوصیات جوی طی ماه‌های نمونه‌برداری در ایستگاه‌های استان خراسان رضوی

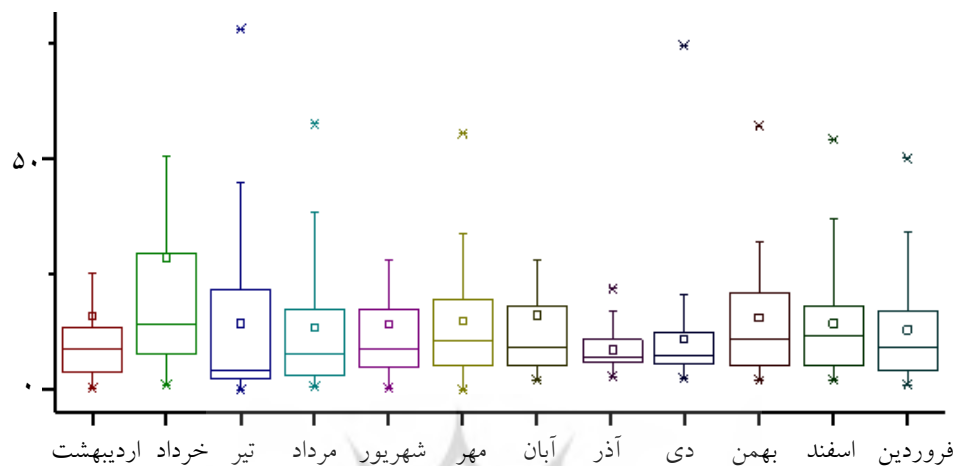
سال	ماه نمونه‌برداری	دمای حداکثر (°C)	دمای حداقل (°C)	رطوبت نسبی (%)	حداکثر سرعت باد (km h ⁻¹)
۱۳۹۳	خرداد	۱۸/۶۰	۳۳/۶۴	۲۱/۶۷	۱۹/۵۰
۱۳۹۳	تیر	۲۱/۳۲	۳۶/۳۰	۱۶/۸۳	۱۴/۳۰
۱۳۹۳	مرداد	۱۸/۸۳	۳۵/۴۲	۱۷/۵۹	۱۴/۲۷
۱۳۹۳	شهریور	۱۵/۸۰	۳۲/۸۶	۲۰/۲۴	۱۲/۴۲
۱۳۹۳	مهر	۱۱/۶۱	۲۶/۴۷	۳۸/۴۷	۱۵/۶۷
۱۳۹۳	آبان	۳/۳۲	۱۶/۰۳	۵۶/۳۴	۱۳/۲
۱۳۹۳	آذر	۰/۳۹	۱۱/۳۵	۶۵/۷۰	۱۳
۱۳۹۳	دی	۰/۹۴	۱۱/۷۱	۶۱/۱۹۱	۱۲/۱۴
۱۳۹۳	بهمن	۲/۲۶	۱۳/۵۰	۶۴/۹۶	۱۵/۵
۱۳۹۳	اسفند	۱/۲۰	۱۱/۲۱	۶۹/۷۴	۱۵/۶۴
۱۳۹۴	فروردین	۸/۳۶	۲۲/۱۸	۴۲/۹۴	۱۷/۲۷
۱۳۹۴	اردیبهشت	۱۴/۰۲	۲۸/۲۹	۳۷/۰۸	۱۶/۴۲

۳- نتایج و بحث

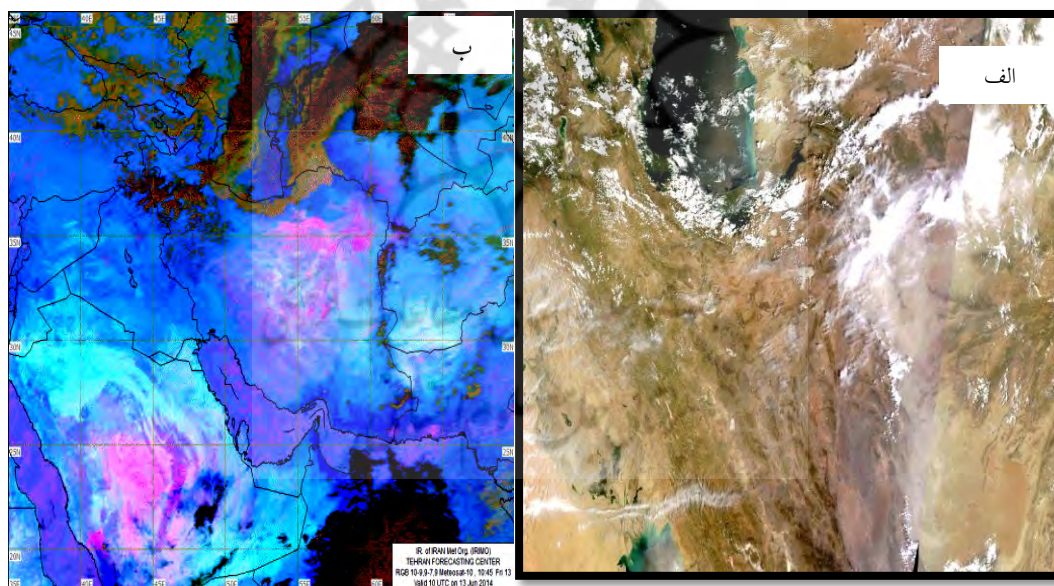
۳-۱- میزان فرونشست گرد و غبار

میزان نرخ فرونشست در کل استان از ۳/ تا ۱۵۰/۴۲ گرم بر متر مربع متغیر است. نرخ فرونشست، تغییرات زمانی مشخصی قابل مشاهده‌ای در طول ۱۲ ماه نمونه‌برداری دارد (شکل ۲). حداقل مقدار میانگین نرخ فرونشست در استان، مربوط به ماه آذر با میزان ترسیب، ۹/۹۷ گرم بر متر مربع و حداکثر آن در ماه خرداد با میانگین ۲۰/۹۶ مشاهده می‌شود. بر اساس این شکل، ماه‌های آذر و دی کمترین مقدار فرونشست و همچنین کمترین دامنه تغییرات را داشتند که به تدریج افزایش پیدا می‌کند و در خرداد ماه و تیر ماه به حداکثر خود می‌رسد (شکل ۳). دامنه تغییرات نرخ فرونشست در ماه‌های گرم بیشتر است که به خوبی در شکل ۲ قابل مشاهده است. به عنوان مثال، دامنه تغییرات نرخ فرونشست در خرداد ۴۶/ تا ۱۵۰/۴ گرم در متر مربع است؛ در حالی که در آذر ۱/۱۰ تا ۲۵/۳۲ گرم در متر مربع است. این تفاوت در دامنه تغییرات به دلیل نوسانات بیشتر حرکات توده‌های اتمسفری در فصول گرم و رخدادهای بیشتر طوفان گردوغبار در ماه‌های گرم است. این تغییرات با افزایش سرعت باد و کم شدن بارندگی در فصل بهار و تابستان و در نتیجه افزایش تعداد رخدادهای گرد و غبار هماهنگ است. در دی ماه حداکثر سرعت باد به ۱۲/۱۴ متر در ساعت است که در خرداد به ۱۹/۵ متر در ثانیه می‌رسد. همچنین، تعداد روزهای دارای رخداد گرد و غبار در شهرستان‌های مختلف استان، در ماه‌های اسفند تا مهر است و در ماه‌های آبان تا اسفند (بجز دی ماه در سرخس)

رخداد گرد و غبار ثبت نشده است (جدول ۱). مشاهدات تصاویر ماهواره‌ای نیز وجود طوفان‌های گردوغبار در ماه‌های گرم را تأیید می‌کند که به‌عنوان نمونه دو مورد از آن‌ها که در خرداد ماه رخ داده‌اند با استفاده از تصاویر مودیس و ماهواره هواشناسی در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۳- نمودار جعبه‌ای تغییرات فرونشست گرد و غبار در طول دوره نمونه برداری



شکل ۴- الف) تصویر Modis طوفان گردوغبار در استان ماه خرداد (<http://lance-modis.eosdis.nasa.gov>)

و ب) تصویر ماهواره هواشناسی طوفان گرد و غبار در استان ماه خرداد ۱۳۹۳

Ta et al (2004) نشان دادند که نرخ ترسیب ذرات معلق اتمسفری در استان گانسو چین با افزایش وقوع طوفان

افزایش می‌یابد.

Reheis et al (2012) در مطالعه‌ای در جنوب غربی آمریکا بر روی تأثیر پارامترهای اقلیمی بر نرخ فرونشست ذرات معلق اتمسفری نتیجه‌گیری کردند که نرخ فرونشست ذرات معلق با شدت گرفتن طوفان‌های تابستانی افزایش می‌یابد. نوروزی و خادمی (۱۳۹۴) با بررسی نرخ فرونشست ذرات معلق اتمسفری طی ۱۲ ماه در شهر اصفهان نشان دادند که بیشترین و کمترین نرخ فرونشست به ترتیب به ماه‌های تیر با میانگین ۸/۰۵ گرم بر متر مربع در ماه و آذر با میانگین متوسط ۲/۱۳ اختصاص دارد. همچنین نشان دادند مشابه با این مطالعه، میزان فرونشست ذرات در بهار و تابستان دارای بالاترین میزان است که رو به فصول پاییز و زمستان این مقدار کاهش می‌یابد. جعفری (۱۳۹۲) با بررسی روند نرخ فرونشست ذرات معلق در شهر کرمان طی ماه‌های نمونه‌برداری از اردیبهشت تا آبان سال ۱۳۹۱ نشان داد که بیشترین و کمترین میزان متوسط نرخ فرونشست ذرات معلق به ترتیب مربوط به ماه اردیبهشت و آبان به ترتیب با میزان ۱۷/۴ و ۵ گرم بر مترمربع در ماه بود و روند کاهشی در نرخ فرونشست ذرات معلق از ابتدا تا انتهای دوره نمونه برداری وجود داشته است. Hojati et al (2012) با بررسی نرخ ترسیب ذرات معلق در طول برش مورد مطالعه در استان اصفهان، افزایش نرخ فرونشست در طول ماه جولای نسبت به ماه سپتامبر ۲۰۰۹ را به رخداد طوفان‌ها و تأثیری که فصول خشک در افزایش میزان تولید ذرات معلق دارد، نسبت دادند. همچنین بیت لفته و همکاران (۱۳۹۴) به این نتیجه دست یافتند که میانگین نرخ ترسیب ذرات معلق در دوره‌های با وقوع طوفان (۱۲/۵ گرم بر متر مربع در ماه) خیلی بیشتر از دوره‌های بدون وقوع طوفان (۷/۵ گرم بر مترمربع در ماه) است.

متوسط نرخ فرونشست گرد و غبار در شهرهای استان در شکل ۵ نشان می‌دهد که گناباد و قوچان، به ترتیب، با متوسط ۳۱۳/۱۴ و ۷۴/۶۲ متر مربع بر گرم در سال، بیشترین و کمترین میزان فرونشست را در سال داشتند.



شکل ۵- میزان نرخ فرونشست سالانه گرد و غبار در شهرستان‌های استان در مدت نمونه‌برداری

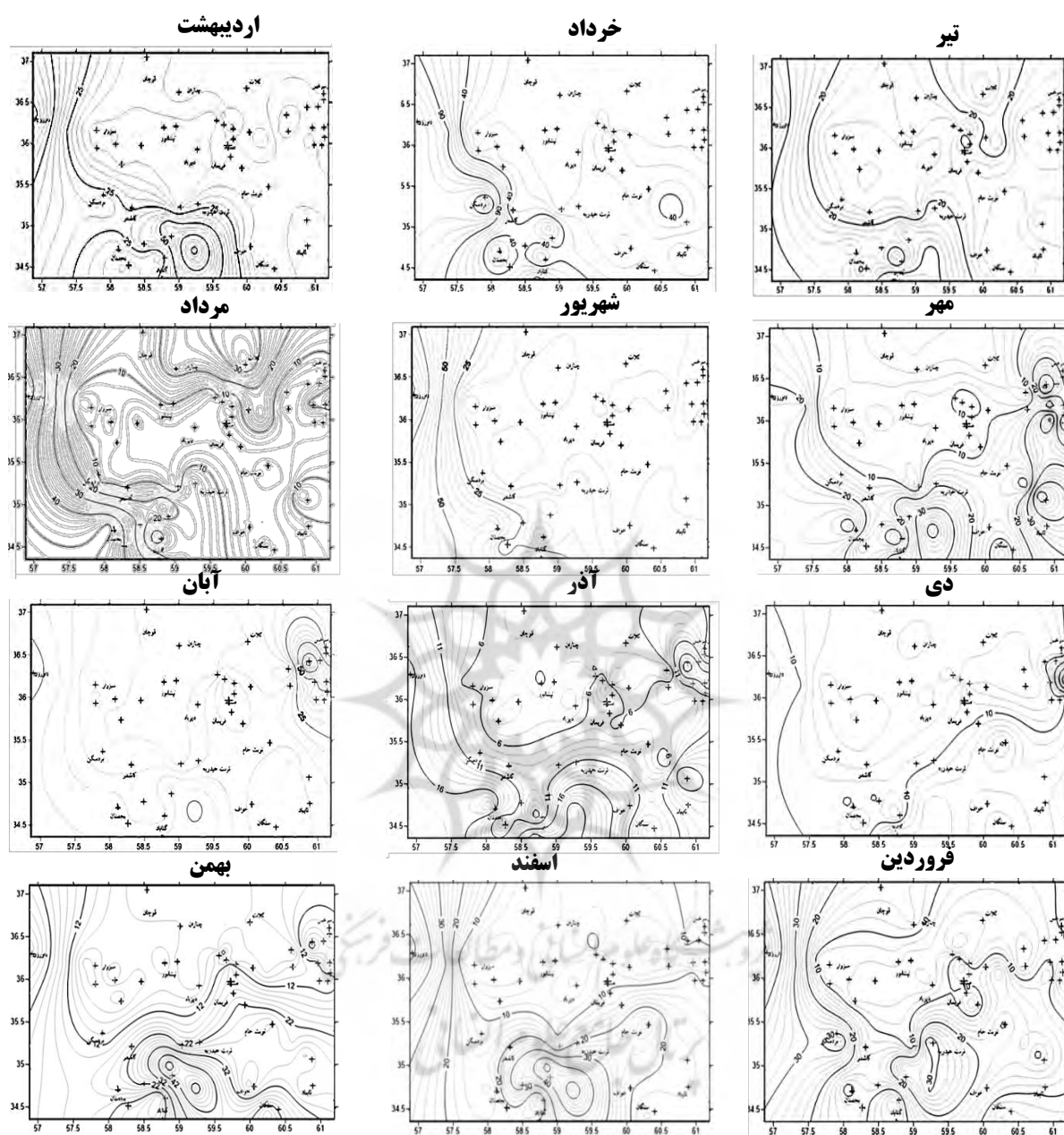
Prospero (2002) مناطق خشک با سطح هموار را به عنوان مناطقی با قابلیت تولید غبار زیاد معرفی کردند. شهرستان گناباد در جنوب، تربت جام و سرخس در شرق و سبزوار در غرب استان که دارای بیشترین مقدار فرونشست سالیانه هستند در حاشیه پلایاها قرار گرفته‌اند. این شهرها دارای بیشترین تعداد رخدادهای گرد و غبار هستند؛ به نحوی که در سرخس به ۵۰ روز در دوره مورد مطالعه رسید (جدول ۱). این مناطق دارای سطحی با توپوگرافی هموار، ارتفاع کم و پوشش گیاهی تنک می‌باشند که در حاشیه پلایاها قرار گرفته‌اند. در این شهرستانها تعداد روزهای بارش با رخدادهای گرد و غبار نیز بیشتر می‌باشد. (Ta et al (2004) در گانسوی چین، طی ۱۵ سال بررسی، متوسط میزان ذرات معلق را ۳۰۸/۶۱ گرم بر مترمربع در سال گزارش کردند. همچنین O hara (2006) et al در لیبی در طی یک سال بررسی، میزان فرونشست گرد و غبار را ۲۷۶ گرم بر متر مربع در سال گزارش داده‌اند.

۲-۳- پراکنش مکانی و زمانی فرونشست گرد و غبار

نقشه‌های پراکنش مکانی و زمانی اطلاعات قابل تفسیرتری نسبت به آمار توصیفی برای دریافت چگونگی و دلیل روند تغییرات ارائه می‌دهند. برای این منظور توزیع مکانی و زمانی نرخ فرونشست غبار در استان خراسان رضوی، به صورت نقشه‌های هم‌غبار ماهانه در شکل ۶ نشان داده شده است.

بر اساس این شکل‌ها، در اردیبهشت که اولین زمان نمونه‌برداری در مطالعه بود، بیشترین مقدار گرد و غبار در غرب و جنوب منطقه است که در خرداد مقدار و مساحت تحت تأثیر آن افزایش پیدا کرده است. در تیر مجدداً مقدار غبار در این مناطق کاهش پیدا می‌کند و در مرداد و شهریور تغییر قابل توجهی ندارد. نکته جالب توجه این که در ماه‌های مهر و آبان حداکثر فرونشست به سمت شرق منطقه به ویژه در محدوده سرخس منتقل می‌شود در ماه‌های آذر و دی، به دلیل کم شدن سرعت باد و افزایش رطوبت سطح خاک به دلیل بیشتر شدن بارندگی، مقدار فرونشست در کل استان هم کمتر و هم یکنواخت‌تر می‌شود و حداکثر فرونشست در منطقه سرخس باقی می‌ماند. یکنواخت‌تر شدن و کمتر شدن فرونشست در کل استان در ماه‌های آذر و دی، با توجه به دامنه کم تغییرات از نمودار جعبه‌ای شکل ۲ نیز قابل دریافت است.

در بهمن، مقدار فرونشست مجدداً در شرق و جنوب افزایش پیدا می‌کند که در اسفند و فروردین به خوبی این تغییرات مشهود است. در تمام ماه‌ها نرخ فرونشست در قسمت‌های شمالی استان به دلیل رطوبت بیشتر، بارندگی بیشتر و کوهستانی بودن منطقه کمتر است.



شکل ۶- نقشه‌های هم‌غبار ماهانه استان خراسان رضوی در طول دوره نمونه برداری

بر اساس نقشه‌های پراکنش مکانی، بیشترین مقدار فرونشست در ماه‌های گرم در غرب و جنوب اتفاق می‌افتد که هم منابع گرد و غبار موجود است و هم از نظر شرایط اقلیمی (سرعت باد و کم بود بارندگی) مناسب برداشت ذرات است. در این مناطق روزهای بارخداد گردوغبار عمدتاً در ماه‌های فصل بهار است. همچنین در شهرهای نزدیک پلایها تعداد ماه‌های بارخداد گرد و غبار بیشتر است (جدول ۱). نکته جالب توجه این است که حداکثر فرونشست

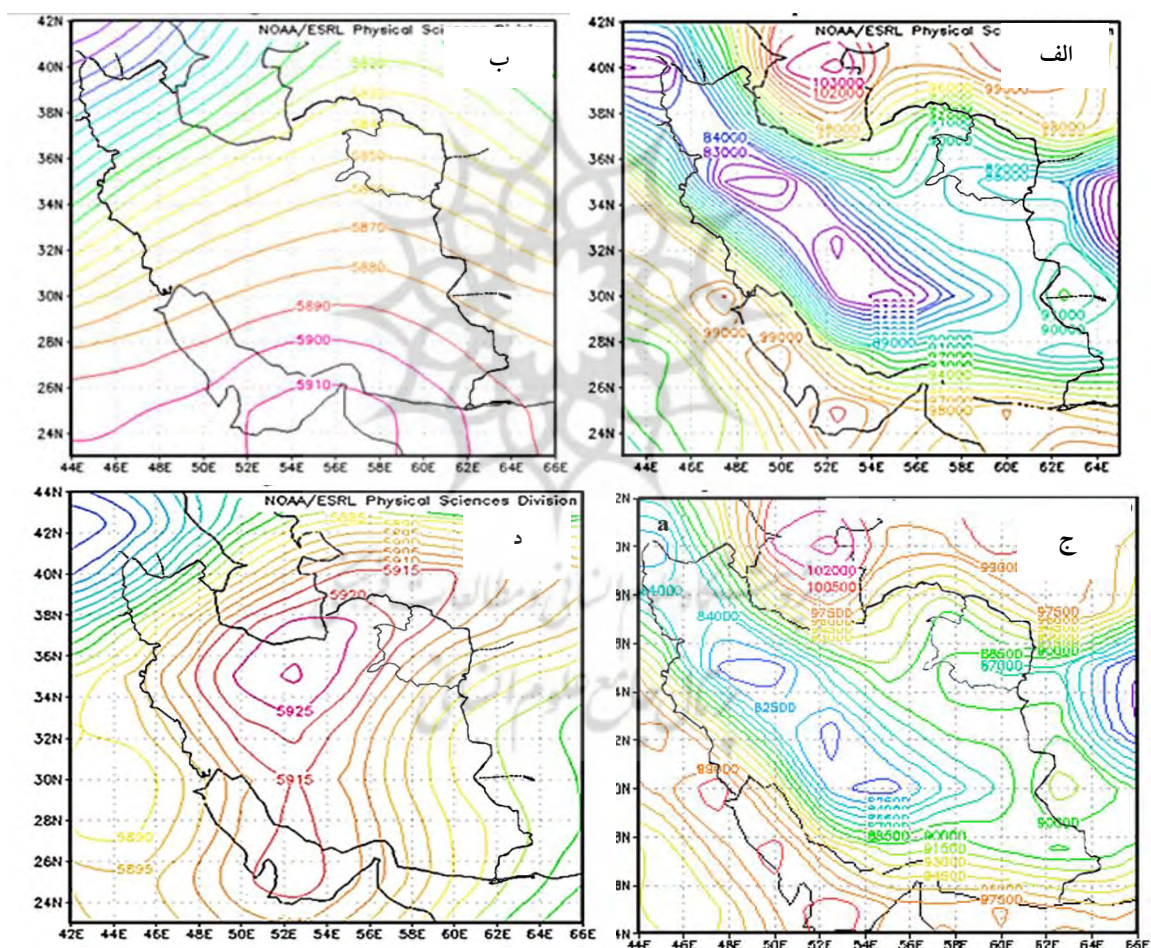
در منطقه سرخس در ماه‌های آذر و دی است. دلیل آن می‌تواند سرعت زیاد باد در منطقه سرخس در ماه‌های گرم باشد که باعث می‌شود این منطقه بیشتر به عنوان منطقه برداشت باشد و در فصول سرد با کاهش سرعت باد، فرونشست بیشتر می‌شود. سرخس تنها منطقه‌ای است که در آن در دی ماه رخداد گردوغبار ثبت شده است.

یکی از پدیده‌های اقلیمی مهم در ایران، بادهای شدید و همراه با گسترش ذرات معلق در شرق ایران می‌باشند. باد ۱۲۰ روزه یا بادهای لوار که جریان‌های موسمی باعث ایجاد این بادهای می‌شوند یکی از مهم‌ترین نمودهای آب و هوای شرق ایران، در مقیاس منطقه‌ای در فصل گرم سال می‌باشد. این جریانات از اواسط اردیبهشت شروع به وزیدن می‌کنند و تا شهریور جریان دارند و شرایط جوی نامساعدی را در منطقه ایجاد می‌کنند. کانون‌های عمده فشاری که بادهای ۱۲۰ روزه را موجب می‌شوند در شمال دریای خزر و جنوب ایران قرار دارند و طبق نظر محققان از دشت‌های ترکمنستان منشأ گرفته و بین رشته کوه‌های البرز و هندوکش جریان دارند اثرات قابل توجهی بر روی لنداسکیپ منطقه دارند (Zawar-Reza et al., 2006; Rashki et al., 2012). این جریانات سبب می‌شوند ذرات معلق تا فواصل دورتری حمل شوند و ذرات از نیمه شرقی‌تر به مناطق جنوبی و غربی‌تر حمل می‌شوند که با پایان یافتن این جریانات شاهد افزایش نرخ فرونشست در مناطق شرقی، به‌ویژه سرخس، می‌باشیم. همان‌گونه که در شکل ۲ نشان داده شده است، شروع دوره سرد سال، گسترش بادهای غربی به عرض‌های پایین‌تر را به دنبال داشته و شرایط جوی سطح زمین نیز در کنترل این جریانات قرار دارد. بادهای غالب غربی اگرچه سرعت بالایی دارند ولی به دلیل منبع تولیدشان حامل ذرات معلق نیستند و از آنجایی‌که در فصول سرد سال می‌وزند، عمدتاً منجر به بارش و افزایش رطوبت نسبی می‌شوند و در نهایت کاهش نرخ فرونشست ذرات معلق اتمسفری را موجب می‌گردند.

بررسی تغییرات مکانی و زمانی ذرات معلق در شهرستان‌های کرمانشاه توسط احمدی دوآبی و همکاران (۱۳۹۲) متوسط نرخ فرونشست را در بهار و تابستان به ترتیب ۱۹/۲ و ۳/۳ نشان داد. در یزد، (Nadafi et al (2006 بالاترین نرخ فرونشست ذرات معلق را در تابستان و کمترین میزان آن را در فصل پاییز گزارش شد (Groll et al., 2013). نیز با بررسی توزیع مکانی و زمانی ترسیب فرونشست اتمسفری در آسیای مرکزی بین سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۰ بیشترین مقدار ترسیب ذرات معلق را در ماه‌های مربوط به فصول بهار و تابستان نشان دادند.

همچنین (Al-Harbi et al (2015 در مطالعه‌ای روی نرخ فرونشست ذرات معلق در شهر شوخی کویت گزارش کردند که بالاترین نرخ فرونشست به ماه‌های ژوئن و آگوست به ترتیب با دامنه ۷۶/۴ و ۹۷/۲۶±۲/۵ گرم بر متر مربع در ماه، اختصاص داشته در حالی‌که کمترین نرخ فرونشست با ۱۴±۱/۲ تا ۱۹±۱/۴ گرم بر مترمربع در ماه به ماه‌های اکتبر و نوامبر مربوط بوده و ماه‌های دسامبر، ژانویه و فوریه با دامنه نرخ فرونشست ذرات معلق به میزان ۲۵/۵±۱/۳ تا ۳۰/۵±۱/۵ گرم بر مترمربع در ماه نیز به عنوان ماه‌های دارای حد متوسط میزان فرونشست ذرات معلق در این منطقه گزارش شدند.

نقشه‌های نمایش داده شده در شکل ۷، الف و ج بیانگر فشار تراز دریا در روزهای اوج پدیده گرد و غبار در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. استقرار الگوی کم فشار در مرز شرقی کشور و جنوب شرقی کشور و جنوب شرق استان خراسان رضوی و استقرار الگوی پر فشار در محدوده شمال دریای خزر، سبب ایجاد گردبادان شدید و در نهایت منجر به ناپایداری‌های شدید و قابل ملاحظه‌ای می‌گردد که شرایط را برای برداشت و انتقال ذرات غبارهای ناشی از مناطق احتمالی منشأ (پلایا) را فراهم می‌کند و مناطق شمال شرق و شرق کشور را از جمله استان خراسان تحت تأثیر می‌دهد. شکل ۷، ب و د نقشه‌های سینوپتیک اقلیمی در تراز میانی جو می‌باشند که حاکی از استقرار سامانه پر ارتفاع بر روی ایران که از نواحی شمالی ایران و دریای خزر و کشور ترکمنستان تا نواحی جنوبی گسترده و استان خراسان رضوی را تحت تأثیر قرار می‌دهد.



شکل ۷- نقشه سینوپتیک اقلیمی طوفان ۷ خرداد ۱۳۹۳، الف) سطح دریا، ب) ۵۰۰ هکتو پاسکال، د) نقشه سینوپتیک اقلیمی طوفان ۱۴ خرداد ۱۳۹۳، ج) سطح دریا و د) ۵۰۰ هکتو پاسکال (<http://www.esrl.noaa.gov>)

لشکری و کیخسروی (۱۳۸۷) با تحلیل آماری سینوپتیکی طوفان های گرد و غبار استان خراسان رضوی در فاصله زمانی (۲۰۰۵-۱۹۹۳) به این نتیجه دست یافتند که در دوره گرم سال، زمانی که مرکز کم فشاری در محدوده جنوب خراسان و کشور افغانستان بسته می شود و همزمان زبانه ای از پرفشار آزر نیز بر روی دریای سیاه و سپس دریای خزر گسترش یابد و تا ساحل جنوبی دریای خزر پیشروی نماید، سبب افزایش شیب فشار نصف النهاری بر روی منطقه خواهد شد. شیب فشار حاصل از استقرار همزمان مرکز چرخندی در منطقه افغانستان - جنوب خراسان و مرکز و اچرخندی بر روی دریای خزر و ترکمنستان سبب وزش بادهای شدید و ایجاد طوفان های ذرات معلق بر روی منطقه می شود.

۳-۳- ارتباط نرخ فرونشست گرد و غبار با پارامترهای اقلیمی

نتایج ارائه شده در شکل ۸ نشان می دهد که بین متوسط فرونشست گرد و غبار ۱۲ دوره نمونه برداری رابطه مثبت و معنی داری با حداقل و حداکثر دما، سرعت باد و رابطه منفی با رطوبت نسبی در سطح ۰.۵٪ وجود دارد. (Nadafi et al (2006) با مطالعه نرخ فرونشست ذرات معلق در شهر یزد طی دوره ۴ ماهه به این نتیجه رسیدند که بین نرخ فرونشست ذرات و میزان بارندگی همبستگی معنی داری وجود دارد و با کاهش بارندگی، نرخ فرونشست افزایش می یابد. (Ta et al (2002) نیز نتیجه گرفتند که رابطه معکوسی میان بارندگی و نرخ فرونشست ذرات معلق وجود دارد و در یک سرعت مشخص باد با افزایش بارندگی میزان ذرات معلق کاهش چشمگیری پیدا می کند. نوروزی و خادمی، (۱۳۹۴) همبستگی های مثبت و معنی دار بین نرخ فرونشست ذرات معلق را با میزان دمای حداقل و حداکثر در تمام ماه های سال و با سرعت حداکثر و متوسط باد در ماه های خشک سال و همبستگی منفی و معنی دار این پارامتر با میزان بارش و رطوبت نسبی را در شهر اصفهان نشان دادند.

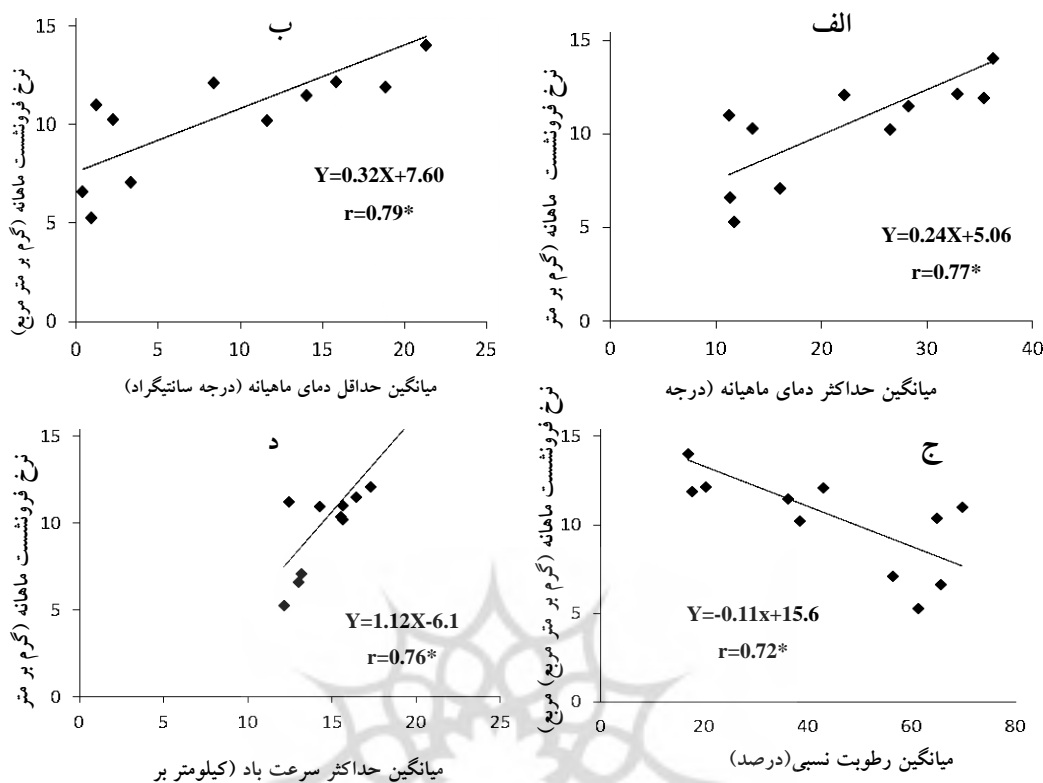
۴- جمع بندی نتیجه گیری

مشاهدات نرخ ترسیب غبار در استان خراسان رضوی مطابق با نتایج مناطق مشابه می باشد. بررسی نرخ فرونشست گرد و غبار طی ۱۲ ماه نمونه برداری، نشان داد که بیشترین و کمترین نرخ فرونشست گرد و غبار به ترتیب به ماه های خرداد و آذر اختصاص دارد. همبستگی های مثبت و معنی دار بین نرخ فرونشست گرد و غبار با میزان دمای حداقل، حداکثر و حداکثر سرعت باد در تمام ماه های سال و همبستگی منفی و معنی دار این پارامتر با میزان رطوبت نسبی در سطح ۰.۵ درصد مشاهده شد. به نظر می رسد افزایش نرخ ترسیب غبار در استان، ناشی از افزایش دما، کاهش بارندگی، کاهش رطوبت نسبی و افزایش سرعت باد باشد که با نتایج مطالعات نوروزی و خادمی (۱۳۹۴) در اصفهان، (Al-Harbi et al (2015) در کویت و (Kaskaoutis et al (2016) مطابقت دارد. بررسی توزیع مکانی این پدیده نشان داد که مقدار فرونشست گرد و غبار در مناطق جنوبی و غربی استان، که در اقلیم خشک و فرا خشک

قرار گرفته‌اند، به خصوص در ماه‌هایی که بادهای ۱۲۰ روزه و طوفان گرد و غبار در استان جریان داشته، بیشترین مقدار بوده است که با نتایج (Hojati et al (2012)، Reheis & Urban (2011) و بیت لفته (۱۳۹۴) همخوانی دارد. همچنین با تغییر جهت باد غالب از شرق و شمال‌شرق در ماه‌های خشک سال، به غرب و جنوب غرب در ماه‌های بارش بیشتر، نرخ فرونشست ذرات معلق در اکثر مناطق به جز مناطق شرقی استان کاهش یافت. که با توجه به بررسی رژیم بادی ماهانه این مناطق، باد غالب از شمال‌غربی منطقه یعنی ترکمنستان، احتمالاً میزان فرونشست نشأت گرفته از پلایای قره‌قوم ترکمنستان می‌باشد.

از عوامل بسیار مهم تعیین‌کننده فرسایش و هدررفت خاک، عوامل مربوط به رطوبت و پوشش گیاهی در سطح خاک می‌باشند. رطوبت و پوشش گیاهی از ابعاد مختلف می‌توانند باعث کاهش فرسایش خاک شوند. نتایج بیانگر این موضوع است که پارامترهای اقلیمی شامل رطوبت نسبی پایین و حضور بادهای شدید موسمی باعث فرسایش بادی خاک در مناطق وسیعی از استان خراسان رضوی و مناطق مجاور شده است. لازم به ذکر است که افزایش دما باعث کاهش رطوبت نسبی و در نتیجه رطوبت خاک می‌شود و این مسئله خود در کاهش سرعت آستانه فرسایش بادی و افزایش توان حمل خاک اثر دارد (رحیمی، ۱۳۹۴).

با توجه به این که دما و بارندگی نوع اقلیم منطقه را تعیین می‌کنند و اقلیم تعیین‌کننده نوع خاک و پوشش گیاهی است، بارندگی و دما به طور غیرمستقیم از طریق تأثیر بر پوشش گیاهی می‌توانند در تولید و میزان ترسیب غبار مؤثر باشند (مخدوم، ۱۳۸۵). البته از عوامل اصلی این تغییرات مکانی می‌توان به فاصله از منبع برداشت غبار (پلایا) نیز اشاره نمود. نتایج حاصل از تحلیل نقشه‌های سینوپتیک اقلیمی مربوط به روزهای طوفانی در نقشه فشار تراز دریا، تشکیل مرکز کم فشاری بر روی افغانستان و پاکستان و پرفشار بر روی دریای خزر را که باعث افزایش گرادیان فشار بین نواحی شمالی و جنوب شرق کشور می‌شود را نشان داد. این شرایط موجب ایجاد شیب فشاری بین سیستم پر فشار مذکور، سبب تشدید سرعت باد در منطقه مورد مطالعه گردیده است. که با توجه به موقعیت جغرافیایی استان (مرز مشترک با کشورهای ترکمنستان و افغانستان) و جهت باد می‌توان به نقش این مناطق نیز در منشأ طوفان استان نیز اشاره نمود. هر چند تعیین دقیق منشأ غبار در استان نیازمند مطالعات آزمایشگاهی دقیق است.



شکل ۸- همبستگی میانگین نرخ فرونشست گرد و غبار با (الف) میانگین حداکثر دمای ماهانه، (ب) میانگین حداقل دمای ماهانه، (ج) میانگین رطوبت نسبی و (د) میانگین حداکثر سرعت باد در استان

کتابنامه

- احمدی دوآبی، شهاب؛ افیونی، مجید؛ کرمی، مهین؛ خادمی، حسین؛ ۱۳۹۲. نرخ فرونشست گردوغبار اتمسفری در استان کرمانشاه در بهار و تابستان. سومین همایش ملی فرسایش بادی و طوفان‌های گرد و غبار، یزد.
- بروغنی، مهدی؛ مرادی، حمیدرضا؛ زنگنه اسدی، محمدعلی؛ ۱۳۹۴. تحلیل وقوع گرد و غبار و پهنه بندی آن در استان خراسان رضوی مجله پژوهش‌های فرسایش محیطی. شماره ۲۰، ۵۷-۴۵.
- بیت لفته، رضا؛ لندی، احمد؛ حاجتی، سعید؛ صیاد، غلامعلی؛ ۱۳۹۴. نرخ ترسیب، کانی‌شناسی و الگوی توزیع اندازه ذرات گردوغبار در اطراف تالاب هورالعظیم در استان خوزستان. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). شماره ۲۹، ۷۰۷-۶۹۵.
- جعفری، فریبا؛ ۱۳۹۲. نرخ فرونشست و برخی خصوصیات شیمیایی و کانی‌شناسی گردوغبار اتمسفری در شهر کرمان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. حسین خادمی. خاکشناسی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

- دوستان، رضا؛ ۱۳۹۲. شناسایی کانون‌های فشار مؤثر در وقوع باد ۱۲۰ روزه سیستان و بلوچستان. نخستین کنفرانس ملی آب و هواشناسی ایران. کرمان.
- رحیمی، محمد؛ یزدانی، محمدرضا؛ اسدی، مسلم؛ حیدری، محمدطالب؛ ۱۳۹۴. بررسی آلودگی هوای شهر سندرچ با تاکید بر تغییرات زمانی غلظت PM_{10} . دو فصلنامه پژوهش‌های بوم‌شناسی شهری. شماره ۱۱، ۹۹-۱۱۶.
- سازمان هواشناسی استان خراسان رضوی؛ ۱۳۸۹ و ۱۳۹۴.
- لشکری، حسن؛ کیخسروی، قاسم؛ ۱۳۸۷. تحلیل آماری سینوپتیکی توفان‌های گرد و غبار استان خراسان رضوی در فاصله زمانی (۲۰۰۵ تا ۱۹۹۳). فصلنامه پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. شماره ۶۵، ۳۳-۱۷.
- محمدیاریان، محترم؛ ۱۳۹۰. پهنه‌بندی مخاطرات جوی در شمال شرق ایران. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. استاد راهنما: عباس مفیدی. آب و هواشناسی، دانشگاه فردوسی مشهد.
- محمودی، زهره؛ ۱۳۹۰. بررسی خصوصیات ژئوشیمیایی و کانی‌شناسی گردوغبار اتمسفری اصفهان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. استاد راهنما: حسین خادمی. خاکشناسی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
- مخدوم، مجید؛ ۱۳۸۵. شالوده آمایش سرزمین. انتشارات دانشگاه تهران.
- ممرآبادی، پروین؛ ۱۳۹۵. تغییرات زمانی و مکانی شاخص‌های گردوغبار در شرق خراسان و اثرات تغییرات کاربری اراضی بر آن. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما: علی‌رضا راشکی. مدیریت مناطق بیابانی. دانشگاه فردوسی مشهد.
- نوروزی، سمیرا؛ خادمی، حسین؛ ۱۳۹۴. تغییرات مکانی و زمانی نرخ فروروشست گرد و غبار در شهر اصفهان و ارتباط آن با برخی پارامترهای اقلیمی. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. علوم آب و خاک. شماره ۷۲، ۷۱-۱۶۱-۱۴۹.

- AL-Harbi, M., 2015. Characteristics and composition of the falling dust in urban environment. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 12: 641-652.
- Conference on Dust, 2-4 March 2016, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran.
- Engelstaedler, S., Tegen, I., and Washington, R., 2006. North African dust emissions and transport. *Earth Sci. Rev.* 79:73-100.
- Goudie, A.S., and Middleton .N.J., 2006. *Desert Dust in the Global System*. Springer Verlag. Berlin, Germany.
- Groll, M., Opp, C., and Aslanov, I., 2013. Spatial and temporal distribution of the dust deposition in Central Asia results from a long-term monitoring program. *Aeolian Res.* 9: 49-62.
- Hamidi, M., Kavianpour, M.R., Shao, Y., 2013. Synoptic analysis of dust storms in the Middle East. *Asia-Pac. J. Atmospheric. Sci.* 49:279-286.
- Hojati, S., Khademi, H., Faz Cano A., and Landi, A., 2012. Characteristics of dust deposited along a transect between central Iran and the Zagros Mountains. *Catena.* 88: 27-36. <http://lance-modis.eosdis.nasa.gov>.
- Kaskaoutis, D.G., Rashki, A., Houssos, E.E., Bartzokas, A., Francois, P., Legrand, M., and Kambezidis, H.D., 2016. The Caspian Sea-Hindu Kush Index (CasHKI): definition, meteorological influences and Dust activities over southwest Asia. *The First of International*

- Marx, S.A., McGowan, H.A., 2005. Dust transportation and deposition in a superhumid environment, West Coast, South Island, New Zealand. *Catena*. 59: 147-171.
- McTainsh, G.H. 1999. Dust transport and deposition. PP. 181-211. In: Goudie, A., S. Livingstone and I. Stokes(Eds.), *Aeolian Environments, Sediments and Landforms*. John Wiley and Sons, Ltd, Chichester.
- Menendez, I., Diaz-Hernandez, J. L., Mangas, J., Alonso, I., and Sanchez-Soto, P.J., 2007., Airborne dust accumulation and soil development in the North-East sector of Gran Canaria (Canary Islands, Spain). *J. Arid. Environ.* 71: 57-81.
- Naddafi, N., Nabizadeh, R., Soltanianzadeh, Z. and Ehrampoosh. M.H., 2006. Evaluation of dust fall in the air of Yazd. *Journal of Environmental Health Science Engineering*. 3: 161-168.
- National Oceanic and Atmospheric Administration Earth System Research Laboratory (<http://www.esrl.noaa.gov>).
- O'Hara, S.L., Clarke, M.L., and Elatrash, M.S., 2006. Field measurements of desert dust deposition in Libya. *Atmos. Environ.* 40: 3881-3897.
- Prospero, J.M., Ginoux, P., Torres, O., Nicholson, S.E., and Gill, T.E., 2002. Environmental characterization of global sources of atmospheric soil dust identified with the Nimbus 7 total ozone mapping spectrometer absorbing aerosol product. *Rev. Geophys.* 40: 2-31.
- Rashki, A., Kaskaoutis, D.G., deW. Rautenbach, C.J., Eriksson, P.G., Qiang, M., and Gupta, P., 2012. Dust storms and their horizontal dust loading in the Sistan region, Iran. *Aeolian Res.* 5: 51-62.
- Reheis, M.C., and Urban, F.E., 2011. Regional and climatic controls on seasonal dust deposition in the southwestern U.S. *Aeolian Res.* 3: 3-21.
- Rezazadeh, M., Irannejad, P., Shao, Y., 2013. Climatology of the Middle East dust events. *Aeolian Res.* 10:103-109.
- Ta, W., Qu, H., Xiao, J., Xiao, Z., Yang, G., Wang, T., and Zhang, X., 2004. Measurements of dust eposition in Gansu Province, China, 1986–2000. *Geomorphology*. 57:41-51.
- Tegen, I., Werner, M., Harrison, S.P., and Kohfeld, K.E. 2004., Relative importance of climate and land use in determining present and future global soil dust emission. *Geophysical Research Letters*. 31 (5): 1-4.
- Wang, R., Zou, X., Cheng, H., Wu, X., Zhang, C., and Kang, L., 2015. Spatial distribution and source apportionment of atmospheric dust fall at Beijing during spring of 2008-2009. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 22: 3547-3557.
- Wang, S., Yuan, W., and Shang, K., 2006. The impacts of different kinds of dust events on PM10 pollution in northern China. *Atmos. Environ.* 40: 7975-7982.
- Wiggs, G.F.S., O'hara, S.L., Wegerdt, J., Van Der Meer, J. and Small. I., 2003. The dynamics and characteristics of aeolian dust in dryland Central Asia: Possible impacts on human exposure and respiratory health in the Aral Sea basin. *Geographical Journal*. 169(2): 142–157.
- Xuan, J., Sokolik, I.N., Hao, J., Guo, F., Mao, H., and Yang, G., 2004. Identification and characterization of sources of atmospheric mineral dust in East Asia. *Atmos. Environ.* 38: 6239-625.
- Zawar-Reza, P., Kingham, S., Pearce, J., 2006. Evaluation of a year-long dispersion modelling of PM10 using the mesoscale model TAPM for Christchurch, New Zealand. *Sci. Total Environ.* 349: 249–59.