

## تغییرات مکانی و زمانی نرخ فرونشست گرد و غبار در شهر اصفهان و ارتباط آن با برخی پارامترهای اقلیمی

سمیرا نوروزی و حسین خادمی<sup>\*۱</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۲/۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۲/۱۸)

### چکیده

در این پژوهش توزیع مکانی و زمانی نرخ فرونشست گرد و غبار و فاکتورهای اقلیمی مؤثر بر آن در شهر اصفهان مطالعه شد. گرد و غبار توسط تله‌های شیشه‌ای مستقر در بام ساختمان‌های یک طبقه در ۲۰ نقطه شهر اصفهان، طی ۱۲ ماه نمونه‌برداری و داده‌های اقلیمی مربوطه نیز از سازمان هواشناسی اصفهان تهیه و آنالیز گردیدند. بیشترین و کمترین نرخ فرونشست گرد و غبار متناسب با روند باد غالب منطقه به ترتیب به ماه‌های خشک سال با جهت باد شرقی و شمال شرقی و مرطوب با جهت باد غربی و جنوب غربی اختصاص دارد که می‌تواند دلیلی بر منشأ احتمالی گرد و غبار از مناطق بیابانی شرق اصفهان باشد. همبستگی‌های معنی‌دار منفی میان نرخ فرونشست گرد و غبار با میزان بارش و رطوبت نسبی و مثبت با دمای حداقل و حداکثر در تمام ماه‌ها و سرعت حداکثر و متوسط باد در ماه‌های خشک توجیه‌کننده توزیع زمانی نرخ فرونشست گرد و غبار می‌باشد. در ماه‌های خشک ذرات ریزتر گرد و غبار از منشأ احتمالی شرق اصفهان مسافت بیشتری را پیموده و در مناطق غربی شهر فرو می‌نشینند و در ماه‌های مرطوب به دلیل چسبندگی ذرات خاک و کاهش قدرت حمل باد به علت درشت‌تر شدن ذرات، بیشترین نرخ فرونشست گرد و غبار در مناطق شرقی شهر مشاهده می‌شود.

کلمات کلیدی: فرونشست ذرات معلق اتمسفری، تغییرپذیری زمانی، پراکنش مکانی، عوامل آب و هوایی

۱. گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

\*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: hkhademi@cc.iut.ac.ir

## مقدمه

امروزه گرد و غبار جز مسائل و مشکلات جدی زیست محیطی در مناطق خشک و نیمه خشک مطرح می گردد و از آنجایی که بر روی کیفیت و آلودگی هوا، سلامت بشر، حاصلخیزی خاک، قدرت دید، اقتصاد و بسیاری از جنبه های اجتماعی و زیست محیطی جامعه تأثیرگذار است، بررسی و ارزیابی توزیع مکانی و زمانی میزان آن در مناطق مختلف کشور از اهمیت ویژه ای برخوردار است. مجموعه مهمی از فرآیندهای ژئومورفیک، اتمسفری و اکولوژیکی، منجر به ایجاد مکانیسم های تولید، انتقال و فرونشست گرد و غبار می شوند (۱۸). تولید گرد و غبار توسط دامنه وسیعی از فاکتورهای طبیعی و انسانی تحت تأثیر قرار می گیرد. زمانی که سرعت باد در بیابان ها از ۸ متر بر ثانیه بیشتر می شود، بسته به عواملی چون زبری سطوح، رطوبت خاک، اندازه ذرات، پوشش گیاهی، چسبندگی ذرات خاک و پستی و بلندی زمین، ذرات ریز وارد جریان اتمسفری شده و تولید گرد و غبار اتمسفری می نمایند (۷ و ۲۳). از طرف دیگر، به علت فقدان پوشش گیاهی در مناطق مستعد گرد و غبار با بارندگی کمتر از ۵۰ میلی متر در سال، با گرم شدن هوای این مناطق و حرکت آن به سمت بالا و برخورد آن با بادهای با سرعت زیاد تروپوسفری، جریان چرخشی متمایل به پایین ایجاد می شود که در برخورد این بادهای شدید با سطح زمین، طوفان های گرد و غبار تولید می شوند (۲۳). از مهم ترین شرایط ایجاد گرد و غبار در کنار هوای ناپایدار، می توان به وجود یا عدم وجود رطوبت اشاره کرد. به طوری که اگر هوای ناپایدار رطوبت کافی داشته باشد، بارندگی، طوفان و رعد و برق و اگر فاقد رطوبت باشد، طوفان گرد و غبار ایجاد می نماید (۲).

گرد و غبار می تواند در مسافتی بیش از هزاران کیلومتر منتقل شود و در طول انتقال، این ذرات به طور مداوم طی فرآیندهای فرونشست خشک و مرطوب از اتمسفر جدا شده و بر سطح فرومی نشینند. اهمیت نسبی هر یک از مکانیسم های فرونشست گرد و غبار بسته به زمان و مکان تغییر می کند و فاکتورهایی از قبیل فصل وقوع طوفان های گرد و غبار، توزیع

اندازه ذرات منتقل شده و شرایط اقلیمی منطقه روی غالبیت هر یک از این مکانیسم ها تأثیر می گذارند. فرونشست خشک از طریق خروج گرانشی ذرات از اتمسفر حاصل می شود و فرونشست مرطوب نتیجه مهار ذرات توسط باران و برف است و به میزان کل بارندگی و توزیع عمودی باران و برف در اتمسفر بستگی دارد (۱۱).

پیچیدگی های زمانی و مکانی پدیده های انتقال و فرونشست گرد و غبار در مدل مفهومی پیشنهادی توسط مک تاینش (۱۳)، به خوبی بررسی شده است. طبق این مدل، در ابتدا گرد و غبار با تغییر الگوی فصلی در منبع تولید اولیه گرد و غبار تولید شده و سپس در جهت باد منتقل و با کاهش سرعت باد فرو می نشیند. با افزایش سرعت باد و فعالیت های انسانی، این رسوب اولیه ممکن است دوباره تحت تأثیر تغییرات ثانویه قرار گیرد و در جهت باد منتقل گردد و ذرات ریزتر گرد و غبار به عنوان رسوب ثانویه رسوب کنند. این فرآیند تولید و رسوب تا زمانی که در نهایت گرد و غبار به شرایط پایدار محیطی برای رسوب برسند ممکن است چندین بار تکرار شود. خشکی و افزایش بیابان زایی توسط فعالیت های بشر می توانند قابلیت فرونشست و نرخ ترسیب گرد و غبار را افزایش دهند.

نرخ فرونشست گرد و غبار به طور کلی به سرعت تأمین گرد و غبار از منبع، بارندگی و تلاطمات جوی و در یک منطقه مشخص عمدتاً به شرایط اقلیمی در منطقه منبع و منطقه فرونشست بستگی دارد (۱۷). حجتی و همکاران (۹)، شرایط اقلیمی در منطقه فرونشست، فاصله از منبع تولید گرد و غبار و اختلاف بین منابع محلی و برون مرزی تولید گرد و غبار را به عنوان عوامل اثرگذار بر روی نرخ فرونشست و سایر خصوصیات گرد و غبار معرفی نمودند. به طور کلی می توان گفت که نرخ فرونشست گرد و غبار عکس العمل پیچیده ای به تعامل میان پارامترهای جوی از جمله بارندگی و نزولات فصلی، باد، دما و رطوبت نسبی می باشد (۱۸).

فراوانی وقوع گرد و غبار در یک منطقه علاوه بر سرعت باد و خشکی ذرات خاک، به اندازه و قطر ذرات نیز بستگی دارد.



شکل ۱ موقعیت و نحوه توزیع نقاط نمونه برداری در منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است.

### نمونه برداری گرد و غبار

در این مطالعه تله شیشه‌ای پیشنهادی توسط منندز و همکاران (۱۴) که قبلاً توسط حجتی و همکاران (۹) و محمودی (۴) نیز استفاده شده بود، برای جمع‌آوری گرد و غبار به کار گرفته شد. این تله متشکل از یک صفحه شیشه‌ای مسطح به ابعاد ۱×۱ متر است که روی آن یک مش پلاستیکی به ابعاد ۲ میلی‌متر مربع توسط ۸ پیچ به شیشه متصل می‌شود. جهت جلوگیری از شستشوی ذرات فرونشسته روی شیشه در فصول بارندگی زیاد، لبه شیشه‌ای به ارتفاع ۱۰ میلی‌متر دور شیشه چسبانده شد. در مواقع بارندگی، آب باران موجود روی سطح شیشه از راه یک منفذ خروجی کوچک که توسط اسفنج پوشانده شده بود، خارج شده ولی اسفنج مانع خروج ذرات فرونشسته می‌گردید. به منظور جمع‌آوری گرد و غبار در هر سایت ساختمان‌هایی با ارتفاع ۱ طبقه انتخاب شدند و ۲ تله شیشه‌ای روی پشت بام هر ساختمان و کمی بالاتر از سطح، به نحوی که توسط دیوار یا مانع دیگری تحت تأثیر قرار نگیرد، قرار گرفت. ارتفاع ۱ طبقه این امکان را می‌دهد که غبار فرونشسته تحت تأثیر سایر فرآیندهای بادی نزدیک به سطح زمین قرار نگیرد و در عین حال نسبت به ساختمان‌های مرتفع این امکان را فراهم می‌سازد که غلظت غبار جمع‌آوری شده تقریباً به مقدار قابل استنشاق توسط افراد نزدیک‌تر باشد. نمونه برداری از گرد و غبار طی ۱۲ ماه (خرداد ماه ۱۳۹۱ تا اردیبهشت ماه ۱۳۹۲) انجام شد. در انتهای هر ماه نمونه‌های گرد و غبار روی هر صفحه با استفاده از کاردک به دقت جمع‌آوری و پس از انتقال به ظروف در بسته پلاستیکی به آزمایشگاه منتقل شدند و پس از هر بار نمونه برداری سطح صفحات با آب شسته شدند. تعداد کل نمونه‌های گرد و غبار در این مطالعه ۲۴۰ نمونه بود.

### مطالعات آزمایشگاهی و تجزیه و تحلیل داده‌ها

پس از جمع‌آوری نمونه‌ها و عبور دادن آنها از الک ۲ میلی‌متری

به منظور جداسازی ذرات خار و خاشاک، نمونه‌ها به دقت توزین شده و نرخ فرونشست گرد و غبار بر اساس واحد جرم در واحد سطح در واحد زمان گزارش شد. داده‌های به دست آمده با استفاده از نرم‌افزار SPSS 16 مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند و نمودارها نیز با استفاده از نرم‌افزارهای SPSS 16 و Excel 2013 رسم شدند. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن و سطح معنی‌داری ۵٪ انجام شد. نقشه‌های توزیع مکانی نرخ فرونشست گرد و غبار با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS و با روش وزن‌دهی عکس فاصله (Inverse Distance Weighting) ترسیم شدند. اطلاعات اقلیمی منطقه مورد مطالعه شامل دما، بارش، رطوبت، سمت و سرعت باد در طول دوره نمونه برداری از سازمان هواشناسی استان اصفهان تهیه و برای رسم نمودارهای گلباد از نرم‌افزارهای WRPLOT 7.0.0 و Saba Wind استفاده شد.

### نتایج

#### توزیع زمانی نرخ فرونشست گرد و غبار

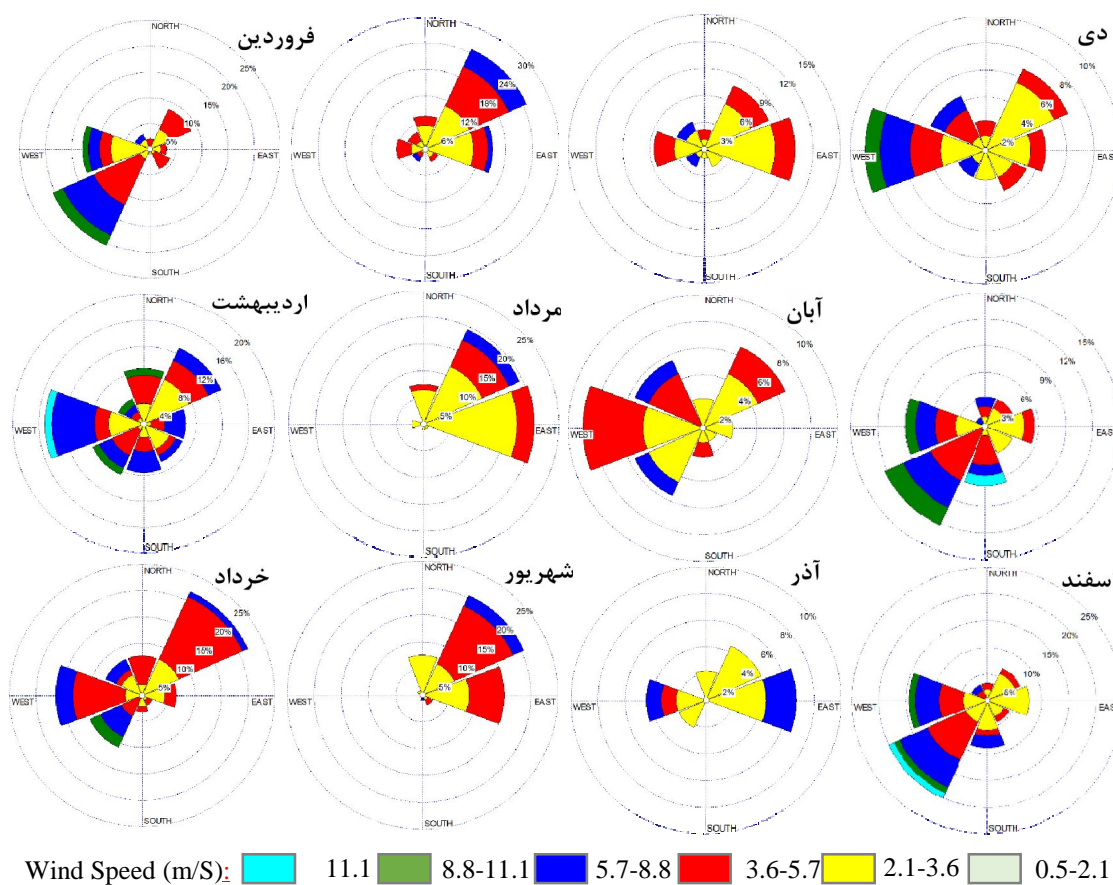
در جدول ۱ برخی از خصوصیات آماری نرخ فرونشست گرد و غبار شهر اصفهان در طول ماه‌های نمونه برداری ارائه شده است. مطابق این جدول، توزیع نرخ فرونشست گرد و غبار در تمام ماه‌ها از توزیع نرمال پیروی می‌کند. با مقایسه نرخ فرونشست گرد و غبار طی ماه‌های مورد مطالعه مشاهده می‌شود که کمترین میزان این پارامتر مربوط به ماه آذر با میانگین ۲/۱۳ گرم بر مترمربع در ماه می‌باشد، در حالی که بیشترین میزان آن با میانگین ۸/۰۵ گرم بر مترمربع در ماه به تیرماه اختصاص دارد. از نظر آماری بالاترین نرخ فرونشست گرد و غبار در ماه‌های خرداد و تیر وجود دارد و روند کاهشی در میزان این پارامتر به سمت فصول پاییز و زمستان مشاهده می‌گردد. به طوری که در تابستان اختلاف نرخ فرونشست گرد و غبار در ماه تیر با ماه‌های مرداد و شهریور در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار است.

در فصل پاییز روند کاهشی نرخ فرونشست گرد و غبار از

جدول ۱. خصوصیات آماری نرخ فرونشست گرد و غبار (گرم بر مترمربع در ماه) طی ماه‌های نمونه‌برداری در شهر اصفهان

سال	ماه نمونه‌برداری	میانگین	حداقل	حداکثر	چولگی	کشیدگی	واریانس
۱۳۹۱	خرداد	۷/۸۶ <sup>a</sup>	۲/۰۶	۱۴/۰۶	-۰/۰۶	۰/۴۱	۸/۰۵
	تیر	۸/۰۵ <sup>a</sup>	۱/۹۴	۱۳/۱۱	-۰/۶۵	۱/۲۴	۶/۰۰
	مرداد	۵/۶۳ <sup>bc</sup>	۱/۵۶	۱۰/۲۰	۰/۴۲	۲/۹۸	۲/۹۰
	شهریور	۶/۶۰ <sup>b</sup>	۲/۰۹	۱۰/۰۰	۰/۵۹	۱/۹۶	۲/۸۷
	مهر	۶/۳۰ <sup>b</sup>	۲/۰۸	۹/۷۳	-۰/۵۴	۰/۲۱	۳/۶۴
	آبان	۴/۶۰ <sup>cd</sup>	۱/۹۳	۷/۴۳	۰/۲۳	-۱/۰۹	۲/۷۰
	آذر	۲/۱۳ <sup>e</sup>	۰/۳۳	۴/۶۱	۰/۳۳	-۰/۶۰	۱/۳۰
	دی	۴/۴۰ <sup>cd</sup>	۱/۱۲	۸/۸۴	۰/۶۹	۱/۱۰	۳/۶۳
	بهمن	۴/۷۶ <sup>cd</sup>	۰/۷۸	۹/۴۳	۰/۵۶	-۰/۱۱	۵/۶۳
۱۳۹۲	فروردین	۳/۹۵ <sup>d</sup>	۲/۰۰	۷/۴۴	۰/۶۵	۰/۰۹	۲/۱۲
	اردیبهشت	۴/۳۴ <sup>cd</sup>	۱/۰۴	۹/۶۶	۰/۶۱	-۰/۶۲	۶/۴۶

میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح ۵٪ آزمون دانکن اختلاف معنی‌دار ندارند



جدول ۲. میانگین برخی خصوصیات جوی طی ماه‌های مورد مطالعه در شهر اصفهان

سال	ماه	دمای حداکثر (°C)	دمای حداقل (°C)	بارندگی ۲۴ ساعته (mm)	حداکثر سرعت باد (m/s)	سرعت متوسط باد (m/s)	رطوبت نسبی (%)
۱۳۹۱	خرداد	۳۳/۲۳	۱۸/۳۴	۰/۰۸	۷/۲۶	۳/۳۰	۱۸/۵۰
	تیر	۳۶/۷۲	۲۱/۰۷	۰	۵/۹۷	۲/۳۴	۱۸/۴۵
	مرداد	۳۵/۹۰	۱۹/۱۳	۰	۵/۲۹	۱/۵۲	۱۷/۵۶
	شهریور	۳۳/۴۳	۱۶/۵۰	۰	۵/۶۱	۱/۶۶	۲۱/۴۶
	مهر	۲۷/۷۷	۱۱/۷۰	۰/۳۳	۵/۰۳	۱/۰۵	۲۸/۳۰
	آبان	۲۰/۵۴	۷/۲۳	۰/۷۲	۴/۶۷	۱/۱۲	۴۷/۲۴
	آذر	۱۱/۰۴	۱/۱۷	۲/۲۰	۲/۸۷	۰/۶۶	۷۱/۱۲
	دی	۹/۶۹	-۲/۲۱	۰/۶۸	۴/۳۷	۱/۲۹	۵۸/۴۰
	بهمن	۱۵/۹۱	۰/۶۵	۰/۱۴	۶/۷۷	۲/۱۳	۳۹/۵۵
۱۳۹۲	اسفند	۱۸/۲۸	۴/۸۵	۰/۹۴	۷/۸۳	۲/۹۰	۳۶/۳۰
	فروردین	۲۲/۵۷	۸/۶۶	۰/۵۷	۷/۶۸	۲/۶۱	۳۶/۹۶
	اردیبهشت	۲۵/۱۲	۱۱/۲۸	۰/۵۷	۸/۱۰	۳/۴۴	۳۲/۱۳

به این جدول مشاهده می‌شود که بالاترین میزان دمای حداکثر و حداقل مربوط به ماه‌های تیر و مرداد و کمترین میزان این دو پارامتر مربوط به دی ماه می‌باشد. از طرف دیگر ماه‌های خرداد تا شهریور دارای حداقل میزان بارندگی ۲۴ ساعته می‌باشند و حداکثر میزان این پارامتر در آذر ماه مشاهده می‌شود. میانگین حداکثر سرعت باد و سرعت متوسط باد در ماه‌های خرداد تا مهر دارای بالاترین مقادیر می‌باشند و سپس روند کاهشی در میزان این دو پارامتر از آبان تا دی و دوباره روند افزایشی آنها رو به ماه‌های دوم و سوم زمستان و اوایل فصل بهار مشاهده می‌شود. میزان رطوبت نسبی روند نسبتاً مشابهی با میزان بارندگی ۲۴ ساعته دارد و بیشترین و کمترین مقادیر آن به ترتیب مربوط به ماه‌های آذر و مرداد می‌باشد.

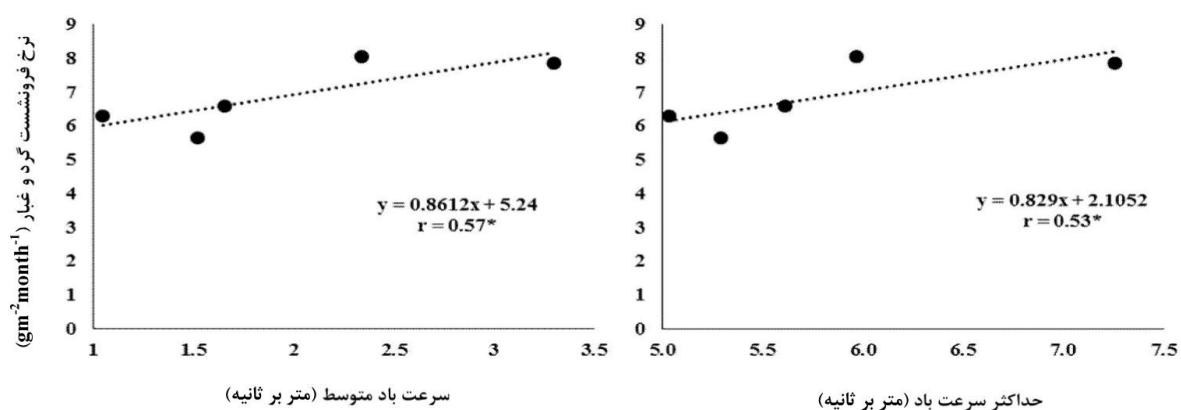
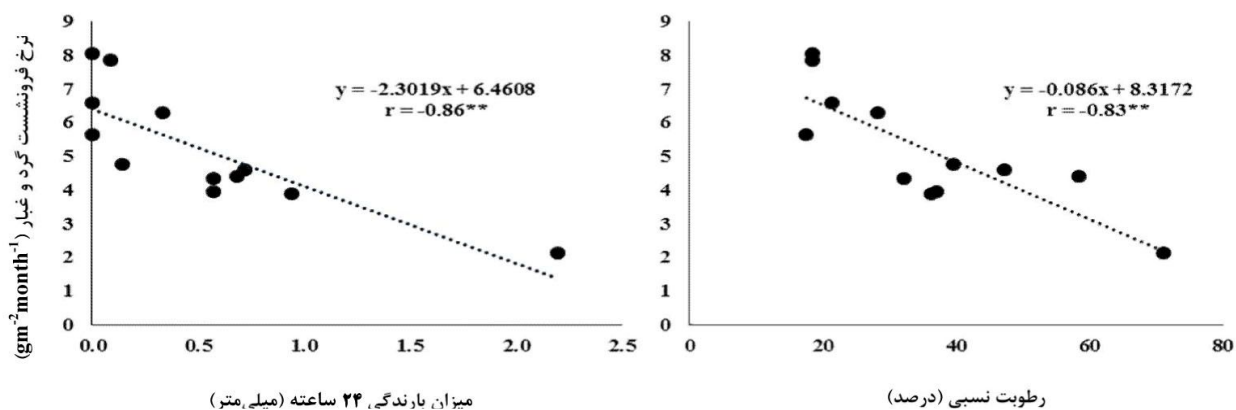
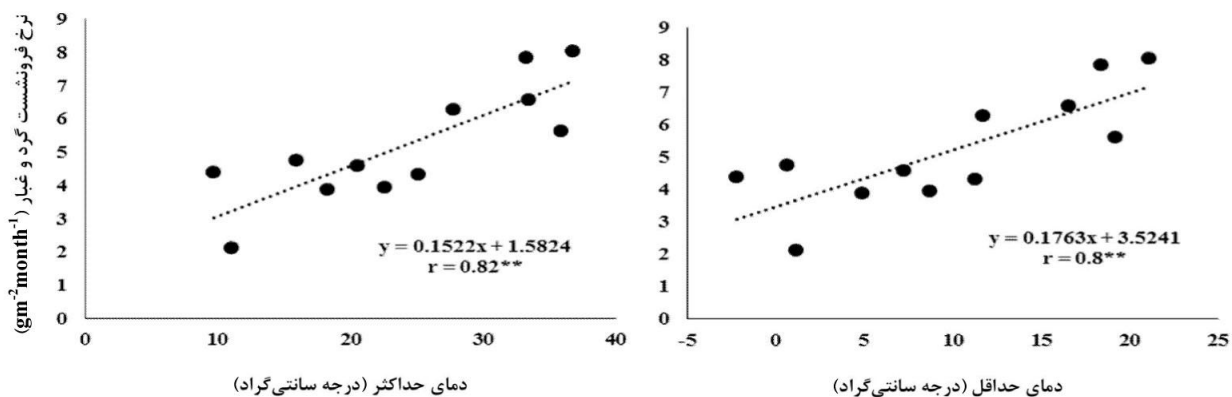
در اشکال ۳ تا ۵ نمودارهای همبستگی بین نرخ فرودنشست گرد و غبار در هر ماه با میانگین دمای حداقل و حداکثر، میزان بارندگی ۲۴ ساعته و رطوبت نسبی و میانگین سرعت حداکثر و متوسط باد طی ماه‌های نمونه برداری رسم شده است.

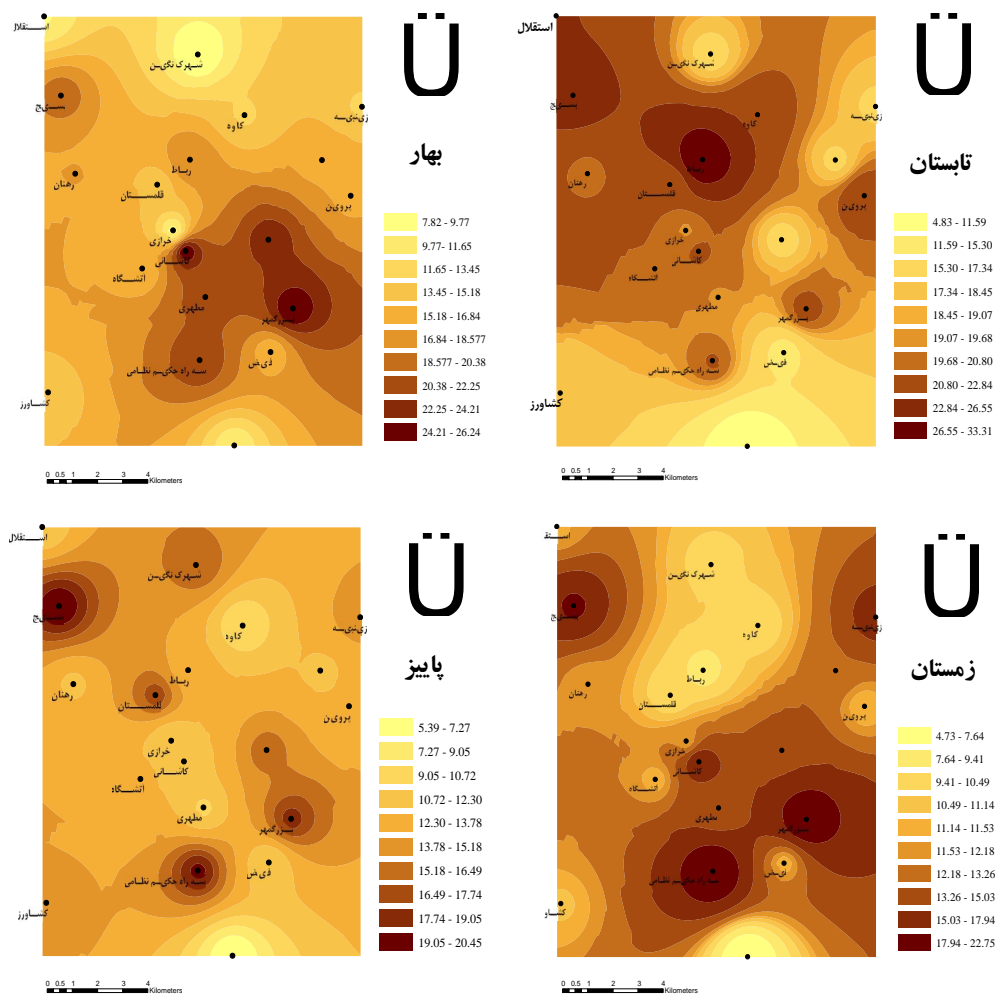
در شکل ۳ نمودارهای همبستگی دمای حداقل و دمای

ابتدا تا انتهای فصل کاملاً مشهود و معنی‌دار است. در فصل زمستان اختلاف معنی‌دار آماری در مقدار این پارامتر بین ماه‌ها مشاهده نمی‌شود، در حالی که اختلاف نرخ فرودنشست گرد و غبار در این فصل با سایر فصول معنی‌دار است. در دو ماه ابتدایی فصل بهار نیز اختلاف معنی‌داری با فصل زمستان در میزان این پارامتر وجود ندارد، در حالی که در خرداد ماه نرخ فرودنشست گرد و غبار افزایش چشمگیر و معنی‌داری می‌یابد.

**ارتباط نرخ فرودنشست گرد و غبار با برخی پارامترهای جوی**  
در شکل ۲ الگوی جهت وزش باد در شهر اصفهان طی ۱۲ ماه مورد مطالعه نشان داده شده است. مطابق این شکل در ماه‌های خرداد، تیر، مرداد، شهریور و مهر، باد غالب منطقه در جهت شرقی و شمال شرقی می‌وزد و در ماه‌های آبان تا اردیبهشت، شاهد تغییر جهت باد غالب منطقه به سمت غرب و جنوب غرب هستیم.

مقادیر میانگین برخی خصوصیات جوی در شهر اصفهان طی ماه‌های نمونه برداری در جدول ۲ آورده شده است. با توجه





شکل ۶. نقشه توزیع مکانی نرخ فرونشست گرد و غبار (گرم بر مترمربع در فصل) طی چهار فصل در شهر اصفهان

و حداکثر دما طی فصول پاییز و زمستان، جهت باد غالب منطقه نیز تغییر جهت می‌دهد. در شکل ۴، همبستگی بین میزان بارندگی ۲۴ ساعته و رطوبت نسبی با نرخ فرونشست گرد و غبار نشان می‌دهند که با افزایش مقادیر این دو پارامتر در منطقه میزان فرونشست گرد و غبار کاهش چشمگیری پیدا می‌کند. ضرایب همبستگی بالا و منفی این پارامترها با نرخ فرونشست گرد و غبار (۰/۸۶- و ۰/۸۳-)، مؤید این مطلب است که تأثیر بارندگی و رطوبت نسبی بر کاهش میزان گرد و غبار فرونشسته بر سطح اجتناب‌ناپذیر است.

حداکثر با نرخ فرونشست گرد و غبار نشان می‌دهند که همبستگی بالا و معنی‌دار در سطح ۱ درصد (۰/۸ و ۰/۸۲) بین پارامترهای مذکور وجود دارد. به این معنی که با افزایش حداقل و حداکثر درجه حرارت در منطقه مورد مطالعه نرخ فرونشست گرد و غبار نیز افزایش می‌یابد. افزایش دما در منطقه به‌طور طبیعی با کاهش میزان بارندگی و رطوبت نسبی در ماه‌های گرم سال مرتبط است. در ماه‌های خرداد تا شهریور که بالاترین دمای حداقل و حداکثر و نرخ فرونشست گرد و غبار وجود دارد، الگوی وزش باد نیز جهت باد غالب شرقی را نشان می‌دهد (شکل ۲). این در حالی است که با کاهش میزان حداقل

را مشاهده کرد (جدول ۱)، که این نتیجه تا حدود زیادی منطبق بر نتایج حاصل از سایر مطالعات می‌باشد.

در مطالعه‌ای روی نرخ فرونشست گرد و غبار در شهر شوویخ کویت، گزارش شد که اختلاف نرخ فرونشست گرد و غبار در میان ماه‌های مختلف نمونه‌برداری در سال ۲۰۰۹ معنی‌دار می‌باشد و بالاترین نرخ فرونشست در ماه‌های ژوئن و آگوست با دامنه  $۷۶/۴$  تا  $۹۷/۶ \pm ۲/۵$  گرم بر مترمربع در ماه گزارش شد. در حالی که کمترین نرخ فرونشست گرد و غبار با دامنه  $۱۴ \pm ۱/۲$  تا  $۱۹ \pm ۱/۴$  گرم بر مترمربع در ماه در ماه‌های اکتبر و نوامبر مشاهده شد و ماه‌های دسامبر، ژانویه و فوریه با دامنه نرخ فرونشست گرد و غبار به میزان  $۲۵/۵ \pm ۱/۳$  تا  $۱/۵ \pm ۳۰/۵$  گرم بر مترمربع در ماه نیز به‌عنوان ماه‌های دارای حد متوسط میزان فرونشست گرد و غبار در این منطقه گزارش شدند (۵). نرخ فرونشست گرد و غبار در نیوزیلند بین  $۰/۲۱$  تا  $۱۱/۸۹$  گرم بر مترمربع در ماه و بالاترین نرخ فرونشست گرد و غبار در فصل تابستان و به سبب فراوانی بادهای مناسب انتقال گرد و غبار و کاهش بارش گزارش شده است (۱۲).

بررسی روند نرخ فرونشست گرد و غبار در شهر کرمان طی ۷ ماه نمونه‌برداری از اردیبهشت تا آبان سال ۱۳۹۱ نشان داد که بیشترین و کمترین میزان متوسط نرخ فرونشست گرد و غبار به ترتیب مربوط به ماه‌های اردیبهشت و آبان با مقادیر  $۱۷/۴$  و  $۵$  گرم بر مترمربع در ماه می‌باشند و روند کاهشی در نرخ فرونشست گرد و غبار از ابتدا تا انتهای دوره نمونه‌برداری وجود دارد (۱). ندفافی و همکاران (۱۶) بالاترین نرخ فرونشست گرد و غبار در یزد را در دوره نمونه‌برداری آگوست تا سپتامبر و کمترین میزان آن را در دوره اکتبر تا نوامبر و به ترتیب  $۹/۷۴$  و  $۳/۱۳$  گرم بر مترمربع در ماه گزارش نمودند. نتایج مطالعه روی نرخ فرونشست گرد و غبار در فصل بهار سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ در ۱۸ نقطه شهر بیجینگ چین نشان داد که نرخ فرونشست گرد و غبار در این دو سال به ترتیب بین  $۳۳/۶۲$  و  $۲۸/۷۱$  گرم بر مترمربع تغییر می‌کند (۲۱). منندز و همکاران (۱۴) نیز در جزایر قناری نرخ فرونشست گرد و غبار

از دیگر عوامل جوی تأثیرگذار بر نرخ فرونشست گرد و غبار، سرعت باد منطقه می‌باشد. در مطالعه حاضر همبستگی معنی‌داری میان نرخ فرونشست گرد و غبار با میزان میانگین حداکثر سرعت و سرعت متوسط باد طی ۱۲ ماه نمونه‌برداری گرد و غبار مشاهده نشد (شکل نشان داده نشده است). در حالی که با بررسی همبستگی این دو پارامتر در ماه‌های خشک سال (خرداد تا مهر ماه)، نتایج نشان دادند که همبستگی معنی‌داری میان نرخ فرونشست گرد و غبار با حداکثر سرعت و سرعت متوسط باد ( $۰/۵۳$  و  $۰/۵۷$ ) وجود دارد (شکل ۵) و با افزایش سرعت باد نرخ فرونشست گرد و غبار افزایش می‌یابد.

### توزیع مکانی نرخ فرونشست گرد و غبار

به منظور بررسی توزیع مکانی نرخ فرونشست گرد و غبار در شهر اصفهان، نقشه پهنه‌بندی فصلی این پارامتر (مجموع میانگین‌های سه ماهه هر فصل) در شکل ۶ ارائه شده است. در فصول بهار و زمستان بیشترین میزان فرونشست گرد و غبار در مناطق مرکزی و شرقی شهر مشاهده می‌شود که به سمت غرب از شدت آن کاسته می‌شود. با این حال مناطق غربی میزان گرد و غبار بیشتری نسبت به مناطق شمالی و جنوبی شهر دریافت نموده‌اند. در فصل تابستان بالاترین میزان فرونشست در بخش‌های شمال‌غربی و مرکزی شهر مشاهده می‌شود، در حالی که در فصل پاییز با بیشترین میزان بارندگی، از میزان گرد و غبار در مرکز شهر تا حدود زیادی کاسته شده ولی همچنان بخش‌هایی از شمال‌غرب، غرب و شرق دارای گرد و غبار می‌باشند.

### بحث

در مطالعه حاضر کمترین و بیشترین نرخ فرونشست گرد و غبار به ترتیب در ماه‌های آذر ( $۲/۱۳$  گرم بر متر مربع در ماه) و تیر ( $۸/۰۵$  گرم بر مترمربع در ماه) مشاهده شد و به‌طور کلی می‌توان روند کاهشی در نرخ فرونشست گرد و غبار از ماه‌های خشک (خرداد تا مهر) به سمت ماه‌های مرطوب (آبان تا اردیبهشت)

را ۱/۴۲ تا ۶/۶ گرم بر مترمربع در ماه گزارش نمودند.

در حالی که محمودی (۴)، با مطالعه نرخ فرونشست گرد و غبار در شهرهای اصفهان، خمینی شهر، زرین شهر و مبارکه طی دوره ۴ ماهه (مرداد تا آذر ۱۳۸۹)، حداقل نرخ فرونشست گرد و غبار را در مهرماه با نرخ ۶/۳ و حداکثر آن را در دوره آبان-آذر با نرخ ۹/۵۷ گرم بر مترمربع در ماه گزارش نمود و پایین‌ترین نرخ فرونشست گرد و غبار را برای شهرهای زرین شهر و مبارکه گزارش کرد. کائو و همکاران (۶) نیز با بررسی برخی ویژگی‌های فیزیکی، نحوه توزیع و میزان فرونشست ذرات اتمسفری در شهر زیان در مرکز چین به این نتیجه رسیدند که نرخ فرونشست ذرات اتمسفری در این شهر دارای دامنه ۱/۲۲ تا ۲۹/۲ گرم بر مترمربع در ماه است که با میانگین ۶/۴ گرم بر مترمربع در ماه و معادل ۷۶/۷ گرم بر مترمربع در سال رتبه یازدهم نرخ فرونشست گرد و غبار را در میان ۵۶ نرخ فرونشست گرد و غبار مطالعه شده در جهان به خود اختصاص می‌دهد. بررسی‌های این محققان نشان داد که بالاترین نرخ فرونشست گرد و غبار در این منطقه در فصول زمستان و بهار رخ می‌دهد، در حالی که در سایر مطالعات انجام شده در شهرهای لانژو و کینگدائو چین بالاترین میزان فرونشست گرد و غبار طی ماه‌های می و دسامبر گزارش شده است. محققان این تغییر الگو در نرخ فرونشست گرد و غبار در شهر زیان را به افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی به‌منظور گرمایش ساختمان‌های مسکونی و تجاری و همچنین به انتقال گرد و غبارهای آسیایی از مناطق منگولیا و پلاتوهای لسی طی فصول بهار و زمستان نسبت دادند

تا و همکاران (۲۰) با مطالعه گرد و غبار فرونشسته در استان گانسو چین گزارش نمودند که بالاترین نرخ فرونشست گرد و غبار در ماه‌های فصل بهار و کمترین میزان آن در ماه‌های فصل پاییز اتفاق می‌افتد و فصول تابستان و زمستان در میانه قرار دارند و نرخ فرونشست گرد و غبار در بحر میت در زمستان و تابستان کمترین و در پاییز و بهار دارای بیشترین میزان گزارش شد (۱۹).

نتایج حاصل از بررسی خصوصیات اقلیمی منطقه و ارتباط آنها با نرخ فرونشست گرد و غبار طی ۱۲ ماه نمونه‌برداری نشان داد که نرخ فرونشست گرد و غبار با دمای حداقل و حداکثر رابطه مثبت و معنی‌دار (شکل ۳) و با مقدار بارندگی و رطوبت نسبی همبستگی منفی و معنی‌دار (شکل ۴) نشان می‌دهد. ندافی و همکاران (۱۶)، با مطالعه نرخ فرونشست گرد و غبار در یزد طی دوره ۴ ماهه به این نتیجه رسیدند که بین نرخ فرونشست گرد و غبار و میزان بارندگی همبستگی معنی‌داری وجود دارد و با کاهش بارندگی، نرخ فرونشست افزایش می‌یابد. اگرچه در مطالعه آنها رابطه معنی‌داری بین دما و میزان فرونشست گرد و غبار گزارش نشد. تا و همکاران (۲۰)، نیز نتیجه گرفتند که رابطه معکوسی میان بارندگی و نرخ فرونشست گرد و غبار وجود دارد و در یک سرعت مشخص باد، با افزایش بارندگی میزان گرد و غبار کاهش چشمگیری پیدا می‌کند.

برخلاف نتایج حاصل از این مطالعه در خصوص عدم وجود رابطه معنی‌دار میان نرخ فرونشست گرد و غبار با سرعت باد در تمام ماه‌های مورد مطالعه و مطابقت آن با نتایج حاصل از پژوهش تا و همکاران (۲۰)، برخی محققان طی مطالعات خود همبستگی معنی‌داری میان این دو پارامتر گزارش نموده‌اند (۱ و ۱۶). اگرچه نتایج مطالعه حاضر نشان دادند که در ماه‌های خشک سال با افزایش سرعت باد نرخ فرونشست گرد و غبار افزایش می‌یابد (شکل ۵).

در مطالعه‌ای در جنوب غرب آمریکا بر روی تأثیر پارامترهای جوی و پوشش گیاهی بر نرخ فرونشست گرد و غبار، محققان نتیجه‌گیری کردند که نرخ فرونشست گرد و غبار با شدت گرفتن طوفان‌های تابستانی افزایش و با ازدیاد میزان رطوبت در زمستان کاهش می‌یابد و در مناطق مرتفع، خشکی موجب افزایش شدت انتشار گرد و غبار خواهد شد و بیان نمودند که تغییر پوشش گیاهی از گیاهان چند ساله به گیاهان یکساله به علت حساسیت این گیاهان به خشکی در طول دوره جوانه‌زنی، موجب افزایش نرخ فرونشست گرد و غبار خواهد

که بارندگی و حضور پوشش گیاهی به خاطر تأثیری که بر سرعت باد و اندازه ذرات خواهند داشت، مقدار گرد و غبار هوا را به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌دهند.

در سایر ماه‌ها علیرغم ادامه فعالیت‌های انسانی تولیدکننده گرد و غبار، با تغییر جهت باد غالب منطقه به سمت غرب و جنوب غرب شاهد کاهش معنی‌دار نرخ فرونشست گرد و غبار در شهر اصفهان هستیم که می‌تواند بیانگر تغییر منبع ورودی احتمالی گرد و غبار و یا تأثیر سایر پارامترهای اقلیمی بر میزان فرونشست گرد و غبار در این ماه‌ها باشد. بادهای غالب غربی اگرچه سرعت بالایی دارند ولی به دلیل منبع تولیدشان حامل ذرات گرد و غبار نیستند و از آنجایی که در فصول سرد سال می‌وزند، عمدتاً منجر به بارش و افزایش رطوبت نسبی شده و در نهایت کاهش نرخ فرونشست گرد و غبار در شهر را موجب می‌گردند. لازم به ذکر است که تعیین منشأ و منبع دقیق تولید گرد و غبار در شهر اصفهان نیازمند مطالعه بیشتر و انجام آنالیزهای آزمایشگاهی جامع‌تر در منطقه می‌باشد.

در خصوص پراکنش مکانی نرخ فرونشست گرد و غبار طی فصول مختلف در شهر اصفهان، این گونه به نظر می‌رسد که در فصول بهار و زمستان با جهت باد غالب غربی و جنوب‌غربی، با افزایش بارندگی و چسبندگی ذرات خاک به هم، اندازه ذرات گرد و غبار منشأ یافته از شرق، درشت‌تر شده و در فاصله نزدیک‌تری به منبع فرونشسته‌اند و از این رو بالاترین میزان نرخ فرونشست گرد و غبار در مناطق شرقی و مرکزی شهر مشاهده می‌گردد. در حالی که، بادهای غالب شرقی و شمال‌شرقی در طول سه ماه فصل تابستان، ذرات خشک و ریزتر خاک را از شرق اصفهان برداشت نموده و با کاهش سرعت و فاصله گرفتن از منبع برداشت، گرد و غبار را در قسمت‌های غربی شهر فرونشاندند. از آنجایی که در ماه‌های فصل پاییز بادهای غالب در جهات مختلف می‌وزند، در این فصل، بسته به میزان سرعت باد، جهت باد غالب و پراکنش بارندگی در نقاط مختلف شهر، توزیع پراکنده گرد و غبار در سطح شهر وجود دارد. به‌طور کلی کمترین میزان غبار دریافتی طی چهار فصل

شد (۱۸). در مطالعه الهربی (۵) در کویت نیز گزارش شد که ماه‌های دارای بیشترین بادهای حاوی گرد و غبار و کمترین میزان رطوبت نسبی دارای بالاترین نرخ فرونشست گرد و غبار و ماه‌های دارای بیشترین میزان بارندگی دارای کمترین نرخ فرونشست گرد و غبار در منطقه می‌باشند. همچنین، علاوه بر عوامل مذکور، تغییر جهت و سرعت باد طی ماه‌های مختلف نمونه‌برداری نیز به‌عنوان دو عامل مؤثر روی نرخ فرونشست گرد و غبار گزارش شدند.

در مطالعه حاضر خصوصیات اقلیمی منطقه و روابط و همبستگی‌های موجود بین آنها با نرخ فرونشست گرد و غبار تا حد زیادی توجیه‌کننده توزیع زمانی نرخ فرونشست گرد و غبار طی ماه‌های مختلف سال می‌باشد. مطابقت الگوی جهت شرقی و شمال‌شرقی وزش باد غالب منطقه در ماه‌های خرداد، تیر، مرداد، شهریور و مهر با بیشترین نرخ فرونشست گرد و غبار در این ماه‌ها نسبت به سایر ماه‌های مورد مطالعه می‌تواند این فرضیه را که مهم‌ترین منبع تولید گرد و غبار شهر اصفهان در شرق و در دشت سگزی واقع شده است (۳) را قوی‌تر نماید. از این رو می‌توان با احتمال زیاد منبع اصلی تولید گرد و غبار در شهر اصفهان را مناطق بیابانی شرق و شمال‌شرق اصفهان و دشت سگزی نام برد و بادهای غالب شمال‌شرق و شرق را اصلی‌ترین عامل انتقال ذرات از این مناطق به حساب آورد که با افزایش سرعت این بادهای نرخ فرونشست گرد و غبار نیز افزایش می‌یابد. همچنین به نظر می‌رسد که خشکی و عدم رطوبت و بارندگی در این ماه‌ها نیز دلیلی بر افزایش نرخ فرونشست گرد و غبار باشد.

با افزایش بارندگی و رطوبت نسبی، احتمالاً چسبندگی ذرات در مناطق تولید گرد و غبار افزایش یافته و منجر به کاهش تولید گرد و غبار در منطقه منبع و در نهایت کاهش آن در منطقه فرونشست می‌گردد. از طرف دیگر، بارندگی روی مقدار رطوبت خاک و پوشش گیاهی به‌عنوان دو فاکتور مهم کنترل‌کننده گرد و غبار تأثیر می‌گذارد و میزان تولید گرد و غبار را کاهش می‌دهد (۲۰). کوتیل و فورمن (۱۰) گزارش نمودند

مربوط به قسمت جنوبی شهر می‌باشد که حضور کوه‌های مناطق جنوبی (کوه صفه و شاهکوه) می‌توانند در این امر اثرگذار باشند. تعامل میان پارامترهایی چون ارتفاع نقاط نمونه‌برداری، نزدیکی نقاط نمونه‌برداری به مناطق مرتفع و کوهستانی، قرارگیری نقاط نمونه‌برداری در مناطق پرتراپیک و پرتردد، نزدیکی نقاط نمونه‌برداری به مناطق دارای عملیات عمرانی و قرارگیری آنها در مجاورت مناطق تولید گرد و غبار، فاصله مناطق تولید گرد و غبار از مناطق فرونشست گرد و غبار، جهت باد غالب منتقل‌کننده ذرات گرد و غبار و تفاوت در میزان و پراکنش بارش و سرعت باد در نقاط مختلف نمونه‌برداری در شهر منجر به تغییراتی در نحوه توزیع مکانی نرخ فرونشست گرد و غبار در منطقه مطالعاتی شده‌است.

وانگ و همکاران (۲۱) بیشترین نرخ فرونشست گرد و غبار در شهر بیجینگ چین در فصل بهار را در قسمت‌های جنوب‌غربی و شمال‌شرقی مرکز شهر گزارش نمودند و بیان کردند که کوه‌های بخش شمال‌غرب شهر دارای کمترین میزان گرد و غبار فرونشسته بر سطح هستند. این محققان گرد و غبار حاصل از خاک، گرد و غبار ساختمانی، گرد و غبار حاصل از زغال‌سنگ و گرد و غبار حاصل از وسایل نقلیه را به‌عنوان چهار منبع اصلی توزیع فرونشست گرد و غبار در سطح شهر معرفی کردند. جعفری (۱) بیشترین میزان فرونشست اتمسفری در شهر کرمان را به بخش‌های مرکزی، شمالی و شمال‌غربی شهر نسبت داد و از دلایل احتمالی آن به عملیات عمرانی و ساختمان‌سازی در مرکز شهر اشاره نمود.

## نتیجه‌گیری

بررسی روند نرخ فرونشست گرد و غبار اتمسفری طی ۱۲ ماه نمونه‌برداری در شهر اصفهان، نشان داد که بیشترین و کمترین نرخ فرونشست گرد و غبار به ترتیب به ماه‌های تیر و آذر

اختصاص دارند و میزان فرونشست گرد و غبار در بهار و تابستان دارای بالاترین میزان است که رو به فصول پاییز و زمستان این مقدار کاهش می‌یابد و این جریان همسو با تغییر جهت باد غالب منطقه طی فصول مختلف می‌باشد. به طوری که با تغییر جهت باد غالب از شرق و شمال‌شرق در ماه‌های خشک سال، به سمت غرب و جنوب‌غرب در ماه‌های با بارش بیشتر، نرخ فرونشست گرد و غبار کاهش می‌یابد. که این مسأله دلیلی بر منشأ احتمالی ذرات گرد و غبار از منطقه بیابانی شرق اصفهان می‌باشد.

از طرفی همبستگی‌های مثبت و معنی‌دار بین نرخ فرونشست گرد و غبار با میزان دمای حداقل و حداکثر در تمام ماه‌های سال و با سرعت حداکثر و متوسط باد در ماه‌های خشک سال و همبستگی منفی و معنی‌دار این پارامتر با میزان بارش و رطوبت نسبی توجیه‌کننده زیاد بودن نرخ فرونشست گرد و غبار در ماه‌های خشک سال و کاهش مقدار آن در ماه‌های مرطوب می‌باشند. ذرات خاک مناطق بیابانی واقع در شرق اصفهان در ماه‌های خشک سال از سمت شرق وارد شهر اصفهان شده و به علت خشکی و ریزتر بودن ذرات و قدرت حمل بیشتر باد، در مناطق غربی شهر فرونشسته‌اند و در ماه‌های مرطوب با چسبندگی ذرات و بزرگ شدن اندازه آنها و کاهش یافتن قدرت حمل باد شاهد بالاترین نرخ فرونشست گرد و غبار در مناطق شرقی شهر هستیم.

شایان ذکر است که عوامل متعددی از جمله تردد، تراپیک و عملیات عمرانی نیز در توزیع مکانی نرخ فرونشست گرد و غبار در سطح شهر اثرگذار هستند. تعامل پیچیده میان عوامل جوی حاکم بر منطقه در طول سال تعیین‌کننده نرخ فرونشست گرد و غبار می‌باشند و فعالیت‌های انسانی در نقاط مختلف شهری نیز تأثیری دوچندان بر مقدار این پارامتر می‌گذارند.

## منابع مورد استفاده

۱. جعفری، ف. ۱۳۹۲. نرخ فرورنشست و برخی خصوصیات شیمیایی و کانی‌شناسی گرد و غبار اتمسفری در شهر کرمان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۲. رسولی، ع. ا.، ب. ساری صراف و غ. ح. محمدی. ۱۳۸۹. تحلیل روند وقوع پدیده اقلیمی گرد و غبار در غرب کشور در ۵۵ سال اخیر با استفاده از روش‌های آمارهای ناپارامتری. فصلنامه جغرافیای طبیعی. سال سوم ۹: ۱۵-۲۸.
۳. صالحی، م. ح. ۱۳۷۶. بررسی منشأ، عوامل و فرآیندهای تجمع نمک در خاک‌های دشت سگزی و تأثیر آنها بر فرسایش بادی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۴. محمودی، ز. ۱۳۹۰. بررسی خصوصیات ژئوشیمیایی و کانی‌شناسی گرد و غبار اتمسفری اصفهان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
5. AL-Harbi, M. 2015. Characteristics and composition of the falling dust in urban environment. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 12: 641-652.
6. Cao, Z., Y. Yang, J. Lu and C. Zhang. 2011. Atmospheric particle characterization, distribution, and deposition in Xian, Shaanxi Province, Central China. *Environ. Pollut.* 159: 577-584.
7. Engelstaedler, S., I. Tegen and R. Washington. 2006. North African dust emissions and transport. *Earth Sci. Rev.* 79: 73-100.
8. Goudie, A. S. and N. J. Middleton. 2001. Saharan dust storms: nature and consequences. *Earth Sci. Rev.* 56: 179-204.
9. Hojati, S., H. Khademi, A. Faz Cano and A. Landi. 2012. Characteristics of dust deposited along a Transect between central Iran and the Zagros Mountains. *Catena.* 88: 27-36.
10. Kutiel, H. and H. Furman. 2003. Dust storms in the Middle East: sources of origin and their temporal characteristics. *Indoor Built Environ.* 12: 419-426.
11. Lawrence, C. R. and J. C. Neff. 2009. The contemporary physical and chemical flux of aeolian dust: A synthesis of direct measurements of dust deposition. *Chem. Geol.* 267: 46-63.
12. Marx, S. A., H. A. McGowan. 2005. Dust transportation and deposition in a superhumid environment, West Coast, South Island, New Zealand. *Catena.* 59: 147-171.
13. 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.
14. Menendez, I., J. L. Diaz-Hernandez, J. Mangas, I. Alonso and P. J. Sanchez-Soto. 2007. Airborne dust accumulation and soil development in the North-East sector of Gran Canaria (Canary Islands, Spain). *J. Arid. Environ.* 71: 57-81.
15. Miri, A., H. Ahmadi, M. R. Ekhtesasi, N. Panjehkeh and A. Ghanbari. 2009. Environmental and socio-economic impacts of dust storms in Sistan Region, Iran. *Int. J. Environ. Studies* 66: 343-355.
16. Naddafi, N., R. Nabizadeh, Z. Soltanianzadeh and M. H. Ehrampoosh. 2006. Evaluation of dustfall in the air of Yazd. *J. Environ. Health. Sci. Eng.* 3: 161-168.
17. Reheis, M. C. and R. Kihl. 1995. Dust deposition in southern Nevada and California, 1984-1989: relations to climate, source area, and source lithology. *J. Geophys. Res.* 100 (D5): 8893-8918.
18. Reheis, M. C. and F. E. Urban. 2011. Regional and climatic controls on seasonal dust deposition in the southwestern U.S. *Aeolian Res.* 3: 3-21.
19. Singer, A., E. Ganor, S. Dultz and W. Fischer. 2003. Dust deposition over the Dead Sea. *J. Arid Environ.* 53: 41-59.
20. Ta, W., H. Xiao, J. Qu, Z. Xiao, G. Yang, T. Wang and X. Zhang. 2004. Measurements of dust deposition in Gansu Province, China, 1986-2000. *Geomorphology* 57: 41-51.
21. Wang, R., X. Zou, H. Cheng, X. Wu, C. Zhang, and L. Kang. 2015. Spatial distribution and source apportionment of atmospheric dust fall at Beijing during spring of 2008-2009. *Environ Sci Pollut Res.* 22 (5): 3547-3557.
22. Wang, S., W. Yuan and K. Shang. 2006. The impacts of different kinds of dust events on PM<sub>10</sub> pollution in northern China. *Atmos. Environ.* 40: 7975-7982.
23. Xuan, J., I. N. Sokolik, J. Hao, F. Guo, H. Mao and G. Yang. 2004. Identification and characterization of sources of atmospheric mineral dust in East Asia. *Atmos. Environ.* 38: 6239-6252.