

ویژگی‌های مغناطیسی ذرات معلق انباشته روی برگ چنار برای پایش آلودگی هوا در تهران

سارا عباسی^{۱*}، عاتکه اصلانی^۲، حبیب علی محمدیان^۳، سید محسن حسینی^۴،
نعمت اله خراسانی^۵، عبدالرضا کرباسی^۶

۱ دکتری محیط زیست، دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، ایران
۲ کارشناسی ارشد زمین شناسی، آزمایشگاه محیط و دیرین مغناطیس، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران
۳ دکتری زمین شناسی (زمین شناسی ژئوکرونولوژی)، ایران
۴ ستاد گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، ایران
۵ استاد گروه محیط زیست، دانشگاه تهران، دانشکده منابع طبیعی، ایران
۶ دانشیار گروه محیط زیست، دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۳/۲۵؛ تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۰۴/۰۹)

چکیده

پایش خواص مغناطیسی ذرات معلق در هوا که بر روی برگ درختان ترسیب شده‌اند اطلاعات مفیدی از توزیع فضایی ذرات معلق را در مناطق شهری و صنعتی فراهم می‌آورد. مطالعه حاضر با هدف بسط و توسعه به‌کارگیری روش مغناطیس سنجی محیطی برای مطالعه آلودگی‌های محیط‌زیست در ایران و بررسی و پایش آلاینده‌های فلزی هوا ناشی از تردد خودروها در برخی از نقاط پرتراфик تهران انجام گرفت. برگ‌های درختان چنار در مناطق درونی پارک چیتگر به عنوان منطقه پاک و میدان آزادی و پل گیشا به عنوان منطقه پرتردد جمع‌آوری شد. در هر ناحیه پایه‌های درختی سالم در کم‌ترین فاصله از خیابان به صورت تصادفی انتخاب شد. جهت قرارگیری درختان نسبت به خیابان و نور خورشید و جهت وزش باد یکسان در نظر گرفته شد. برگ‌های کاملاً سالم از خارجی‌ترین قسمت تاج‌پوشش هر از سمت خیابان، از ارتفاع حداقل ۱/۵ تا ۲ متری از سطح زمین جمع‌آوری شد. برگ‌ها در نایلون‌های لفافه‌دار در مخزن یخ با حداقل تماس دست قرار داده و در کوتاه‌ترین زمان به آزمایشگاه منتقل شد. مولفه‌های مغناطیسی اعم از پسماند مغناطیسی طبیعی، پذیرفتاری مغناطیسی جرمی، پسماند مغناطیسی ایزوترمال و پسماند مغناطیسی القایی اشباع شده در نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. غلظت مس، آهن، سرب و کادمیوم با طیف سنج جرمی اندازه‌گیری و رابطه بین مولفه‌های مغناطیسی و فلزات بررسی شد. نتایج نشان داد که بالاترین ارزش پذیرفتاری و پسماند مغناطیسی اشباع برگ با ترافیک بالاتر خودروها در آزادی و گیشا در ارتباط است. بررسی ترکیب ذرات در منطقه چیتگر، ترکیبی از کانی‌های فرومغناطیسی سخت مانند هماتیت با غلظت بالا و کانی‌های فرومغناطیس نرم با غلظت کم را نشان داد که حاصل فعالیت صنایع پیرامونی و ترافیک بزرگراه تهران-کرج است. سهم حضور کانی‌های مغناطیسی نرم در هر دو منطقه آزادی و گیشا در مقایسه با چیتگر بالاتر بود. در آزادی اندازه ذرات بزرگ‌تر بوده و رفتار کانی‌ها نشان‌دهنده ترکیبی از حضور کانی‌های نرم و کانی‌های سخت بود، در حالی که اندازه ذرات در گیشا کوچک‌تر بود.

کلید واژه‌ها: فلزات سنگین، ویژگی‌های مغناطیسی، برگ چنار، پذیرفتاری مغناطیسی، پسماند مغناطیسی القایی اشباع شده

سرآغاز

ذرات معلق آلاینده هوا از احتراق سوخت‌های فسیلی در صنایع، فعالیت‌های خانگی و وسایل نقلیه، گازهای صنعتی و فرونشست ذرات ناشی از سایش و فرسایش مواد معدنی، پوستانه‌ای و اتمسفری به وجود می‌آیند (Mejia Echeverry et al., 2018). از پایش و مطالعه این ذرات برای بررسی کیفیت هوای شهرها و مناطق صنعتی استفاده می‌شود. حاشیه خیابان‌ها و جاده‌ها در مناطق شهری معمولاً با ذرات ریز ناشی از ترافیک آلوده می‌شود. ذرات معلق ناشی از گرد و غبار اتومبیل‌ها ممکن است تا مدت‌ها در اتمسفر باقی بماند و در نهایت در محیط‌زیست پیرامونی به صورت گرد و غبارهای خیابانی، خاک‌های کنار جاده‌ها، ساختمان‌ها و پوشش گیاهی نشست کند (Zhang et al., 2006; Gautam et al., 2005). بیشتر این ذرات حاوی فلزات سنگین هستند (Matzaka & Maher, 1999). مطالعه‌های متعددی در دهه‌های اخیر برای ابداع و به‌کارگیری روش‌های اقتصادی و غیرمخرب برای تشخیص آلودگی گرد و غبار هوا شکل گرفته است. در این مطالعه‌ها علاوه بر استفاده از فن‌آوری‌های پیشرفته در پیشگیری و بهبود آلاینده‌های هوا، استفاده از مکانیسم‌های طبیعی برای پایش و نظارت و اندازه‌گیری ذرات معلق آلاینده هوا مورد تأکید قرار گرفته است. در سال‌های اخیر با گسترش علم «مغناطیس‌سنجی محیطی»^(۱) استفاده از خواص مغناطیسی^(۲) عوامل زیستی برای نظارت بر ذرات معلق در جو به‌طور فزاینده‌ای مورد استفاده قرار گرفته است (Hofman et al., 2017; Kardel et al., 2012; Mitchell et al., 2010; Moreno et al., 2003). ذرات مغناطیسی^(۳) از اجزای معمول و رایج سوخت‌های فسیلی آلوده‌کننده هوا محسوب می‌شوند (Hofman et al., 1994; Flanders, 2017). اندازه‌گیری پارامترهای مغناطیسی روش دقیقی برای بررسی آنومالی‌های مغناطیسی ناشی از عوامل طبیعی و انسان‌ساخت است (Bogacki & Zawadzki, 2017). پوشش گیاهی ابزار مهمی برای حذف ذرات گرد و غبار از اتمسفر است (Hofman et al., 2017; Simonich & Hites, 1995). زیست‌ردیابی مغناطیسی^(۴) را می‌توان براساس ویژگی‌های آناتومیک، مرفولوژیکی و فیزیولوژیکی و یا تجزیه و تحلیل عناصر در گل‌سنگ، خزه و علف و پوست درخت و یا برگ درختان انجام داد (Hofman et al., 2017; Maher et al., 2010; Maher et al., 2008). بخش‌های مختلفی از درختان را می‌توان برای بیومغناطیس‌سنجی ذرات استفاده نمود (Mitchell et al.,

2010). ذرات گرد و غبار به‌طور عمده روی قسمت‌های خارجی گیاهان می‌چسبند (Kardel et al., 2012). از این‌رو برگ‌های درختان می‌توانند به عنوان جمع‌آوری‌کننده‌های زیستی^(۵) ذرات آلاینده اتمسفری عمل نمایند (Mitchell et al., 2010; Lehndorff et al., 2006). پایش بیومگنتیک ذرات با استفاده از برگ درخت اطلاعات مفیدی از توزیع فضایی ذرات معلق را فراهم می‌آورد (Kardel et al., 2012; Hansard et al., 2011; Mitchell & Maher, 2009). بزرگ‌ترین مشکل محیط‌زیست تهران مساله آلودگی هوا است که عوامل طبیعی و انسانی در ایجاد آن دخالت دارد. اطلاعات کم و محدودی در زمینه فلزات سنگین موجود در ذرات معلق در هوای شهر تهران، وجود دارد (Naddafi et al., 2012; Sowlat et al., 2011; Leili et al., 2008). در ایران نخستین بار (Mollashahi et al., 2012) آلودگی فلزات ترسیب شده بر روی برگ درختان توت، زبان گنجشک و کاج را با استفاده از مولفه پذیرفتاری مغناطیسی در مناطق ۲۲ گانه شهر تهران، پهنه‌بندی کردند. مطالعه‌های زیست مغناطیس‌سنجی برای پایش آلودگی‌های محیط‌زیست در سطح جهان علم نوینی است (Kardel et al., 2012; Maher et al., 2010; Mitchell & Maher, 2009). با وجود مطالعه‌های فراوان و پیشرفت در ابزار، تکنیک زیست مغناطیس‌سنجی هنوز بسیار جوان است و تحقیقات در این زمینه منجر به بهبود دیدگاه‌های علمی خواهد شد و چشم انداز گسترده‌ای را فراوری پژوهشگران این عرصه می‌گشاید. بنابر گفته محققین بسیاری، دانش فعلی پیرامون این مطالعه‌ها هنوز نیازمند پژوهش‌های بسیاری است (Mejia Echeverry et al., 2018; Wang et al., 2017; Hofman et al., 2017; Kardel et al., 2011; Hansard et al., 2011; Mitche et al., 2010; Maher et al., 2010).

از این‌رو مطالعه حاضر با هدف بسط و توسعه به کارگیری روش زیست مغناطیس‌سنجی محیطی برای مطالعه آلودگی‌های محیط‌زیست، توسعه دانش و شفاف‌سازی آلاینده‌های ناشی از تردد خودروها در برخی از نقاط پرتراфик در تهران انجام گرفت. در مطالعه حاضر تغییرات خواص مغناطیسی و آنومالی پارامترهای مغناطیسی نمونه‌های برگ درخت چنار جمع‌آوری شده از نقاط مختلف با حجم ترافیک متفاوت ارزیابی شد و با استفاده از این رویکرد علمی جدید روشی نوینی برای تعیین نقاط آلوده ارایه شد. پارامترهای مغناطیسی می‌توانند برای ارزیابی آلودگی فلزات استفاده شوند و حتی می‌توانند غلظت کم فلزات در محیط را نیز

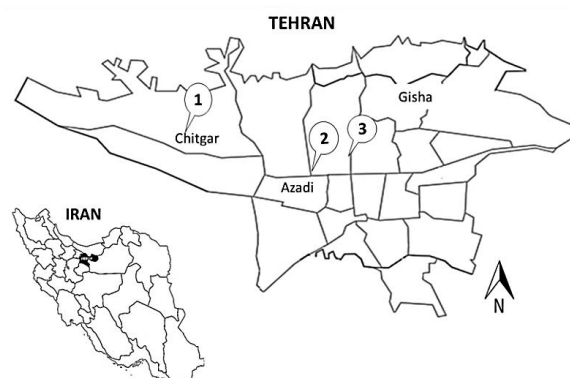
تهران در خارج محدوده شهری انتخاب شد. با توجه به کاربری پارک جنگلی چیتگر، در این سایت تردد خودروها در محدوده‌های نمونه‌برداری بسیار کم بود. فاصله افقی محل نمونه‌برداری در این سایت تا بزرگراه تهران کرج (از پرتددترین بزرگراه‌های ایران) بالغ بر ۱۰۰۰ متر بود با این وجود به علت قرارگیری در غرب تهران و وفور صنایع کوچک و بزرگ و شرایط خاص توپوگرافی و وزش باد در تهران این منطقه نیز از تبعات آلاینده‌های هوا متاثر است. از آنجایی که بخش عمده‌ای از ذرات تولید شده از تردد خودروها در کوتاه‌ترین فاصله از منبع تولید رسوب می‌نماید بنابراین، نمونه‌های برگ درختان در این سایت از درون پوشش متراکم فضای سبز حاشیه معابر درون پارک جمع‌آوری شد. بدین ترتیب با در نظر گرفتن انتشارات ناشی از صنایع در غرب و جنوب غربی تهران تغییرات صفات برگ در سایت‌های ۲ و ۳ نسبت به سایت چیتگر بیشتر ناشی از آلاینده‌های خیابان‌های درون شهر و تردد خودروها است. نمونه‌ها در سایت ۲ در محدوده میدان آزادی در غرب و جنوب غربی تهران از حاشیه خیابان جمع‌آوری شد. میدان آزادی از مناطق پرتدد ترافیکی در تهران است. سایت ۳ در محدوده پل گیشا (تقاطع بزرگراه جلال‌آل احمد و بزرگراه چمران) جمع‌آوری شد. سایت ۳ در مناطق مرکزی تهران قرار دارد. وجود پل روگذر وسایل نقلیه و تقاطع دو بزرگراه و نزدیکی به سازه‌های مسکونی و تجاری و موسسات آموزش عالی و ادارات در این محدوده سبب افزایش حجم ترافیک در این محدوده شده است (شکل ۱).

پایش نمایند (Wang et al., 2017). این روش ساده، سریع و غیر مخرب است (Sudarningsih et al., 2017) و تفسیر نتایج به دست آمده از این روش ساده و سریع است (Bogacki & Zawadzki., 2017; Maher et al., 2010).

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

تهران (۳۵ درجه و ۳۶ دقیقه عرض شمالی تا ۵۰ درجه و ۵۳ دقیقه طول شرقی) در ارتفاع متوسط ۱۱۹۱ متر از سطح دریا قرار دارد. تهران در زمره شهرهای صنعتی ایران قرار دارد و مساله آلودگی هوا از چالش‌های اساسی مدیریت این کلان شهر به‌شمار می‌رود. جریان باد غالب در تهران جهت غرب-شرقی است و بیشتر صنایع در زمین‌های غرب تهران و حومه مستقر هستند. شرایط توپوگرافی تهران به گونه‌ای است که شمال و شرق تهران با کوه‌های بلند مسدود شده که مانع خروج آلاینده‌ها از آسمان آن می‌شوند. در مقابل، به دلیل باز بودن مسیر در سمت غرب، آلاینده‌های حومه نیز از این مسیر با کمک بادهای به شهر وارد می‌شوند. این شرایط توپوگرافی سبب افزایش آلودگی در مناطق مرکزی تهران می‌شود. با توجه به شرایط موجود و برای بررسی این تجمع آلودگی، نمونه‌های برگ درختان چنار (*Platanus orientalis*) از حاشیه خیابان در ۳ منطقه از تهران جمع‌آوری شد. ناحیه اول در مناطق درون فضای سبز متراکم ارتفاعات پارک جنگلی چیتگر در غرب

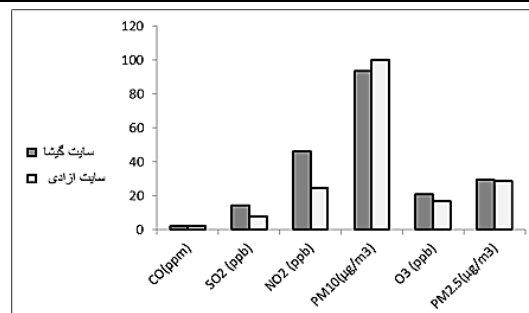


شکل (۱): نقاط نمونه‌برداری

فعالی در این محدوده وجود نداشت. نزدیک‌ترین ایستگاه‌های پایش آلاینده‌های هوا به سایت‌های ۲ و ۳ در فاصله حدود ۵۰۰ متر از محل نمونه‌برداری قرار داشت (شکل ۲).

در شکل (۲) وضعیت شاخص‌های کیفیت هوا و برخی پارامترهای اندازه‌گیری شده در گزارش‌های سازمان کنترل کیفیت هوای تهران-۱۳۹۲ نشان داده شده است (گزارش سالانه کیفیت هوای تهران در سال ۱۳۹۳). از آنجایی که سایت ۱ در درون فضای سبز متراکم در خارج محدوده شهری قرار داشت ایستگاه پایش هوای

(2017). به منظور کاهش اثرات ذرات غبار برخاسته از زمین، برگ‌ها از ارتفاع حداقل ۱/۵ تا ۲ متری از سطح زمین (Hansard et al., 2011; Maher et al., 2008) از یک طبقه ارتفاعی، از قسمت بیرونی تاج پوشش، آنهایی که به سمت جاده بوده و کاملاً سالم و بالغ و همسن بود، جمع‌آوری شد (Maher et al., 2008). برای بررسی خواص مغناطیسی ده برگ سالم جمع‌آوری شد (Maher et al., 2008). برگ‌ها در داخل کیسه‌های پلاستیکی لفافه‌دار قرار گرفت و با حداقل تماس دست به آزمایشگاه انتقال داده شد. نمونه‌ها در اتاق سرپوشیده به‌دور از نور خورشید در دمای معمولی اتاق خشک شد. نمونه‌های پس از خشک شدن پودر شدند و سپس به ظروف غیرمغناطیسی منتقل شد. پس از آماده سازی، نمونه‌ها با روش‌های استاندارد مورد تجزیه و تحلیل مغناطیسی قرار گرفتند (Maher et al., 2008). در آزمایشگاه، پسماند مغناطیسی طبیعی^(۶) (NRM)، قابلیت پذیرفتاری مغناطیسی جرمی^(۷) (Sus Mass)، پسماند مغناطیسی ایزوترمال^(۸) (IRM) و پسماند مغناطیسی القایی اشباع شده^(۹) (SIRM) در نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری پسماند مغناطیسی ایزوترمال، نمونه‌ها در میدان‌های مغناطیسی^(۱۰) قرار گرفت. به این منظور ابتدا نمونه‌ها در مسیر رفت^(۱۱) (که با علامت‌گذاری روی نمونه مشخص شد) هر بار در یک میدان مغناطیسی مشخص قرار گرفته و سپس مقدار پسماند مغناطیسی ثبت می‌شد؛ سپس نمونه‌ها به همین ترتیب با معکوس کردن برای قرارگیری در دستگاه القا مغناطیسی^(۱۲) تحت میدان‌های مغناطیسی در مسیر برگشت^(۱۳) قرار گرفتند و پسماند مغناطیسی در هر میدان ثبت شد. میدان‌های القایی در مسیر رفت به ترتیب ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰، ۶۰۰، ۸۰۰، ۱۲۰۰، ۱۰۰۰ میلی تسلا و میدان‌های القایی در مسیر برگشت به ترتیب: ۱۰، ۱۲، ۱۴، ۱۶، ۱۸، ۲۰، ۲۲، ۲۴، ۲۶، ۲۸، ۳۰، ۳۲، ۳۴، ۳۶، ۴۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ میلی تسلا بود (Maher et al., 2010; Hansard et al., 2011; Maher et al., 2008; Moreno et al., 2003; Dearing et al., 1996). مولفه‌های مغناطیسی با دستگاه‌های مغناطیس‌سنج چرخان (JR-6A Spinner)، کاپابریج (Multi-Function Kappabridge (MFK1-A)) و القاکننده میدان مغناطیسی (Pulse Magnetiser (MMPM10)) در آزمایشگاه دیرین مغناطیس‌سنجی سازمان زمین‌شناسی کل کشور اندازه‌گیری شد.



شکل (۲): وضعیت شاخص‌های کیفیت هوا (سازمان کنترل کیفیت هوای تهران - ۱۳۹۳)

روش پژوهش

نمونه‌برداری از برگ‌های درختان

گونه چنار (*Platanus orientalis*) یا چنار شرقی) از پرکاربردترین و فراوان‌ترین گونه‌های درختی در محیط‌های شهری در ایران و از جمله تهران است. جنس *Platanus* SPP در تمام دنیا شامل ۴ تا ۷ گونه است که خاستگاه اغلب آنها اروپای شرقی و جنوبی است. گونه معمولی چنار در پارک‌ها و خیابان‌ها کاشته می‌شود. در هر ناحیه پایه‌های درختی سالم و فاقد بیماری در کم‌ترین فاصله از خیابان به صورت تصادفی انتخاب شد. جهت قرارگیری درختان نسبت به خیابان و نور خورشید و جهت وزش باد یکسان در نظر گرفته شد. درختان از طبقات قطری و سنی یکسان انتخاب شدند. نمونه‌برداری از درختان در اواخر فصل رویش در نیمه دوم شهریور ماه ۱۳۹۳ انجام گرفت. برگ‌های کاملاً سالم از خارجی‌ترین قسمت تاج پوشش هر درخت از سمت خیابان جمع‌آوری شد. برگ‌ها در نایلون‌های لفافه‌دار در مخزن یخ با حداقل تماس دست قرار داده شد و در کوتاه‌ترین زمان به آزمایشگاه منتقل شد.

اندازه‌گیری خواص مغناطیسی نمونه‌های برگ

در بیومونیتورینگ مغناطیسی، نمونه‌های جمع‌آوری شده از گیاهان (که بیشتر برگ درختان است) در محیط آزمایشگاه خواص مغناطیسی نمونه‌ها اندازه‌گیری شده و مطالعه می‌شوند. این اطلاعات می‌تواند در کم‌ترین زمان و با حداقل هزینه، بدون بهره‌گیری از مواد شیمیایی مخرب، با توجه به غلظت، اندازه و دانه‌سنجی و کانی‌شناسی ذرات، اطلاعات دقیق و مناسبی را از ذرات مغناطیسی هوا در اختیار قرار دهند (Mitchell & Maher, 2009; Maher et al., 2008). بهترین زمان اواخر تابستان و شهریورماه است (Hofman et al., 2009).

اندازه‌گیری غلظت فلزات

در مطالعات متعددی به فلزات مس، آهن، سرب و کادمیوم به‌عنوان فلزات اصلی منتج از تردد خودروها و سمیت ناشی از آن‌ها تاکید شده است (Kermani et al., 2016; Addo et al., 2012; Maher et al., 2008). گیاهان تمایل به جذب و تجمع فلزاتی نظیر سرب، روی، مس و آهن دارند (Magtoto et al., 2013). ۵۰ گرم از هر نمونه در ۱۲ سی‌سی اسید نیتریک در ظرف تفلون پلیمری با پوشش فویل آلومینیومی به مدت ۱ ساعت در حرارت اتاق قرار داده شد. سپس روی هیتر آزیستی با حرارت غیرمستقیم قرار گرفت. پس از خشک شدن با کاغذ در بالن ۵۰ سی‌سی به حجم رسیده و با صافی ۴۲ واتمن صاف شد و در دستگاه-ICP MS خوانده شد.

(Addo et al., 2012; Hakanson, 1980). برای کالیبره کردن اعداد از رفرنس متریال استفاده شد و مقادیر غلظت هر یک از

عناصر (ppm) خوانده شد و با جمع بستن غلظت هر یک از فلزات، غلظت کل فلزات در هر ناحیه تعیین شد.

نتایج

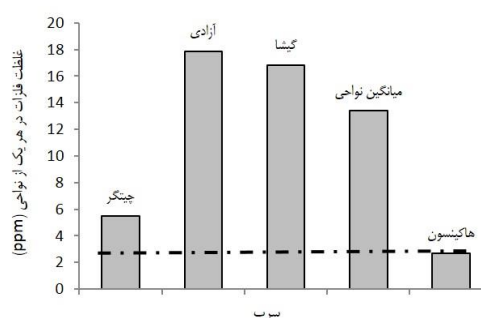
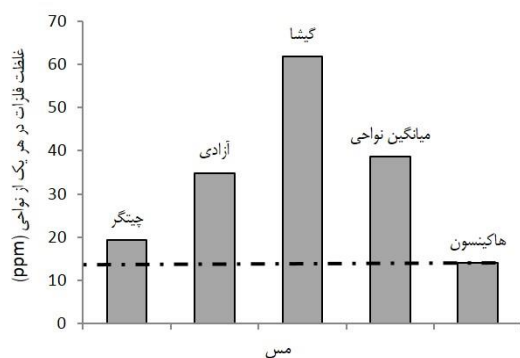
میانگین غلظت فلزات مس، آهن، سرب و کادمیوم در نواحی مورد مطالعه اندازه‌گیری شد (جدول ۱ و شکل ۳) و غلظت کل فلزات به ترتیب در آزادی ۱۹۴۲/۴۴ ppm، گیشا ۱۹۲۵/۹۷ ppm و چیتگر ۶۱۵/۵۵ ppm بود (جدول ۱).

در روش‌های ژئوشیمیایی به‌منظور بررسی میزان آلاینده‌گی فلزات در یک محیط، غلظت آن عنصر با مقدار پیش از صنعتی‌شدن و یا مقادیر اندازه‌گیری شده در دیگر مطالعات (مقدار زمینه) مقایسه می‌شود (Hakanson, 1980). در مطالعه حاضر از مقادیر (Hakanson, 1980) به‌عنوان مقدار زمینه استفاده شد (جدول ۱ و شکل ۳).

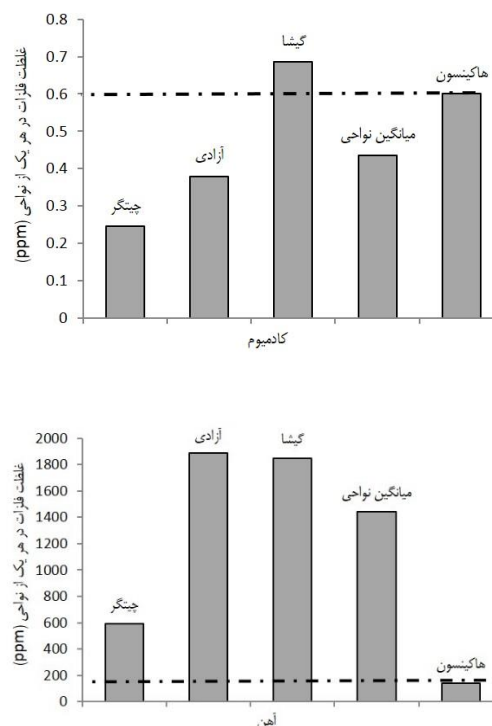
جدول (۱): میانگین غلظت فلزات (ppm) در نواحی مورد مطالعه

مکان	Cu(ppm)	Fe(ppm)	Pb(ppm)	Cd(ppm)	غلظت کل (ppm)
چیتگر	۱۹/۳۲	۵۹۰/۴۸	۵/۵۱	۰/۲۴	۶۱۵/۵۵
آزادی	۳۴/۸۶	۱۸۸۹/۳۳	۱۷/۸۷	۰/۳۷	۱۹۴۲/۴۴
گیشا	۶۱/۸۱	۱۸۴۶/۶۵	۱۶/۸۴	۰/۶۸	۱۹۲۵/۹۷
کل نواحی	۳۸/۶۶	۱۴۴۲/۱۵	۱۳/۴۱	۰/۴۳	۱۴۹۴/۶۵
(Hakanson, 1980*)	۱۴	۱۴۰	۲/۷	۱۴۰	-----

*Land plant(Hakanson, 1980)



عمده روش‌های مطالعات ذرات آلاینده هوا بر تجزیه و تحلیل‌های شیمیایی و اساساً هضم با اسید استوارند. روش‌های ژئوشیمیایی سنتی (مانند طیف‌سنجی جذب اتمی (AAS) و طیف‌سنجی جرمی با روش زوج پلاسمای القایی (ICP-MS) به نسبت پیچیده و وقت‌گیر و گران هستند (Zhang et al., 2011; Kim et al., 2007) و ضمن استفاده از آلاینده‌های محیط‌زیست، وابسته به تهیه مواد اولیه آزمایشگاهی از خارج از کشور و دریافت رفرنس متریکال‌های مربوطه است. نتایج به‌دست آمده از این روش‌ها عموماً برای نظارت و پایش و نقشه‌سازی‌های آلاینده‌های محیطی دچار محدودیت هستند (Maher et al., 2010. Moreno et al., 2003). استفاده از روشی سریع، موثر، ارزان و غیرمخرب برای تشخیص آلودگی گرد و غبار از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. ویژگی‌های مغناطیسی یک نمونه براساس غلظت کانی‌ها و عناصر مغناطیسی، رفتار مغناطیسی^(۱۴) و سایز ذرات و حوزه‌های مغناطیسی^(۱۵) توصیف می‌شود (Hansard et al., 2011). با بررسی تغییرات مولفه‌های مغناطیسی می‌توان آلودگی فلزات در نواحی مختلف را تحلیل نمود. مقادیر میانگین مولفه‌های مغناطیسی SIRM, Sus Mass, Sratio-300, SIRM/χ در کل نمونه‌ها و به تفکیک نواحی در جدول (۲) آمده است.



شکل (۳): مقایسه غلظت عناصر مس، سرب، آهن و کادمیوم در نواحی مورد مطالعه با حد تعیین شده توسط (Hakanson, 1980)

جدول (۲): میانگین مولفه‌های مغناطیسی $Sus\ Mass(m^3kg^{-1})$ و $SIRM(Am^2kg^{-1})$ و $Sratio-300(A/m)$ در مناطق مورد مطالعه و میانگین کل پارامترهای اندازه‌گیری شده

مکان	NRM	SIRM (Am^2kg^{-1})	SUS MASS (m^3kg^{-1})	SIRM/χ	Sratio-100
چیتگر	۰/۰۰۰۶۱۹	۰/۵۷	$۱/۰۶ \times ۱۰^{-۸}$	۵۴۰۵۶۶۰۴	۰/۲۸
آزادی	۰/۰۰۱۱۵	۰/۷۶۵	$۶/۰۶۵ \times ۱۰^{-۸}$	۱۲۶۱۳۳۵۵	۰/۸۱
گیشا	۰/۲۲۴۷	۰/۸۶۳	$۵/۵۲۸۸ \times ۱۰^{-۸}$	۱۵۶۰۹۱۷۴	۰/۹۴
کل نواحی	۰/۰۸	۰/۷۳	$۴/۲۱۷۹ \times ۱۰^{-۸}$	-	-

و نیز کانی‌های فری مغناطیس و مگنتیت در نمونه‌ها که حامل این فلزات هستند سبب تغییرات در خواص مغناطیسی می‌شود. پذیرفتاری مغناطیسی جرمی در چیتگر به‌عنوان مقدار زمینه در نظر گرفته شد ($۱/۰۶ \times ۱۰^{-۸} m^3kg^{-1}$).

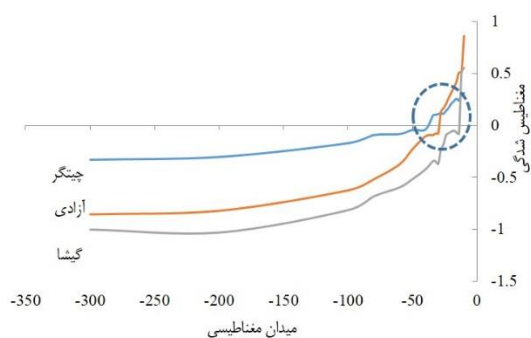
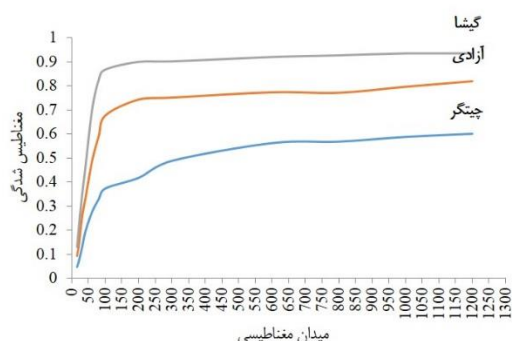
پذیرفتاری مغناطیسی جرمی به‌ترتیب در آزادی و گیشا بیشتر از چیتگر است (جدول ۲). پذیرفتاری مغناطیسی جرمی در هیچ یک از نمونه‌ها منفی نبود. مقادیر منفی پذیرفتاری مغناطیسی (χ) به‌واسطه حضور مواد دیامغناطیسی از قبیل خود برگ و کوارتز یا کلسیت بر مقدار χ تاثیر می‌گذراند (MacIntosh et al., 2007).

پذیرفتاری مغناطیسی جرمی (χ) غلظت کانی‌های مغناطیسی را نشان می‌دهد (Evans & Heller, 2003; Dearing, 1999). پذیرفتاری مغناطیسی بستگی به حضور کانی‌های فری مغناطیس دارد. ذرات غنی شده با آهن که کانی‌های فری مغناطیس هستند در همه مناطق شهری و صنعتی وجود دارند (Mejia Echeverry et al., 2018). ذرات تولید شده از ترافیک و تردد خودروها در محیط‌های شهری منجر به افزایش پذیرفتاری مغناطیسی جرمی نمونه‌های جمع‌آوری شده از گرد و غبار خیابانی در سطح جاده‌ها می‌شود (Bucko et al., 2011). بنابراین تغییرات غلظت فلزات

(Heller, 2003 &). افزایش مقدار این نسبت نشان‌دهنده کاهش سایز ذرات است. نسبت $SIRM/\chi$ در گیشا ۷۱٪ و آزادی ۷۷٪ کم‌تر از چیتگر است (جدول ۲). نسبت $SIRM/\chi$ در گیشا بیشتر از آزادی است (جدول ۲). بیشتر بودن نسبت $SIRM/\chi$ می‌تواند هم متأثر از غلظت کانی‌ها (اعم از کانی‌های فرومغناطیس نرم مانند مگنتیت منتشر شده از تردد اتومبیل‌ها و کانی‌های سخت مانند هماتیت منتشر از فرسایش مصالح ساختمانی قرار دارد) و همچنین تغییرات نسبت $SIRM/\chi$ در گیشا ناشی از تغییرات غلظت کانی‌ها با حوزه‌های مغناطیسی کوچک‌تر است. (Moreno et al., 2003) بیان می‌دارد که در مکان‌های با ترافیک بالا و شدت آلودگی بیشتر، اندازه ذرات درشت‌تر شده (یعنی از حضور کانی‌های ریزدانه تک‌حوزه‌ای پایدار با نیروی بازدارنده کم، کاسته می‌شود) و بر عکس در مکان‌های با آلودگی کمتر اندازه ذرات کوچک‌تر است. بنابراین تفاوت در بین آزادی و گیشا تفاوت سهم حضور کانی‌های با نیروی بازدارندگی^(۱۶) متفاوت است (جدول ۲). از این رو لازم است که نیروی بازدارندگی کانی‌های دو ناحیه آزادی و گیشا بررسی شود تا علت‌های تفاوت و تغییرات مولفه‌های مغناطیسی در این دو ناحیه شفاف‌تر شود. تغییرات نسبت اشباع‌شدگی (نسبت بین پسماند مغناطیسی در ۳۰۰- میلی‌تسلا بر پسماند اشباع‌مغناطیسی) که به صورت $Sratio$ نشان داده می‌شود در نواحی مورد مطالعه نمایانگر میزان حضور کانی‌های با نیروی بازدارندگی کم نسبت به نیروهای با نیروی بازدارندگی زیاد است (Robertson, Kim et al., 2007; Evans & Heller, 2003). (Kim et al., 2007; Evans & Heller, 2003) نسبت S را براساس $IRM-100mT/SIRM$ تعیین نمودند. نسبت S نمایانگر نسبت بین مگنتیت و مگهمیت با هماتیت است (Maher et al., 2008). از نسبت S و تعیین میزان نیروی بازدارندگی در کانی می‌توان نسبت به حضور کانی‌های تک‌حوزه‌ای و چندحوزه‌ای قضاوت نمود. اگر نسبت به سمت ۱ مثبت میل کند کانی از نوع نرم (نیروی بازدارندگی کم) و اگر به سمت صفر میل کند حضور کانی‌های سخت (نیروی بازدارندگی بالاتر) در نمونه افزایش یافته است (Kim et al., 2007; Moreno et al., 2003). در مطالعه حاضر به دلیل ضعف نسبی خواص مغناطیسی نسبت S بر اساس $IRM-100mT/SIRM$ محاسبه شد. براساس نتایج نیروی بازدارندگی کانی‌ها در گیشا کمتر از آزادی و در هر دو ناحیه گیشا و آزادی سهم کانی‌های با نیروی بازدارندگی کم، بالا است (جدول ۲). در چیتگر کانی‌های سخت فراوان‌تر است (جدول ۲). تحلیل

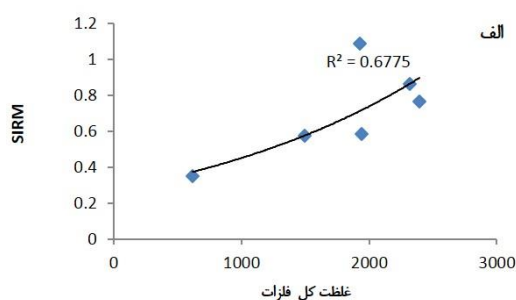
وجود یک کانی با رفتار اختصاصی در یک نمونه به صورت طبیعی غیرممکن است و نمونه‌های غالباً مخلوطی از کانی‌ها را در بر می‌گیرند. مولفه پذیرفتاری مغناطیسی مولفه مفیدی برای تفکیک مناطق و شفاف‌سازی حضور کانی‌های فری و فرومغناطیس در مناطق آلوده است با این وجود برای تشخیص نوع و سهم کانی‌های یک نمونه استفاده از مولفه پذیرفتاری مغناطیسی به تنهایی توأم با خطا بوده و به مطالعات تکمیلی با استفاده از دیگر مولفه‌های مغناطیس سنجی محیطی نیاز است (Dearing et al., 1996). اهمیت و کاربرد پسماند مغناطیس اشباع ($SIRM$) برای پایش تغییرات مکانی و زمانی ذرات مغناطیسی در محیط‌های مختلف در مطالعات متعددی مورد مطالعه قرار گرفته است (Kardel et al., 2012. Wang et al., 2012. Bucko et al., 2003. Moreno et al., 2011). چنانچه $SIRM$ نمونه در میدان‌های پایین‌تر اتفاق بیافتد و مغناطیس‌شدگی^(۱۸) آن بالاتر باشد پس کانی‌هایی با فاز نرم مانند مگنتیت و مگهمیت غالب هستند (Basavaiah & Khidkikar, 2004). اشباع مغناطیسی در نمونه‌های چیتگر در میدان‌های بالای ۳۰۰ تا ۶۰۰ میلی‌تسلا ادامه می‌یابد و در آزادی در حدود میدان‌های ۱۰۰ تا ۳۰۰ میلی‌تسلا و در گیشا در میدان‌های ۱۰۰ تا ۲۰۰ میلی‌تسلا روی داد. در شکل (۴- الف) نمودار پسماند مغناطیسی در مسیرهای رفت و برگشت نشان داده شده است (شکل ۴- الف). در مطالعه حاضر کم‌ترین میزان $SIRM$ در چیتگر $Am^2kg^{-1}/573$ و بیشترین میزان آن در گیشا $Am^2kg^{-1}/863$ بود (جدول ۲). نسبت بین میانگین پسماند مغناطیسی اشباع به میانگین پذیرفتاری مغناطیسی ($SIRM/\chi$) جهت نشان دادن تفاوت بین رفتارهای مغناطیسی مفید است (Gubbins & Bervera, 2007; Evans & Heller, 2003). $SIRM/\chi$ با تقسیم کردن دو پارامتر وابسته به غلظت، یک نسبت مستقل از غلظت به دست می‌آید که حاوی اطلاعاتی درباره اندازه ذرات است (Gubbins & Bervera, 2007). نسبت بین میانگین پسماند مغناطیسی اشباع به میانگین پذیرفتاری مغناطیسی برای نشان دادن تفاوت بین رفتارهای مغناطیسی مفید است (Gubbins & Bervera, 2007; Evans & Heller, 2003). $SIRM/\chi$ با تقسیم کردن دو پارامتر وابسته به غلظت، یک نسبت مستقل از غلظت به دست خواهد آمد که حاوی اطلاعاتی درباره اندازه ذرات و درجه اکسید شدن مواد معدنی مغناطیسی است (Gubbins & Bervera, 2007). $SIRM/\chi$ نشان‌دهنده اندازه ذرات کانی‌های موجود در نمونه است (Evans

رفتار کانی و نیروی بازدارندگی کانی‌ها در نمونه را توصیف نمود (شکل ۴-ب).

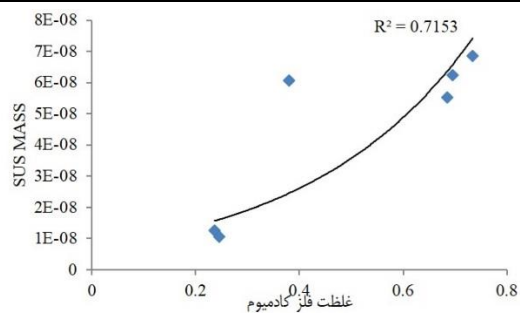


شکل (۴): منحنی‌های کسب پسماند مغناطیسی در نمونه‌های مناطق مورد مطالعه

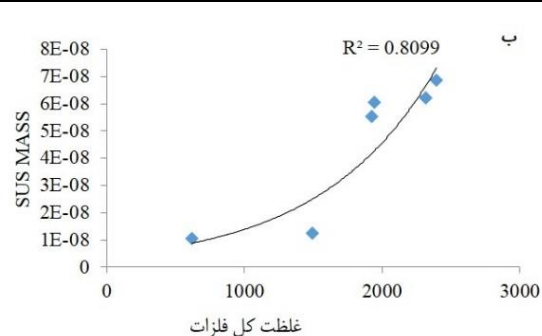
برای تعیین تاثیر غلظت فلزات بر تغییرات مولفه‌های مغناطیسی و شفاف‌سازی اثر هر یک از فلزات بر این تغییرات (بدون در نظر گرفتن نواحی)، همبستگی آماری بین مولفه‌های SIRM و SUS Mass با غلظت کل فلزات و هر یک از فلزات به صورت جداگانه تعیین شد (شکل ۵، ۶، ۷). پذیرفتاری مغناطیسی در مقایسه با پسماند مغناطیسی بیشتر تحت تاثیر غلظت کل فلزات است (شکل ۵) و با نتایج مطالعه‌های (Maher et Moreno et al., 2003; al., 2010) تطابق دارد.



منحنی‌های اکتسابی پسماند مغناطیسی (IRM) به منظور تعیین کانی‌های موجود با منشأ و منابع گوناگون مورد استفاده قرار می‌گیرد (McIntosh et al., 2007; Evans & Heller, 2003). پسماند مغناطیسی اطلاعاتی را درباره غلظت و ترکیب مغناطیسی فراهم می‌کند. پسماند مغناطیسی فقط توسط مواد فرومغناطیس حمل می‌شود (Haneshch et al., 2003). میدان‌های مغناطیسی پیش‌رونده و پس‌رونده سبب کسب پسماند مغناطیسی در نمونه می‌شود. با قرارگیری نمونه‌ها در میدان مغناطیسی به دلیل حوزه‌های مغناطیسی، نمونه در مسیر مغناطیس زدایی^{۱۹} تمام محتوی مغناطیسی خود را از دست نمی‌دهد و براساس نوع سختی و نرمی کانی‌ها و نیروی بازدارندگی کانی‌ها و از تناسب بین نیروی بازدارنده و نیروی بازدارنده پسماند و میزان مغناطیس‌شدگی نمونه می‌توان برای تعیین رفتار مغناطیسی و حوزه‌های مغناطیسی کانی‌های و نیز سائز ذرات موجود در نمونه استفاده کرد. خواص مغناطیسی منعکس‌کننده تعداد حوزه‌ها و اندازه دانه کانی‌ها است (Gubbins & Bervera, 2007). یک کانی مغناطیس نرم (مانند مگنتیت درشت دانه چند حوزه‌ای) به آسانی پسماند اشباع را در میدان‌های مغناطیسی پایین کسب می‌کند و یک کانی سخت مثل هماتیت پسماند اشباع را در میدان‌های بالاتر کسب می‌کند (McIntosh et al., 2007; Evans & Heller, 2003). کانی‌های فرو و فری مغناطیس نیروی بازدارندگی کمی دارند و عموماً در زیر ۵۰ میلی تسلا است (Evans & Heller, 2003). به منظور توصیف تغییرات مغناطیس‌شدگی نسبت به میدان مغناطیس، در شکل (۴) نمودارهای کسب IRM در مسیر رفت در مواد مغناطیس (شکل ۴-الف) و برگشت (شکل ۴-ب) و میزان نیروی بازدارندگی کانی‌ها در نمونه‌های نواحی مورد مطالعه نشان داده شده است. هر چقدر کانی‌های نرم موجود در نمونه بیشتر باشد، نمونه در میدان‌های پایین‌تری به اشباع مغناطیسی خواهد رسید (شکل ۴-الف). مغناطیس‌شدگی نمونه‌ها به ترتیب در گیشا، آزادی بیشتر از چیتگر بود و پسماند مغناطیسی اشباع در آزادی و گیشا در میدان‌های زیر ۳۰۰ میلی تسلا به اشباع می‌رسد (شکل ۴-الف). در این مطالعه امکان ترسیم منحنی پیوسته پسماند مغناطیسی (لوپ مغناطیسی یا هیستریزیس) فراهم نبود از این رو نسبت بین نیروی‌های بازدارنده و بازدارنده پسماند قابل اندازه‌گیری نیست با این وجود می‌توان براساس دوری و نزدیکی نقطه تماس منحنی کسب پسماند با مبدا مختصات (در شکل ۴-ب با دایره خط‌چین مشخص شده است)



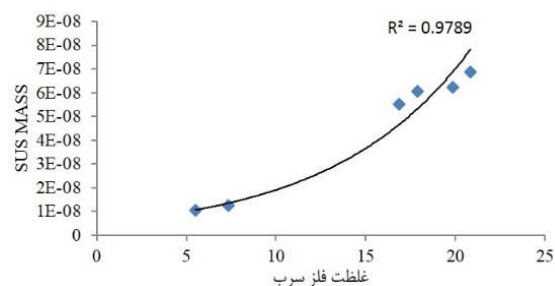
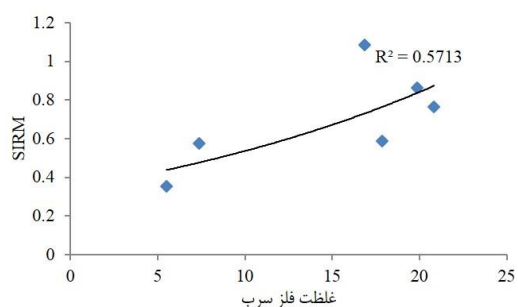
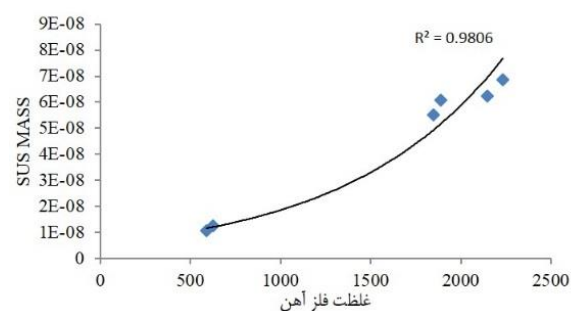
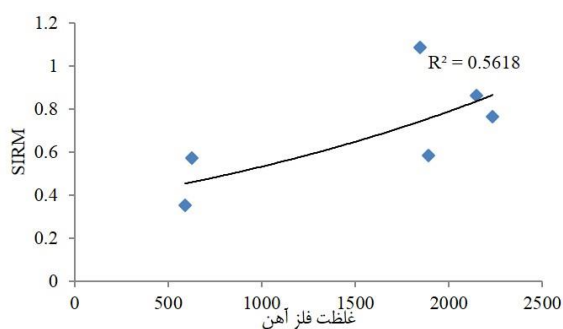
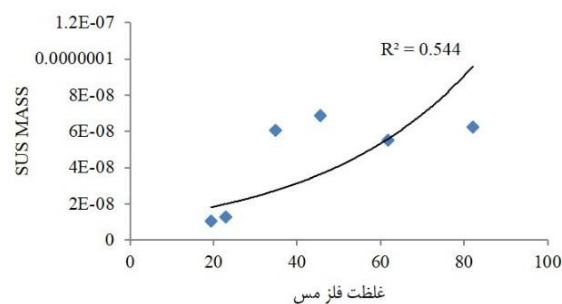
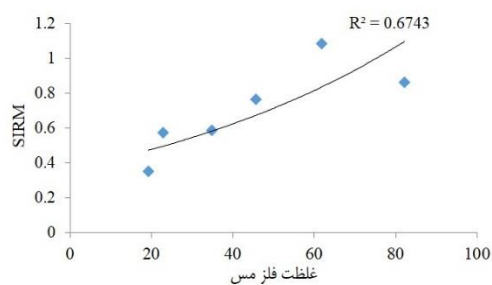
شکل (۶): همبستگی بین غلظت فلزات مس، آهن، سرب و کادمیوم و مقدار پذیرفتاری مغناطیسی



شکل (۵): همبستگی آماری بین غلظت کل فلزات و مولفه‌های SUS MASS و SIRM

به ترتیب غلظت فلزات کادمیوم، مس، سرب و آهن بر تغییرات مولفه پسماند مغناطیسی اشباع شده بیش‌ترین تاثیر را دارند (شکل ۷).

به ترتیب غلظت فلزات آهن، سرب، کادمیوم و مس بیش‌ترین تاثیر را بر تغییرات مولفه SUS MASS دارد (شکل ۶).

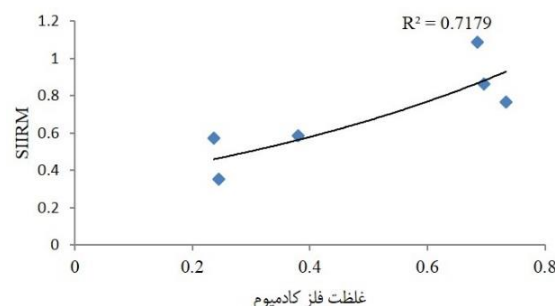


مغناطیسی ضعیف قرار دارند (Maher et al., 2008)، از این‌رو تغییرات غلظت فلزات و نیز کانی‌های فرو و فری مغناطیس در نمونه‌هایی که حامل این فلزات هستند سبب تغییرات در خواص مغناطیسی می‌شود. در نواحی مورد مطالعه پذیرفتاری مغناطیسی جرمی به‌ترتیب در آزادی و گیشا بیشتر از چیتگر بود (جدول ۲).

ذرات تولید شده از ترافیک و تردد خودروها در محیط‌های شهری منجر به افزایش پذیرفتاری مغناطیسی جرمی نمونه‌های جمع‌آوری شده از گردوغبار خیابانی در سطح جاده‌ها می‌شود (Bucko et al., 2011). پذیرفتاری مغناطیسی جرمی در هیچ یک از نمونه‌ها منفی نبود. مقادیر منفی پذیرفتاری مغناطیسی (χ) به‌واسطه حضور مواد دیامغناطیسی از قبیل خود برگ و کوارتز یا کلسیت که بر مقدار χ تاثیر می‌گذارند، ایجاد می‌شود (MacIntosh et al., 2007). میانگین پذیرفتاری مغناطیسی درخت چنار در شهر رم توسط Moreno et al., 2003 بررسی شد و آن را $10^{-6} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$ اعلام نمود. میانگین پذیرفتاری مغناطیسی با استفاده از برگ‌های درختان توت، زبان گنجشک و کاج در سطح شهر تهران $10^{-6} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$ بود (Mollashahi et al., 2012). در مطالعه حاضر میانگین پذیرفتاری مغناطیسی جرمی در درخت چنار در مناطق مورد مطالعه $10^{-6} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$ بود. پذیرفتاری مغناطیسی در آزادی بیشتر از گیشا بود. (Moreno et al., 2003) عنوان کردند که پذیرفتاری مغناطیسی در مناطق پرترافیک و مسیرهایی که حضور کامیون‌ها و وسایط نقلیه تجاری در آن‌جا بیشتر است، افزایش می‌یابد. در آزادی به‌واسطه نزدیک‌تر بودن به اتوبان (تهران-کرج) تردد خودروهای سبک و نیمه‌سنگین بیشتر است و در گیشا تردد خودروهای سبک بیشتر است.

SIRM از مولفه‌های تعیین غلظت کانی‌ها است (McIntosh et al., 2007). نتایج مطالعه حاضر نشان داد که پسماند مغناطیسی اشباع در آزادی و گیشا در میدان‌های پایین‌تری در مقایسه با چیتگر روی می‌دهد. پس در آزادی و گیشا کانی‌هایی با فاز نرم مانند مگنتیت و مگهمیت غالب هستند و کانی‌های فرو و فری مغناطیس از غلظت بیشتری برخوردار هستند.

نسبت SIRM/ χ در گیشا ۷۱٪ و آزادی ۷۷٪ کم‌تر از چیتگر است (جدول ۲). افزایش مقدار این نسبت نشان‌دهنده کاهش سایز ذرات است. بر این اساس سایز ذرات به ترتیب در چیتگر و گیشا کوچک‌تر از ذرات در آزادی است (جدول ۲). یک کانی مغناطیس نرم (مانند مگنتیت درشت دانه چند حوزه‌ای) به آسانی پسماند را در میدان‌های مغناطیسی پایین کسب می‌کند و یک کانی سخت



شکل (۷): همبستگی بین غلظت فلزات مس، آهن، سرب و کادمیوم و مقدار پسماند مغناطیسی اشباع شده

بحث

براساس نتایج جدول (۱) غلظت فلزات مورد مطالعه در آزادی و گیشا بیشتر از چیتگر بود. در محیط‌های شهری سرب بیشتر ناشی از حمل و نقل است (Addo et al., 2012; Ellis & Revitt, 1982). غلظت عناصر آهن، مس و سرب در نواحی مورد مطالعه از مقدار زمینه بیشتر بود و مقدار کادمیوم در گیشا از مقدار زمینه بیشتر بود (جدول ۱ و شکل ۳). ذرات سرب بیشتر ناشی از سوخت با کیفیت پایین، آگزوز، وزنه‌های بالانس چرخ خودروها، فرسایش تایر و قطعات داخلی و خارجی خودروها و نیز مبدل‌ها و کاتالیست‌های نامرغوب منتشر می‌شود (Duong & Kyu Li, 2010; Maher et al., 2008; Shahr & Majid, 2008). ذرات مس از سایش قطعات و سایش موتور و خوردگی پمپ روغن و گریس در تماس با حرارت بالا و ذرات ناشی از روان‌کننده‌های صنعتی منتشر می‌شود (Shahr & Majid, 2008; Jiries et al., 2001). کادمیوم به مقدار کمی در پوسته زمین یافت می‌شود و فعالیت‌های انسانی سبب افزایش آن می‌شود (Wei & Yang, 2010). مصالح ساختمانی نظیر سیمان و سایش مکانیکی لاستیک تایر خودروها از منابع اصلی انتشار کادمیوم هستند (Ellis & Revitt, 1982). آهن از ذرات فراوان در محیط هستند و ضمن داشتن منشا طبیعی، فعالیت‌های صنعتی، روغن‌ها و افزودنی‌های سوخت‌ها و خوردگی قطعات و مصالح ساختمانی و ذرات ناشی از تایر و قطعات اتومبیل‌ها و ذرات منتشر از سیستم ترمز خودروها حین استفاده متعدد از آن منتشر می‌شود (Adachi & Tainosho, 2004). ذرات غنی شده با آهن و اکسیدهای آهن اجزای مشترک در ذرات PM₁₀ و PM_{2.5} در مناطق صنعتی و شهری هستند و در مناطق پرترافیک ابعاد ذرات بزرگتر است (Mejia Echeverry et al., 2018; Chaparro et al., 2014). نمونه‌های برگ به‌صورت طبیعی در زمره‌ی نمونه‌ها با ویژگی‌های

گیشا و آزادی سهم کانی‌های با نیروی بازدارندگی کم، بالا است (جدول ۲). در چیتگر کانی‌های سخت فراوان‌تر است (جدول ۲). نمودارهای کسب IRM نشان داد که مغناطیس‌شدگی نمونه‌ها به‌ترتیب درگیشا، آزادی بیشتر از چیتگر بود و پسماند مغناطیسی اشباع در آزادی و گیشا در میدان‌های زیر ۳۰۰ میلی تسلا به اشباع رسید، پس غلظت کانی‌های نرم مغناطیسی در آزادی و چیتگر بیشتر است. بررسی همبستگی فلزات و دو مولفه پذیرفتاری مغناطیسی و پسماند مغناطیسی اشباع نشان داد که پذیرفتاری مغناطیسی بسیار تحت تاثیر غلظت فلزات است و به‌خوبی در تفکیک مکانی و فضایی تغییرات غلظت فلزات منتج از فعالیت‌های انسانی کارایی دارد و می‌تواند اثر کانی‌های وابسته به آهن را در محیط‌های شهری و صنعتی به‌خوبی شفاف‌سازی و بارزسازی کند (Mejia-Echeverry et al., 2018; Bucko et al., 2011). پذیرفتاری مغناطیسی در مقایسه با پسماند مغناطیسی بیشتر تحت تاثیر غلظت کل فلزات است (شکل ۵) و با نتایج مطالعه‌های (Maher et al., 2010; Moreno et al., 2003) تطابق دارد. علاوه بر غلظت فلزات سهم کانی‌ها مختلف در تولید سیگنال‌های مغناطیسی نیز مهم است. بدین‌منظور کاربرد پسماند مغناطیسی اشباع شده مفید است. (Mollashahi et al., 2012) بیان‌داشتند که به دلیل حساسیت بالاتر پارامتر پسماند مغناطیسی اشباع شده به میزان مواد مغناطیسی موجود در نمونه‌ها این پارامتر با دقت بالاتری نسبت به پذیرفتاری مغناطیسی به بررسی وضعیت آلودگی در مناطق ۲۲ گانه شهر می‌پردازد.

نتیجه‌گیری

در مطالعه حاضر کارآمدی روش زیست مغناطیس‌سنجی به‌عنوان یک روش کم‌هزینه، غیرمخرب، دقیق و سریع برای تعیین و توصیف ویژگی‌های ذرات آلاینده هوا در مناطق و توزیع مکانی این ذرات مورد توجه قرار گرفت. علاوه بر این در راستای توسعه مرزهای دانش مرتبط با کاربرد مغناطیس‌سنجی محیطی در پایش آلودگی‌های محیط‌زیست، به مقوله ارتباط مولفه‌های مغناطیسی و غلظت فلزات پرداخته شد. بنابر گفته محققین بسیاری، دانش فعلی پیرامون شناخت این ارتباطات هنوز نیازمند پژوهش‌های بسیاری است (Mejia Echeverry et al., 2018; Kardel et al., 2010; Mitsche et al., 2011; Hansard et al., 2011; Maher et al., 2010). نتایج مغناطیس‌سنجی نشان می‌دهد که بالاترین ارزش پذیرفتاری مغناطیسی و پسماند مغناطیسی اشباع

مثل هماتیت پسماند را در میدان‌های بالا کسب می‌کند (Evans & Heller, 2003; McIntosh et al., 2007). در اطراف جاده‌ها و بزرگراه‌ها میزان و غلظت مواد مغناطیسی بیشتر و اندازه ذرات بزرگ‌تر از سایر نقاط است (Mejia Echeverry et al., 2018; Moreno et al., 2003). آزادی در مجاورت یکی از پرتددترین خیابان‌های اصلی تهران یعنی مسیر انقلاب-میدان امام حسین قرار دارد و از سویی دیگر در مسیر دسترسی به اتوبان تهران-کرج است.

اگر مقدار هر دو مولفه χ و SIRM پایین باشد ولی نسبت SIRM/ χ بالا باشد، نشان‌دهنده وجود مقدار بالایی از هماتیت است (Gubbins & Bervera, 2007) پس در چیتگر سهم حضور هماتیت بالاتر است. اگر χ مثبت باشد ولی دارای پسماند مغناطیسی خیلی کم و یا اصلاً نباشد سهم حضور کانی‌های پارامغناطیسی موجود در نمونه در قیاس با کانی‌های فرومغناطیس افزایش یافته است (Dearing et al., 1996). نسبت SIRM/ χ در گیشا بیشتر از آزادی است (جدول ۲). گیشا در مجاورت مناطق مسکونی و اداری متراکم قرار دارد و در محل تقاطع یکی از پرتددترین مسیرهای دسترسی شمال-جنوب و شرق-غرب تهران قرار دارد. بیشتر بودن نسبت SIRM/ χ می‌تواند هم متأثر از غلظت کانی‌ها (شامل کانی‌های فرومغناطیس نرم مانند مگنتیت منتشر شده از تردد اتومبیل‌ها و کانی‌های سخت مانند هماتیت منتشر از فرسایش مصالح ساختمانی قرار دارد) و همچنین تغییرات نسبت SIRM/ χ در گیشا ناشی از تغییرات غلظت کانی‌ها با حوزه‌های مغناطیسی کوچک‌تر است. (Moreno et al., 2003) بیان می‌دارد که در مکان‌های با ترافیک بالا و شدت آلودگی بیشتر، اندازه ذرات درشت‌تر شده (یعنی از حضور کانی‌های ریزدانه تک‌حوزه‌ای پایدار با نیروی بازدارنده کم، کاسته می‌شود) و بالعکس در مکان‌های با آلودگی کمتر اندازه ذرات کوچک‌تر است. بنابراین تفاوت در بین آزادی و گیشا تفاوت سهم حضور کانی‌های با نیروی بازدارندگی متفاوت است (جدول ۲).

از نسبت S و تعیین میزان نیروی بازدارندگی در کانی می‌توان نسبت به حضور کانی‌های تک‌حوزه‌ای و چندحوزه‌ای قضاوت نمود. اگر نسبت به سمت ۱ مثبت میل کند کانی از نوع نرم (نیروی بازدارندگی کم) و اگر به سمت صفر میل کند حضور کانی‌های سخت (نیروی بازدارندگی بالاتر) در نمونه افزایش یافته است (Kim et al., 2007; Moreno et al., 2003). براساس نتایج نیروی بازدارندگی کانی‌ها در گیشا کمتر از آزادی و در هر دو ناحیه

برگ با ترافیک بالاتر خودروها در سایت‌های آزادی و گیشا در ارتباط است. ذرات بزرگ در فاصله کوتاه‌تر از منبع انتشار و ذرات کوچک‌تر در فاصله طولانی‌تر از منبع منتشر می‌شوند. بررسی رفتار ذرات در چیتگر نشان می‌دهد که با توجه به نزدیکی این ناحیه به اراضی غرب تهران ترکیبی از ذرات فرومغناطیس سخت مانند هماتیت و همچنین احتمالا کانی‌های فرومغناطیس نظیر مگنهمیت با غلظت کم در این ناحیه حضور دارد که از صنایع پیرامونی و بزرگراه تهران - کرج منتج می‌شوند و چون انتشار ذرات وابسته به جهت و سرعت باد است (Zhu et al., 2002) پس در چیتگر اندازه ذرات کوچکتر است. (Sagnotti et al., 2006) با سنجش مغناطیسی نشان داد که ذرات با قطر آئرودینامیکی ۱۰ میکرومتر که ترکیبی از ذرات چندحوزه‌ای و تک‌حوزه‌ای هستند؛ در ذرات خروجی از منابع احتراقی آگروز وجود دارند. ذرات چندحوزه‌ای عموماً نشان‌دهنده ذرات سایش قطعات خودروها هستند. اکسیدهای آهن و مگنتیت با نیروی بازدارندگی کم در هر دو ناحیه آزادی و گیشا دیده می‌شوند. حضور آهن سبب تغییرات مولفه پذیرفتاری مغناطیسی در نواحی پرتراфик آزادی و گیشا می‌شود. در سایت آزادی اندازه ذرات بزرگتر است و رفتار کانی‌ها نشان‌دهنده ترکیبی از حضور کانی‌های نرم و سخت است که سبب افزایش نیروی بازدارندگی پسماند در این ناحیه می‌شود. از این‌رو می‌توان بیان داشت که حضور کانی‌های چند حوزه‌ای و تک حوزه‌ای در کنار یکدیگر می‌تواند منتج از تاثیر فرسایش قطعات

یادداشت‌ها

خودروها باشد. در گیشا سائز ذرات کوچک‌تر است و نیروی بازدارندگی پسماند کم‌تر است و پسماند مغناطیسی اشباع بیشتر تحت تاثیر کانی‌هایی قرار دارد که حامل سرب و کادمیوم هستند. بنابراین می‌توان اذعان نمود در گیشا سهم کانی‌های تک‌حوزه‌ای پایدار افزایش یافته است. ذرات تک‌حوزه‌ای پایدار در مناطق شهری بیشتر ذرات منتج از منابع احتراقی آگروزها هستند (Sagnotti et al., 2006). برای بررسی تاثیر اندازه ذرات بر تغییرات مولفه‌های مغناطیسی پیشنهاد می‌شود مطالعه‌های مغناطیس‌سنجی با مطالعه‌های آنالیز عنصری با تصاویر میکروسکوپ الکترونی تکمیل شوند. نتایج مطالعه حاضر نشان داد که دو مولفه پذیرفتاری مغناطیسی برگ و اشباع مغناطیسی برگ دو پارامتر کارآمد و مناسب برای پایش سیگنال‌های مغناطیسی هستند و در کنار یکدیگر می‌توانند غلظت و ابعاد ذرات را در نواحی بارزسازی و تعیین نمایند. به عبارتی کاربرد این دو مولفه نتایج کارآمدی برای تفکیک و پایش ذرات در نواحی دارند و کم‌هزینه هستند و تخریب محیط‌زیست کمتر است.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از همکاری معاونت پژوهشی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور و آزمایشگاه دیرینه مغناطیس‌سنجی این سازمان وزین کمال تشکر و قدردانی را داریم.

1. Environmental magnetism
2. Magnetic properties
3. Magnetic particles
4. Biomagnetometry
5. Bioaccumulators
6. Natural Remanent Magnetization
7. Magnetic Susceptibility
8. Isothermal Remanent Magnetization
9. Saturation Isothermal Remanent magnetization
10. Magnetic Field (Magnetizing Field)
11. Forward Feild
12. Induced Magnetization
13. Backward Field
14. Magnetic Behaviour
15. Magnetic Domain
16. Coercive force

فهرست منابع

- Addo, M. A.; Darko, E. O.; Gordon, C.; Nyarko, B. J. B. & Gbada go, J. K. 2012. Heavy Metal Concentrations in Road Deposited Dust at Ketu-South District, Ghana. *International Journal of Science and Technology*, 2 (1): 28-39
- Adachi, K. & Tainosho, Y. 2004. Characterization of heavy metal particles embedded in tire dust. *Environ Int*, Oct, 30(8):1009-17.
- Basavaiah, N. & Khadkikar, A.S. 2004. Environmental mangelnetism and it is application towards paleomonsoon reconstruction. *J. Ind, Geophys. Union*. 8(1): 1-14
- Bucko, M.; Magiera, S.; Johanson, T.; Petrovský, B.; Eduard, P. & Lauri J. 2011. Identification of magnetic particulates in road dust accumulated on roadside snow using magnetic, geochemical and micro-morphological analyses. *Environmental Pollution* 159: 1266-1276.
- Chaparro, Marcos A. E.; Juan M. Lavornia., Mauro A. E; Chaparro, & Sinito. M. 2014. Biomonitorers of urban air pollution: Magnetic studies and SEM observations of corticolous foliose and microfoliose lichens and their suitability for magnetic monitoring. *Environmental Pollution*, 172: 61-69.
- Dearing, J.; Dann, R.; Hay, K.; Lees, J.; Loveland, P.; Maher, B. & O'Grady, K. 1996. Frequency-dependent susceptibility measurements of environmental materials. *Geophys. J. Int*. 124: 228-240
- Duong, T. & Kyu Li. K. 2010. Determining contamination level of heavy metals in road dust from busy traffic areas with different characteristics. Revised 9 August 2010. Accepted 6 September 2010.
- Ellis, J. B. & Revitt. D. M. 1982. Incidence of Heavy Metals in Street Surface Sediments: Solubility and Grain Size Studies. *Water, Air and Soil Pollution*, 17: 87-100.
- Evans, M. & Heller, F. 2003. *Environmental Magnetism. Principles and application*. Academic Press. 297
- Flanders, P. 1994. Collection, measurement and analysis of airborne magnetic particulates from pollution in the environment. *Journal of Applied Physics* 75: 5931-5936.
- Gautam, P.; Blahab, U. & Appel, E. 2005. Magnetic susceptibility of dust-loaded leaves as a proxy of traffic-related heavy metal pollution in Kathmandu city, Nepal. *Atmospheric Environment*, 39:2201-2211
- Gubbins, D. & Herrero-Bervera, E. 2007. *Encyclopedia of Geomagnetism and Paleomagnetism*. <http://www.springer.com>.
- Hakanson, L. 1980. Ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water Res*, 14, 5, 97-101
- Hanesch, M.; Scholger, R. & Rey, D. 2003. Mapping dust distribution around an industrial site by measuring magnetic parameters of tree leaves. *Atmospheric Environment*, 37:5125-5133
- Hansard, R. Maher, B. A. & Kinnersley, R. 2011. Biomagnetic monitoring of industry-derived particulate pollution. *Environmental Pollution*. 159:1673-1681
- Hofman, J.; Maher, B. A.; Muxworthy, A. M.; Wuyts, K.; Castanheiro, A. & Samson, R. 2017. Biomagnetic monitoring of atmospheric pollution: a review of magnetic signatures from biological sensors. *Environmental Science and Technology* 51(12): 6648-6664.
- Jiries, A.; Hussein, H. H. & Halaseh, Z. 2001. The quality of water and sediments of street run-off in Amman, Jordan. *Hydrol Process*, 15: 815-824
- Kardel, F.; Wuyts, K.; Maher, B.A.; Hansard, R. & Samson, R. 2011. Leaf saturation isothermal remanent magnetization (SIRM) as a proxy for particulate matter monitoring: Inter-species differences and inseason variation. *Atmospheric Environment*, 45:5164-5171
- Kardel, F.; Wuyts, K.; Maher, B. A. & Samson, R. 2012. Intra-urban spatial variation of magnetic particles: Monitoring via leaf saturation isothermal remanent magnetization (SIRM). *Atmospheric Environment*, 55:111-120
- Kardel, F.; Wuyts, K.; Khavaninzhadeh, A.R. & Wuytack, T. 2012. Comparison of leaf saturation isothermal remanent magnetisation(SIRM)with anatomical, morphological and physiological tree leaf characteristics for assessing urban habitat quality. *Environmental Pollution*. 1- 8
- Kermani, M.; Arfaeina, H.; Nabizadeh, R.; Alimohammadi, M. & Aalamolhoda, A. A. 2016. Levels of PM2.5 associated heavy matalns in the ambient air of Sina hospital district, Tehran, Iran. *Journal of Air pollution and Health* 1:1-6
- Kim, W.; Doha, S-J.; Parkb, Y-H. & Yun, S-T. 2007. Two-year magnetic monitoring in conjunction with geochemical and electron microscopic data of roadside dust in Seoul, Korea. *Atmospheric Environment* 41:7627-7641.
- Lehndorff, E.; Ubat, M.; Schwark, L. 2006. Accumulation histories of magnetic particles on pine needles as function of air quality. *Atmospheric Environment*.40: 7082 – 7096

- Leili, M.; Naddafi K.; Nabizadeh R.; Yunesian. M. & Mesdaghinia A. 2008. The study of TSP and PM10 concentration and their heavy metal content in central area of Tehran, Iran. *Air Qual Atmos Health*.1: 159–66
- Magtoto, L.; M.Deemson G.; Fideliz. M. & Lomahan. P. 2013. Morpho-Anatomical characterization of *Tithonia diversifolia*(Hemsl)gray growing sites exposed to vehicular emissions.*International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences*. 3(3)
- Maher, B.; Moore. A. & Matzka, J. 2008. Spatial variation in vehicle-derived metal pollution identified by magnetic and elemental analysis of roadside tree leaves. *Atmospheric Environment* 42:364–373
- Maher, B.; Mitchel, R. & Kinnersley, R. 2010. High-resolution magnetic biomonitoring: a quantitative surrogate for particulate pollution. CLIMAQS Workshop 'Local Air Quality and its Interactions with Vegetation' January 21-22, 2010, Antwerp, Belgium
- Matzaka, J. & Maher B. A. 1999. Magnetic biomonitoring of roadside tree leaves: Identification of spatial and temporal variations in vehicle-derived particulates. *Atmospheric Environment*, 33: 4565 -4569.
- McIntosh, G.; Gómez-Paccard, M. & Luisa Osete, M. 2007. The magnetic properties of particles deposited on platanus x hispanica leaves in Madrid, Spain, and their temporal and spatial variations. *Science of the Total Environment*,382:135–146.
- Mejia- Echeverry, D.; Chaparro, M.A.E. & Duque-Trujillo, J. F. 2018. Castañeda Miranda, A. G. Magnetic Biomonitoring as a Tool for Assessment of Air Pollution Patterns in a Tropical Valley Using *Tillandsia* sp. *Atmosphere*,9(283):1-19
- Mitchell, R. & Maher, B. A. 2009. Evaluation and application of biomagnetic monitoring of traffic-derived particulate pollution. *Atmospheric Environment*, 43(13): 2095–2103
- Mitchell, R.; Maher, B. A. & Kinnersley, R. 2010. Rates of particulate pollution deposition onto leaf surfaces: Temporal and inter-species magnetic analyses. *Environmental Pollution*158:1472–1478
- Mollashahi, M.; Alimohammadian, Habib.; Hosseini, S.M.; Riahi, A.R.; Feizi,V. & Satateiyan, A. 2012. Mapping Air Pollution Using Magnetometry on Tree Leaves in Tehran Metropolitan, Iran. 44(3): 93-108(in persian)
- Moreno, E.; Leonardo, S.; Dinar es-Turell, J.; Winkler, A. & Cascella, A. 2003. Biomonitoring of traffic air pollution in Rome using magnetic properties of tree leaves. *Atmospheric Environment*37: 2967–2977
- Naddafi, K.; MH, Sowlat. M.H. & Safari, M.H. 2012. Integrated Assessment of Air Pollution in Tehran, Over the Period from September 2008 to September 2009. *Iranian J Publ Health*, 41(2): 77-86
- Robertson, D.; Taylor, J. & Hoon. S. R. 2003. Geochemical and mineral magnetic characterisation of urban sediment particulates, Manchester, UK. *Applied Geochemistry*, 18: 269-282.
- Sagnotti, L.; Macrí, P.; Egli, R. & Mondolio, M. 2006. Magnetic properties of atmospheric particulate matter from automatic air sampler stations in Latium(Italy): towards a definition of magnetic fingerprints for natural and anthropogenic PM10 sources. *Journal of Geophysical Research*, 111, B12S22
- Shahar, H. & Amran, M. 2008. Comparison of Pt, Rh, Cu, Zn, Pb and Ni Concentration in road dust samples of Genting Sempah Tunnel, Pahang. *The Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 12(2):291–301
- Simonich, S. & Hites, R.1995. Organic pollutant accumulation in vegetation. *Environmental Science and Technology*, 29: 2905 - 2914.
- Sowlat, M.H.; Gharibi, H.; Yunesian. M.; Tayefeh Mahmoudi, M. & Lotfi, S .2011. A novel, fuzzy-based air quality index(FAQI)for air quality assessment. *Atmos Environ*, 45: 2050-2059.
- Thomson, R. & Oldfield, F. 1986. *Environmental Magnetism*. Allen and Unwin: Springer, London
- Wang, G.; Oldfield, F.; Xia, D.; Chen, Fahu. & Liu X. 2012. Magnetic properties and correlation with heavy metals in urban street dust: A case study from the city of Lanzhou, China. *Atmospheric Environment*, 46: 289-298.
- Wang, J.; Li, S.; Li , H.; Qian, X.; Li, X.; Liu, X.; Lu, H.; Wang, C. & Sun, Y. 2017. Trace metals and magnetic particles in PM2.5: Magnetic identification and its implications. *Science Reports*. 29; 7(1):9865
- Wei, B. & Yang, L. 2010. A review of heavy metal contaminations in urban soils, urban road dusts and agricultural soils from China. *Microchem. J*. 94: 99-107.
- Zhang, C.; Huang, B.; Li, Z. & Liu, H. 2006. Magnetic properties of high road-side pine tree leaves in Beijing and their environmental significance. *Chinese Science Bulletin*, 51: 3041-3052.
- Zhang, C.; Qiao, Q.; Piper, J. D. & Huang, B. 2011. Assessment of heavy metal pollution from a Fesmelting plant in urban river sediments using environmental magnetic and geochemical methods. *Environmental Pollution*. <http://dx.doi.org/10.1016/j>.
- Zhu, Y.; Hinds, W.C.; Kim, S. & Sioutas, C. 2002. Concentration and size distribution of ultrafine particles near a major highway. *Journal of the Air and Waste Management Association*, 52:1032–1042.