بوم‌شناسی کاربردی/ سال سیزدهم / شماره اول / بهار ۱۴۰۳/ صفحات ۷۹ تا ۹۳

پایش زیستی عناصر با پتانسیل سمیت با استفاده از شیمی نگاری درختی در برخی از مناطق استان اصفهان

علیرضا مرجوی[۱]، محسن سلیمانی*[۲]، نوراله میرغفاری[۳]، حمیدرضا کریم زاده[٤] و سیدجمال الدین خواجه الدین[٥]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۰۵ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۲۷)

چکیده

آلودگی محیط‌زیست یکی از ره‌آوردهای توسعه ناپایدار است که با افزایش جمعیت، گسترش شهرنشینی، صنعت و مصرف بیشتر سوخت‌های فسیلی برشدت آن افزوده‌شده است. این پژوهش با هدف پایش عناصر با پتانسیل سمیت در برخی مناطق استان اصفهان، با روش شیمی‌نگاری درختی، با استفاده از حلقه‌های سالیانه تنه درخت کاج تهران (*Pinus eldarica*) انجام گرفت. درختانی با حداقل سن حدود ۵۰ سال در سه منطقه اصفهان، زرین‌شهر و اردستان انتخاب و سپس از سه اصله درخت در هر ایستگاه با استفاده از مته سال سنج نمونه‌برداری صورت گرفت. نمونه‌ها بافاصله زمانی ۱۰ سال جداسازی و برای اندازه‌گیری عناصر با پتانسیل سمیت استفاده شدند. ضخامت حلقه‌های رویشی گیاهان مورد استفاده در دهه‌های اخیر نسبت به دهه‌های قدیمی‌تر کاهش ۳۳، ۲۶ و ۲۲ درصدی را در اردستان، زرین‌شهر و اصفهان نشان داد. در اغلب نمونه‌های مربوط به شهر اصفهان و زرین‌شهر عامل غنی‌شدگی در حلقه‌های درختی بیشتر از یک بود و برای عناصر آهن، روی و کروم روند افزایشی را نسبت به زمان نشان داد. زیاد بودن غلظت آهن و سرب حلقه‌های درختی در زرین‌شهر و اصفهان، به خصوص در جدیدترین دهه زمانی را می توان به وجود و افزایش فعالیت‌های صنعتی مانند ذوب فلزات و ریخته گری، ارتباط داد.

واژه‌های کلیدی: پایش محیط زیست، آلودگی هوا، درخت کاج تهران، فلزات سنگین

۱. دانش‌آموخته دکتری دانشگاه صنعتی اصفهان و عضو هیات علمی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان،
۲. دانشیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.
۳. استاد گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.
٤. دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.
٥. استاد بازنشسته گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: m.soleimani@iut.ac.ir

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-19]

[DOI: 10.47176/ijae.13.1.136.1]

مقدمه

مشکلات آلودگی محیط‌زیست و بهداشت محیط خود را به‌عنوان بخشی از مشکلات جوامع صنعتی که کمتر به توسعه پایدار توجه کرده‌اند، نشان داده است (۱۱ و ۲۱). اگرچه تخریب اکولوژیکی محیط در درجه اول به‌صورت منطقه‌ای ظاهر می‌شود، ولی خود مقدمه‌ای برای چالش‌های گسترده جهانی است (۲۸). لذا برای تمدن‌های در حال پیشرفت، نظارت و ارزیابی ریسک آلاینده‌های محیط‌زیست اجتناب‌ناپذیر است (۱٤ و ۳۵). با توجه به پرهزینه و زمان‌بر روشهای معمول پایش و اندازه‌گیری آلاینده‌های محیط زیست (۲۲)، روش‌های پایش و نظارت غیرفعال مورد استقبال بیشتری واقع‌شده است، زیرا دارای هزینه کمتر و امکان انجام پایش برای مدت‌زمان طولانی‌تر بدون استفاده از دستگاه‌های گران‌قیمت و خاص را فراهم می‌کند (۹).

مناطق شهری حاوی طیف گسترده‌ای از عناصر با پتانسیل سمیت هستند که به‌اشتباه عموماً فلزات سنگین نام‌برده می‌شوند (۲۹). این آلاینده‌ها از فعالیت‌های مختلف صنعتی، شهری و کشاورزی و احتراق سوخت‌های فسیلی و همچنین فرایندهای طبیعی مانند گردوغبار می‌توانند منشأ گیرند. وجود غلظت زیاد این عناصر در محیط می‌تواند به‌سرعت بر جانوران و گیاهان تأثیرگذار باشد. درختان به‌عنوان بخش مهمی از گیاهان توانایی جذب این عناصر را دارا هستند و استفاده از آن‌ها به‌طور گسترده در مطالعات پایش زیستی مرسوم است (۱۸). ازآنجایی‌که ثبت آلودگی‌های محیط‌زیست توسط بشر در نقاط مختلف دارای محدودیت‌های زمانی است، به‌منظور شناسایی و مطالعه تاریخچه تجمع آلودگی‌ها، روش‌های متعددی توسط دانشمندان مورد استفاده قرارگرفته است. ازجمله این روش‌ها استفاده از یخچال‌های طبیعی و یا رسوبات دریاهای و دریاچه‌های به‌جای مانده از سالیان گذشته هستند. ولی این روش‌ها دارای محدودیت جغرافیایی است و در همه‌جا نمی‌توان استفاده نمود. برخلاف بایگانی‌های طبیعی فوق، درختان به‌عنوان گسترده‌ترین موجودات طبیعی در جهان برای پایش آلودگی‌ها محیط زیستی گزینه بسیار خوبی می‌تواند باشد (۸). سال‌هاست که از گیاهان به‌عنوان پایشگر زیستی واقعی آلودگی و به‌ویژه تجمع عناصر با پتانسیل سمیت در محیط استفاده شده است. گیاهان و ازجمله درختان در مقابل گازهای آلوده‌کننده هوا واکنش نشان داده و گاهی منجر به حذف آن‌ها می‌شوند. غلظت عناصر با پتانسیل سمیت در اندام‌های درختان بیانگر غلظت این عناصر در محیط اطراف است (۱۹). بر همین اساس توجه به درختان به‌عنوان پایشگر زیستی می‌تواند اطلاعات جامعی را از وضعیت آلودگی‌های سال‌های گذشته در اختیار بشر قرار دهد (٤).

به‌طورکلی پایش زیستی به استفاده از موجودات زنده یا فراورده‌های زیستی به‌منظور به دست آوردن اطلاعات کمی از برخی از ویژگی‌های محیط‌زیست تعریف می‌شود. پایشگرهای زیستی را به دو گروه فعال و غیرفعال تقسیم می‌کنند. پایشگرهای زیستی فعال (مانند خزه‌ها و گلسنگ‌ها) به‌صورت ژنتیکی نسبت به آلاینده‌های هوا حساس هستند و از مناطق غیر آلوده به منطقه مطالعه جمع آوری یا کشت شده و مطالعه روی آن‌ها انجام می‌پذیرد. ولی به گیاهانی که به‌طور طبیعی در محدود مطالعاتی رشد می‌کند و یا وجود دارند مثل گیاهان بومی، باغی، زراعی و زینتی به‌عنوان منابع علمی در محدوده مطالعاتی مورداستفاده واقع می‌شوند پایشگر زیستی غیرفعال می‌گویند که می‌توان به برخی از گیاهان عالی نظیر درختان سپیدار (*Populus alba*)، کاج (*Pinus*)، نخل خرما (*Phoenix dactylifera*)، سنجد (*Elaeagnus angustifolia*)، انجیر (*Ficus carica*)، زبان‌گنجشک (*Fraxinus excelsior*)، سیب (*Malus*)، غان (*Betula*)، عرعر (*Ailanthus altissima*)، آقطی (*Sambucus ebulus*)، بلوط (*Quercus*)، تبریزی (*Populus nigra*) و اقاقیا (*Robinia*) اشاره کرد. از اندام‌های هوایی این گیاهان مانند برگ، پوست و چوب آن‌ها برای پایش آلاینده‌ها استفاده‌شده است. اطلاعات حاصل از روش پایش زیستی بر اساس ایجاد هرگونه تغییر در رفتار پایشگر زیستی و یا تغییر در غلظت فاکتور پایشگر در اندام‌های مورد مطالعه آن استنباط

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-19]

[DOI: 10.47176/ijae.13.1.136.1]

می‌شود. در صورت انتخاب پایشگر زیستی مناسب، مزایای استفاده از این روش در درجه اول مرتبط با حضور دائمی و رایج پایشگر در یک محیط، حتی در مناطق دورافتاده و سپس سهولت نمونه‌برداری و عدم نیاز به هرگونه تجهیزات فنی گران است. گونه‌های پایشگر در آلودگی هوا اغلب بر اساس معیارهایی چون منحصربه‌فرد بودن، نرخ‌های تجمع و یا نماینده خوب بودن از یک محل نمونه‌گیری انتخاب می‌شوند (۱۰).

مطالعه و تحلیل حلقه‌های رشد سالانه درختان و استفاده از آن‌ها برای تعیین تغییرات اقلیمی در دوره‌های گذشته و تحقیقات باستان‌شناختی را شیمی نگاری درختی گویند. شیمی نگاری درختی موضوعی است که وقایع شیمیایی واقع‌شده بر درختان را در حلقه‌های رویش مورد جستجو قرار می‌دهد. حلقه‌های رویشی درختان به‌منظور بررسی اثر آلودگی حاصل از سوخت اتومبیل‌ها، کارخانه‌ها و سوخت‌های فسیلی مورد توجه محققان قرارگرفته است. گیاهان به دلیل نداشتن تحرک به‌طور کامل در معرض آلودگی قرار دارند. هرچند در حال حاضر می‌توان با استفاده از برخی از دستگاه‌ها، آلودگی‌های هوا، خاک و آب را اندازه‌گیری کرد، نمی‌توان گفت که چه مقدار از این آلودگی‌ها، جذب درختان شده و برای همیشه در بافت‌های چوبی آن‌ها تجمع یافته و در سال‌های گذشته تغییرات این آلودگی‌ها چگونه بوده است (۲۶). دانش شیمی نگاری درختی به‌ویژه استفاده از درختان رده مخروطیان (Pinophyta) از دهه ۱۹۷۰ میلادی به‌عنوان یک نشانگر زیستی برای تعیین آلودگی‌های محیط زیستی مورد توجه قرار گرفته است (۳٤). نتایج پژوهش‌های گذشته به امکان استفاده از پوست درخت کاج تهران (*Pinus eldarica*) برای تعیین منبع احتمالی تولید ترکیبات آروماتیک چند حلقه‌ای به عنوان دسته‌ای از آلاینده‌های آلی در هوا اشاره دارد (۱۳). همچنین پتانسیل استفاده از دوایر سالیانه درخت چنار (*Platanus orientalis*) برای بررسی الگوهای طولانی مدت اقلیمی در محیط های آبی بررسی شده است (۲۳). در روش‌های مورداستفاده برای شیمی نگاری درختی، به‌طورمعمول نیاز به تهیه مقاطع درختی از طریق برش و تهیه دیسک از تنه درختان است. در این روش، یا باید از درختانی که قبلاً قطع‌شده‌اند استفاده شود که ممکن است در منطقه موردمطالعه در دسترس نباشند، یا نیاز به قطع درخت در منطقه موردبررسی وجود دارد. این امر مستلزم آسیب به محیط‌زیست است و در بسیاری از موارد، امکان نمونه‌برداری را محدود می‌کند. برای غلبه بر این مشکل، از ابزاری به نام مته سال‌سنج استفاده می‌شود. این روش نمونه‌برداری علاوه بر اینکه یک نمونه‌برداری غیر مخرب به محیط‌زیست است (عدم برش یک درخت زنده)، آسیب به خود درخت نیز وارد نمی‌آورد و درخت قادر است به حیات خود ادامه دهد (۲٤). هر درخت سالیانه یک حلقه رویشی به مجموع حلقه‌های سالیانه خود اضافه می‌کند که با شمارش این حلقه‌ها نه‌تنها می‌توان سن درخت را تشخیص داد؛ بلکه با اندازه‌گیری پارامترهای هر حلقه رویشی شرایط محیطی تأثیرگذار بر تشکیل آن حلقه سالیانه را می‌توان بازسازی کرد. پهنای دوایر سالیانه به شرایط محیطی بستگی دارد. رطوبت کافی و فصل رشد طولانی به تولید دوایر پهن‌تر می‌انجامد درحالی‌که خشک‌سالی منجر به ایجاد دوایر باریک‌تر می‌شود (۲).

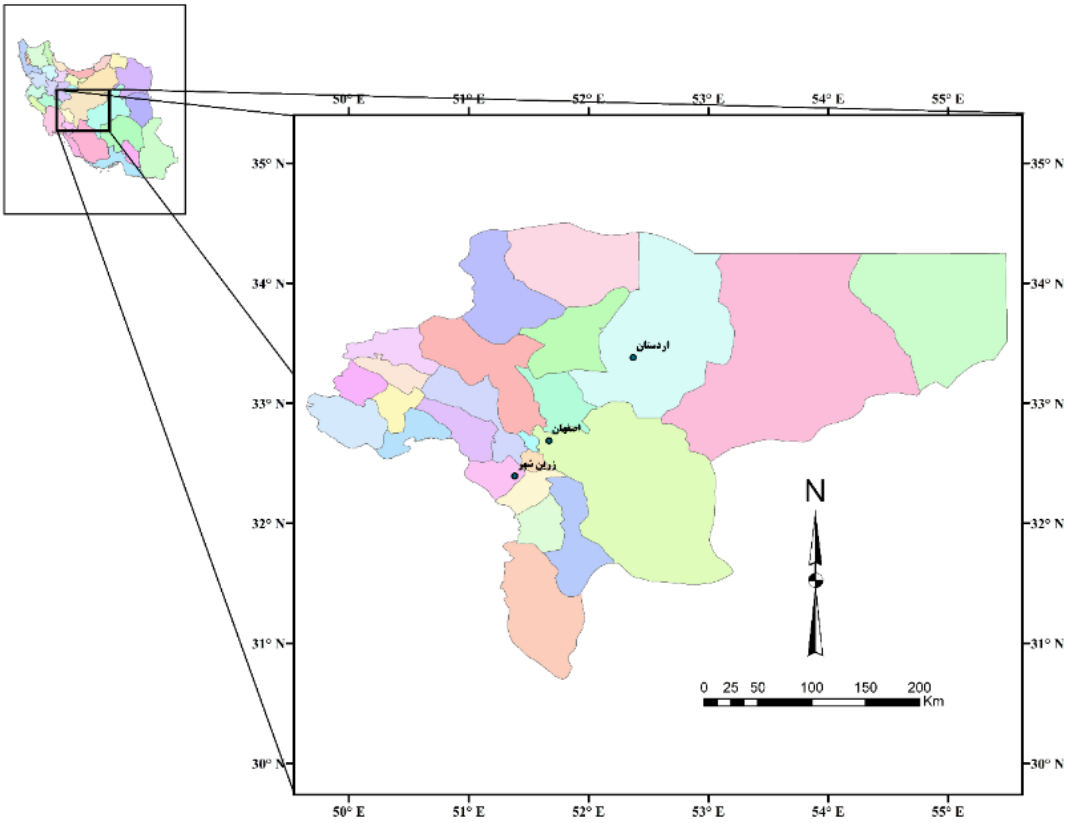
با توجه به مشکلات آلودگی محیط‌زیست در شهرهای صنعتی کشور، به‌ویژه کلان‌شهر اصفهان و نیاز به پایش آلودگی‌ها با روش‌های سازگار با محیط‌زیست و کم‌هزینه، این پژوهش با هدف بررسی آلودگی عناصر دارای پتانسیل سمیت، به‌عنوان بخشی از آلاینده‌های محیطی، با استفاده از حلقه‌های سالیانه درخت کاج تهران تعریف و اجرا شده است. همچنین، این پژوهش به بررسی تغییرات تاریخی آلاینده‌ها در دهه‌های گذشته و ارتباط آن‌ها با فعالیت‌های صنعتی و شهری در منطقه مورد مطالعه می‌پردازد.

مواد و روش‌ها

کاج تهران یا کاج الدریکا (*P. eldarica*) به علت کشت زیاد آن در منطقه و همچنین به دلیل اینکه به‌عنوان یک‌گونه سوزنی‌برگ، همیشه‌سبز و داشتن برگ‌های ریز، سطح مقطع

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-19]

[DOI: 10.47176/ijae.13.1.136.1]



شکل ۱. موقعیت نقاط نمونه‌برداری از حلقه‌های درختی کاج تهران در استان اصفهان

بیشتری را در برابر آلاینده‌های هوا ایجاد می‌کند و حساسیت بیشتری نسبت به آلودگی هوا دارد، به‌عنوان گونه مناسب انتخاب شد. برای انجام کار باید کلیه عوامل مثل جنس و گونه درخت، سن درخت، شرایط اقلیمی محل زندگی درخت و شرایط دیگر مثل آبیاری و غیره یکسان باشند (۳۳). به عبارتی برای انتخاب نقاط نمونه‌برداری، محل‌های رشد مختلف باید از شدت آلودگی متفاوت اما از آب‌وهوای یکسان برخوردار باشند. پیدا کردن خاک‌های کاملاً یکسان ازلحاظ خصوصیات فیزیکی و شیمیایی حتی در یک منطقه و بافاصله کم، تقریباً کاری غیرممکن است. اقلیم یکسان عاملی است که به‌طور عمده باعث یکسان شدن رژیم حرارتی و رطوبتی خاک می‌شد. درعین‌حال سعی شد خاک محل نمونه‌برداری ازلحاظ سری طبقه‌بندی خاک نیز یکسان انتخاب گردند. در مطالعات شیمی‌نگاری درختی به‌منظور درک تغییرات شیمیایی که در طول زندگی درخت اتفاق افتاده است برگشت به عقب روی حلقه‌ها جز بنیان مطالعه محسوب می‌شود. بنابراین درختان هرچقدر مسن‌تر باشند بیشتر قادرند وضعیت گذشته خود را به نمایش بگذارند. لذا در این پژوهش سعی شد درختانی برای نمونه‌برداری انتخاب گردد که حداقل سن آن‌ها حدود ۵۰ سال باشند. هرچند که افزایش سالیانه قطر درختان و ازجمله درخت کاج تهران بستگی به پارامترهای زیادی دارد، ولی بر اساس تحقیقات انجام‌گرفته متوسط رشد سالانه قطر درخت کاج تهران حدود ۵ میلی‌متر است (۱). برای درختی با سن ۵۰ سال، قطر برابرسینه آن ۲۵ سانتی‌متر و یا محیط آن ۷۸/۵ سانتی‌متر است. از طرفی به‌منظور یکسان بودن شرایط اقلیمی با توجه به نقشه طبقه‌بندی اقلیم استان به روش دومارتن (۱۵) و بر اساس نقشه وضعیت آلودگی هوا در استان اصفهان (۳۰) سه منطقه اصفهان، زرین‌شهر و اردستان انتخاب گردید که ازلحاظ تقسیم‌بندی جزء مناطق خشک طبقه‌بندی می‌شوند (شکل ۱). در هر محل انتخاب‌شده تعداد سه عدد درخت سالم و دارای تاج و پوشش

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-19]

[DOI: 10.47176/ijae.13.1.136.1]

جدول ۱. نقاط نمونه‌برداری حلقه‌های درخت کاج تهران

شهرستان محل نمونه‌برداری	محل نمونه‌برداری	تاریخ نمونه‌برداری	محیط درخت (سانتیمتر)	موقعیت جغرافیایی محل نمونه‌برداری					
				عرض جغرافیایی (شمالی)			طول جغرافیایی (شرقی)		
				درجه	دقیقه	ثانیه	درجه	دقیقه	ثانیه
اصفهان	بیشه حبیب	۱۳۹۶/۷/۳۰	۱۴۷	۳۲	۳۸	۳۲/۴	۵۱	۳۸	۴۲
	پارک مشتاق	۱۳۹۶/۸/۴	۱۶۸	۳۲	۳۸	۱۷/۵	۵۱	۴۱	۷/۱
	پارک شهید رجایی	۱۳۹۶/۸/۴	۱۶۱	۳۲	۳۹	۱۲/۴	۵۱	۴۰	۱۱/۷
اردستان	پارک کودک	۱۳۹۶/۸/۸	۱۵۳	۳۳	۲۲	۱۹/۱	۵۲	۲۲	۷/۸
			۱۶۳	۳۳	۲۲	۱۸/۳	۵۲	۲۲	۹/۴
			۱۵۱	۳۳	۲۲	۱۸/۳	۵۲	۲۲	۹/۴
زرین‌شهر	پارک لاله	۱۳۹۶/۸/۱۵	۱۶۰	۳۲	۲۳	۵۵/۸	۵۱	۲۲	۵۵/۶
			۱۵۲	۳۲	۲۳	۵۵/۸	۵۱	۲۲	۵۵/۶
			۱۸۰	۳۲	۲۳	۵۵/۸	۵۱	۲۲	۵۵/۶

متقارن و قطور از نوع درخت کاج تهران انتخاب شد. حلقه‌ها به‌وسیله مته سال سنج با سر فولادی ضدزنگ به قطر ۵ میلی‌متر و از ارتفاع ۱۳۰ سانتیمتری سطح زمین (سطح استاندارد برابرسینه) از تنه درختان خارج گردید. از هر درخت، دو نمونه به‌صورت عمود بر هم، یکی از جهت جنوب و دیگری از جهت شرق ودر ارتفاع برابر با ارتفاع سینه (حدود ۱۳۰ سانتی‌متر) گرفته شد. نمونه‌ها از داخل مته به بیرون کشیده شد و در داخل محفظه‌های پلاستیکی قرار گرفت و کدگذاری گردید. قبل از نمونه‌برداری سطح خارجی تنه درختان برای اجتناب از آلودگی سطحی عناصر با پتانسیل سمیت روی مته سال سنج کاملاً با آب مقطر شستشو داده و بعد از خارج نمودن نمونه از تنه درختان، فضای خالی ایجادشده با پنبه و چسب باغبانی پر شد (۳, ٦). نمونه‌ها در مهر و آبان ۱۳۹٦ برداشت شدند. مشخصات نمونه‌برداری از حلقه‌های درختی در جدول ۱ ارائه شده است.

سطح خارجی همه نمونه‌های خارج‌شده به ترتیب با سمباده‌های زبر ۱۰۰ و نرم ٤۰۰ (تعداد ذرات خورنده در اینچ مربع) به‌منظور وضوح بیشتر حد بین چوب بهاره و تابستانه سائیده شد و با آب مقطر شسته شد و عملیات تاریخ‌گذاری زیر بینوکولر و اندازه‌گیری ضخامت هر ده سال با استفاده از کولیس انجام گرفت (۳۱). با توجه به تاریخ‌گذاری‌های صورت گرفته نمونه‌های سونداژ در فاصله زمانی ۱۰ ساله با تیغ برش داده شد و در داخل محفظه‌های پلاستیکی قرار گرفت و کدگذاری گردید. قبل از آن، بافت آبکش یا کامبیوم (لایه زاینده بعد از پوست) و پوست (لایه رویی تنه درخت) از انتهای نمونه‌های سونداژ با تیغ برش، جدا گردید. دلیل این کار حضور چندین برابری فلزات سنگین در بافت آبکش نسبت به بافت چوب است (۷). نمونه‌ها تا حد امکان با استفاده از آسیاب برقی (جنس تیغه از فولاد ضدزنگ) پودر شد و برای تجزیه‌های شیمیایی مورداستفاده واقع شد. به‌منظور جلوگیری از انتقال هرگونه آلودگی در بین هر مرحله آماده‌سازی نمونه‌ها، تمامی وسایل نمونه‌برداری از قبیل مته سال سنج، تیغ برش، و محفظه آسیاب برقی با آب معمولی و آب مقطر شسته و پس از خشک شدن مجدداً مورداستفاده قرار گرفت.

برای هضم نمونه ها، از هر نمونه ۰/۲۵ گرم به ظروف پلاستیکی منتقل و با ۱۰ میلی‌لیتر محلول آکوارجیا (نسبت ۱ به ۳ اسید نیتریک غلیظ (٦۵٪ مرک) و اسید هیدروکلریک (۳۷٪ مرک)) روی هات‌پلیت در دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد به

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-19]

[DOI: 10.47176/ijae.13.1.136.1]

مدت ۳ ساعت هضم شد.

پس از خنک شدن، محتویات ظروف از فیلتر واتمن ۴۲ ساخته‌شده از الیاف سلولز ۹۸ درصد با قطر منافذ ۲/۵ میکرومتر عبور داده و استاندارد داخلی حاوی عنصر ایتریوم (Y) اضافه و با آب مقطر به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد. غلظت استاندارد داخلی هر نمونه برابر با ۱۰ میکروگرم بر لیتر بود. غلظت عناصر Pb, Cd, Ni, Cr, Al, Zn, Cu, Fe, Mn, As, Hg, Be , Ca, Mg با استفاده از طیف‌سنجی جرمی پلاسمای جفت شده القایی (ICP-MS, Agilent 7700) اندازه‌گیری شد. هم‌زمان از نمونه‌های مرجع خاک در دسترس GSB-11 (GBW10020) و GSB-11 (GBW10021) برای ارزیابی صحت داده‌های اندازه گیری استفاده شد.

اندازه‌گیری عامل غنی‌شدگی

عامل غنی‌شدگی (Enrichment Factor, EF) جهت مشخص کردن طبیعی و یا انسانی بودن منشأ عناصر استفاده می‌شود. در محاسبه این ضریب از یک عنصر به‌عنوان مرجع (در این مطالعه عنصر Al بود) استفاده می‌گردد که دارای منشأ طبیعی باشد (۳۲). برای محاسبه این ضریب از معادله (۱) استفاده شد. در اکثر مطالعات فرض می‌گردد که منشأ Al به‌طور کامل از پوسته زمین است غلظت سایر عناصر نسبت به عنصر Al محاسبه می‌شود (۱۶).

$$EF= ([X] / [Ref])/ ([X] source/ [Ref] source)$$

معادله (۱)

[X] غلظت عنصر موردنظر در نمونه، [Ref] غلظت عنصر رفرنس (Al) در نمونه، source [X] غلظت عنصر موردنظر در زمینه، source [Ref] غلظت عنصر رفرنس (Al) در زمینه

غلظت هر عنصر اندازه‌گیری شده در حلقه‌های درختی نسبت به غلظت همان عنصر در حلقه‌درختی پیش‌زمینه که در این مطالعه اردستان است در محاسبه این عامل استفاده شد. حد مجاز جهت میزان غنی‌شدگی در این مورد ۱ است که با افزایش از این میزان تأثیر فعالیت‌های انسانی مشخص می‌شود (۵).

تجزیه‌وتحلیل آماری

به‌منظور بررسی تغییرات و انجام تجزیه واریانس داده‌ها، نیاز بود که داده‌ها نرمال باشند. بدین منظور از آزمون کولموگراف – اسمیرنوف به تفکیک هر عنصر استفاده شد. برای مشخص کردن داده‌های پرت از مجموعه داده‌ها چارک اول و سوم و ۵۰ درصد داده‌ها، حد زیاد و کم برای هر عنصر مشخص شد. سپس داده‌هایی که بیشتر از حد زیاد و یا کوچک‌تر از حد کم بودند به‌عنوان داده پرت از مجموعه داده‌ها خارج شدند. از روش تبدیل جانسون برای نرمال‌سازی داده‌ها استفاده شد. به‌منظور تجزیه واریانس و مقایسه میانگین تمامی داده‌ها نسبت به یکدیگر غلظت عناصر اندازه‌گیری شده مربوط به حلقه‌های درختی از آزمون فاکتوریل به‌صورت کاملاً تصادفی استفاده شد. در این آزمون دو فاکتور یکی موقعیت نمونه‌برداری که در سه سطح تعریف‌شده بودند و فاکتور دوم زمان (دهک‌های تفکیک‌شده طی ۵۰ سال گذشته) در پنج سطح مورداستفاده قرار گرفت. مقایسه میانگین‌ها در سطوح ۵، ۱ و ۰/۱ درصد به روش دانکن صورت پذیرفت. نرم‌افزارهای مورداستفاده جهت تجزیه‌های آماری عبارت بودند از Excel 2016 (تعیین نقاط پرت)، SPSS 18 (تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها) و Minitab 19 (تبدیل داده‌های غیر نرمال به نرمال با استفاده از تبدیل جانسون).

نتایج و بحث

بر اساس محاسبات انجام‌گرفته در این مطالعه میانگین درصد کاهش ضخامت حلقه‌های درختان در مناطق مورد آزمایش اصفهان، زرین‌شهر و اردستان به ترتیب ۲۱/۶، ۲۵/۷ و ۳۳/۷ درصد برآورد شد. بیشترین و کمترین کاهش به ترتیب برای اردستان و اصفهان مشاهده شد. در تمام دهه‌های نمونه‌برداری از حلقه‌های درخت، سایت مطالعه زرین‌شهر دارای بیشترین ضخامت حلقه‌درختی بود (شکل ۲). ازآنجایی‌که درختان کاج تهران به‌عنوان درختان غیر مثمر در فضاهای پارک کشت می‌شوند، لذا میزان و دوره آبیاری آن‌ها را انسان مدیریت

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-19]

[DOI: 10.47176/ijae.13.1.136.1]



شکل ۲. ضخامت دهک‌های حلقه‌های درختی تولیدشده در سه منطقه موردمطالعه

جدول ۲. اثر متقابل مقدار غلظت عناصر اندازه‌گیری شده در حلقه‌های درختی برای موقعیت و زمان

عنصر	موقعیت* زمان	عنصر	موقعیت* زمان
Fe	۰/۰۰۱**	Ni	۰/۰۰۹*
Cd	۰/۳۲۲	Al	۰/۰۰۱**
Pb	۰/۰۰۰۱***	Mg	۰/۰۰۲**
Cr	۰/٤٤٤	Ca	۰/۰۰۰۱***
Mn	۰/۰۰۱**	Be	۰/۰۰۰۱***
Zn	۰/۸٤٦	Hg	۰/۰۰۵*
Cu	۰/۰۰۰۱***	As	۰/٦۸٤

*، **، *** به ترتیبت معنی‌دار بودن در سطح ۵، ۱ و ۰/۱ درصد

می‌کند. متأسفانه، با تداوم خشک‌سالی در دهه‌های اخیر، روند افزایش شوری خاک و آب در بسیاری از مناطق کشور شدت یافته است. این وضعیت نه‌تنها منجر به کاهش سطح آب‌های زیرزمینی و به دنبال آن کاهش توان آبیاری فضای سبز در نقاط مختلف استان اصفهان شد، بلکه درنتیجه کف کنی چاه‌ها به‌منظور دسترسی بیشتر به آب، در اغلب موارد شوری و میزان املاح آب و به‌تبع آن شوری خاک افزایش یافت. این شرایط علاوه بر تنش خشکی که به دلیل کاهش بارش‌ها و افت سطح آب‌های زیرزمینی بر درختان وارد می‌شود، تنش شوری را نیز به آن‌ها تحمیل می‌کند. از طرفی اردستان در منطقه‌ای خشک تر و با طبیعت شورتری نسبت به شهر اصفهان واقع‌شده است به‌طوری‌که بر اساس تجزیه‌های صورت گرفته از خاک سه موقعیت شوری خاک در منطقه اردستان حدود ۲ برابر بیشتر شوری خاک در اصفهان و زرین‌شهر است که این احتمالاً دلیل کاهش بیشتر شیب حلقه‌های درختی در اردستان نسبت به اصفهان، موارد فوق‌الذکر است.

مقایسه میانگین بین غلظت عناصر اندازه‌گیری شده از دو طرف هر درخت در هر منطقه نمونه‌برداری شده مشخص کرد هیچ اختلاف معنی‌داری بین آن‌ها وجود نداشت؛ لذا برای محاسبات بعدی از میانگین آن‌ها استفاده شد.

جدول ۲ اثر متقابل غلظت عناصر اندازه‌گیری شده در موقعیت های مختلف (اردستان، اصفهان و زرین‌شهر) و زمان

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-19]
[DOI: 10.47176/ijae.13.1.136.1]

(پنج دهک نمونه‌برداری شده) را نشان می‌دهد. از میان ۱٤ عنصر اندازه‌گیری شده، عناصر As، Zn، Cr و Cd اثر معنی‌داری از خود نشان نداده‌اند. فاصله اطمینان عناصری که معنی‌دار شده‌اند از ۹۵ تا ۹۹/۹ درصد متفاوت است. غلظت عناصر اندازه‌گیری شده Fe, Cd, Pb, Cr, Mn, Zn, Cu, As, Ni, Al, Mg, Ca, Be, Hg در دهک‌های نمونه‌برداری شده حلقه‌های درختی در سه موقعیت اصفهان، زرین‌شهر و اردستان با نمایش تفاوت آماری هر ستون نسبت به دیگر ستون‌ها در شکل ۳ ارائه‌شده است.

لازم به ذکر است به دلیل وجود تنها یک تکرار برای موقعیت زرین‌شهر و در دهک ۱۳۵٦-۱۳٤۷ و عدم امکان مقایسه میانگین این ستون با دیگر ستون‌های موجود که بیانگر میانگین تکرارهای متعددی هستند، ستون مربوطه برای تمامی عناصر در شکل حذف شد.

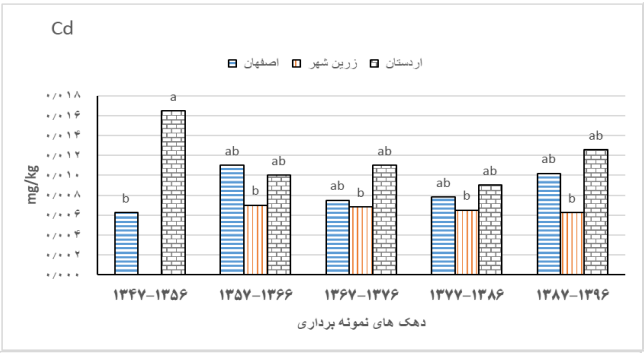
بررسی نمودار غلظت عنصر آهن (شکل ۳، آهن) نشان داد که در موقعیت، به‌استثنای دهه ۱۳۵٦-۱۳٤۷ که بین اردستان و اصفهان اختلاف معنی‌داری مشاهده شد که شاید دلیل آن نیز در ذرات اولیه خاک این دو موقعیت بوده، در بقیه موارد اختلاف معنی‌داری بین موقعیت‌ها در هر دهک زمانی وجود نداشت.

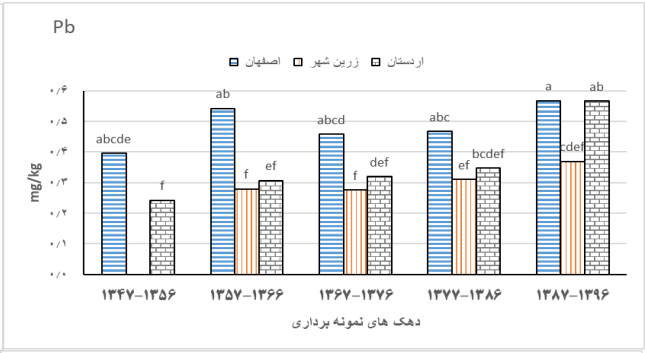
روند جذب عنصر آهن در حلقه‌های درختی از دهه‌های قدیمی‌تر به‌طرف دهه‌های جدیدتر روندی افزایشی را نشان داد. به‌طوری‌که در آخرین دهه زمانی ۱۳۹٦-۱۳۸۷ بیشترین غلظت آهن در حلقه‌های درختی در هر سه موقعیت ثبت شد و موقعیت زرین‌شهر علی‌رغم معنی‌دار نشدن غلظت آهن در آن با دیگر موقعیت‌ها، در آخرین دهه، بیشترین غلظت آهن را به خود اختصاص داد (شکل ۳). شاید یکی از دلایل آن وجود کارخانه‌های ذوب فلزی و فولادسازی در این موقعیت باشد که با فعالیت‌های صنعتی و انتشار این فلز در فضا و نهایتاً افزایش غلظت آن در خاک توسط بارندگی و فرونشست ذرات ریزشی باعث جذب توسط حلقه‌های درختی شده است. و یا احتمالاً به خاطر افزایش غلظت این عنصر در هوای این منطقه و جذب آن به‌صورت برگی اتفاق افتاده است و توانسته است در حلقه‌های درختی تجمع بیشتری را از خود نشان دهد. طی تحقیقی در شهر آلیاگا در کشور ترکیه افزایش Fe و بعضی از عناصر با پتانسیل سمیت در هوای شهر و به‌تبع آن در حلقه‌های درختی به فعالیت صنعتی ذوب فلزات و پالایشگاه در این شهر ارتباط داده شد (۲۷).

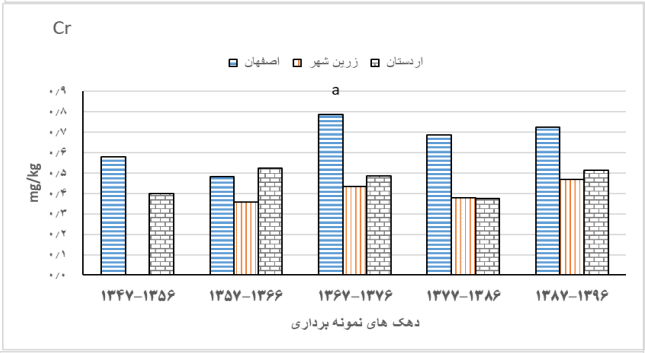
بررسی غلظت سرب در حلقه‌های درختی (شکل ۳، سرب) نشان داد که موقعیت اصفهان از همان دهه‌های گذشته بیشترین میزان غلظت سرب را به خود اختصاص داده بود و این روند، تغییر قابل‌ملاحظه‌ای در دهه‌های بعدی نداشته است. علی‌رغم اینکه در سال ۱۳۷۹ برنامه حذف سرب از بنزین در کشور رقم خورد و انتظار می‌رفت که در سال‌های بعدی غلظت سرب در حلقه‌های درختی کاهشی باشد ولی شاید به دلیل افزایش تردد خودرو و رهاسازی سرب در اثر سایش لاستیک و افزایش استفاده از خودروهای دیزلی برای حمل بار و نیز انتشار سرب از سایر منابع صنعتی به محیط، غلظت این عنصر در سال‌های بعد تغییر چندانی را نشان نداده است. حتی بیشترین غلظت سرب به‌طور مطلق در موقعیت اصفهان مربوط به دهه زمانی ۱۳۹٦-۱۳۸۷ که منتهی به آخرین دهه نمونه‌برداری بود. همین موضوع در مورد موقعیت زرین‌شهر و اردستان می‌تواند درست باشد. در دیگر عناصر روند خاصی مشاهده نشد. محققان در شهر سزیگد کشور مجارستان در یک مطالعه موردی روی حلقه‌های درختی درختان نمدار برگ درشت (*Tilia platyphyllos*) و شالک ایتالیایی (*Populus nigra ssp. Italica*) به این نتیجه رسیدند که برخی از آلودگی عناصر با پتانسیل سمیت مثل Pb و Cd بدون شک منشأ ترافیکی دارند، درحالی‌که برخی دیگر از آن‌ها مانند Cu و Zn از منابع دیگری سرچشمه می‌گیرند. درختان می‌توانند این عناصر را از طریق سیستم ریشه (حضور عنصر در آب‌های زیرزمینی) و یا برگ‌ها از طریق هوا جذب نمایند. با حذف سرب از بنزین در این شهر از سال ۱۹۹۹ میلادی و انحراف مسیر بین‌المللی وسایل حمل‌ونقل سنگین از سال ۲۰۱۱ میلادی به اطراف شهر، میزان Pb ناشی از بنزین و Cd ناشی از سایش لنت‌های ترمز وسایل

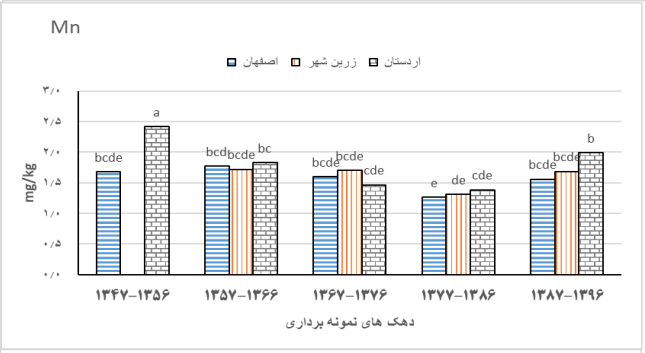
[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-19]

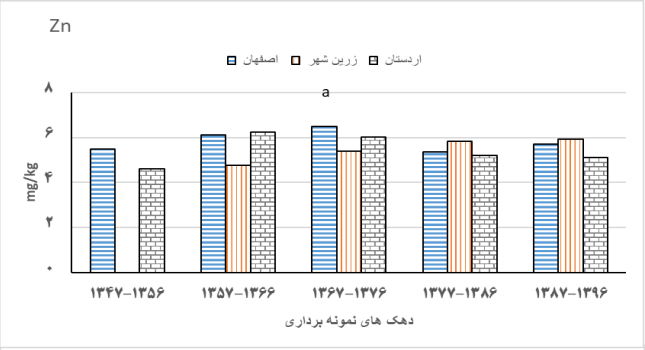
[DOI: 10.47176/ijae.13.1.136.1]

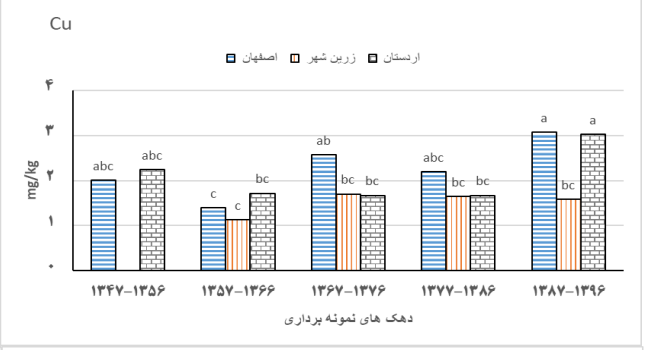


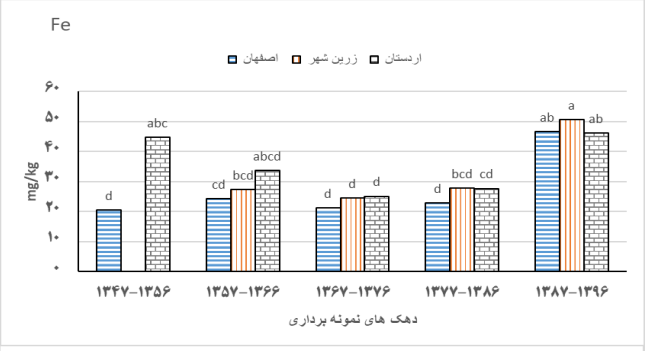


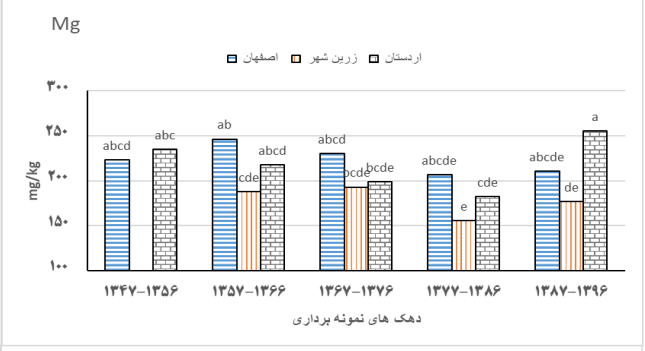


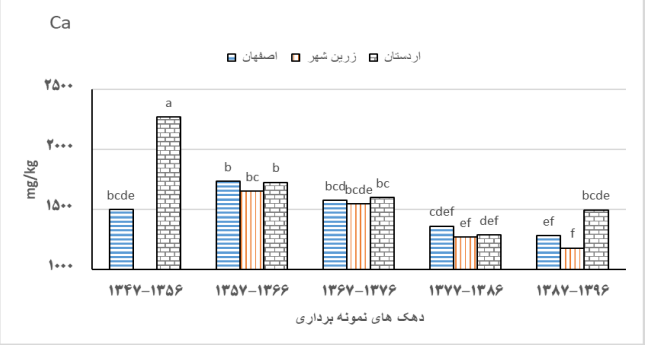


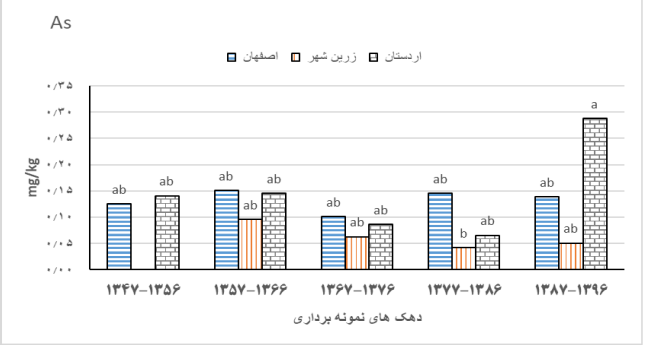








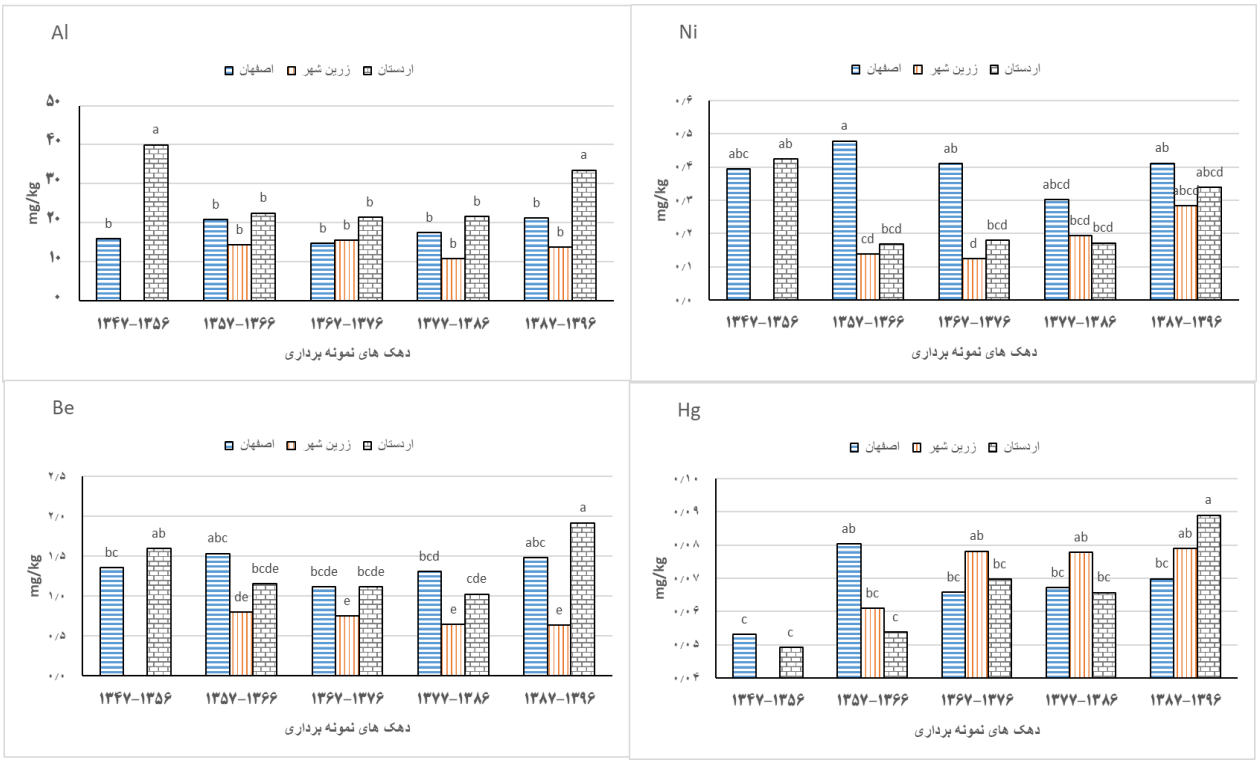




[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-19]

[DOI: 10.47176/ijae.13.1.136.1]

ادامه شکل ۳



شکل ۳ تغییرات غلظت عناصر مختلف در سه منطقه نمونه‌برداری حلقه‌های درختی از کاج تهران طی زمان. حروف مشترک روی ستون‌ها عدم تفاوت آماری معنی‌دار ($p>0.05$) را نشان می‌دهد.

نقلیه در حلقه‌های درختی به‌طور معنی‌داری کاهش پیداکرده است (۱۷). انتشار Cd در هوای شهرهای پرجمعیت به خاطر سایش و تعدد استفاده از ترمزهای وسایل نقلیه بسیار زیادتر از بزرگراه‌ها است (۱۲).

عامل غنی‌شدگی در حلقه‌های درختی

ازآنجایی‌که موقعیت اردستان به‌عنوان محلی با آلودگی کم جهت مقایسه با دیگر نقاط اصفهان و زرین‌شهر در نظر گرفته شد از غلظت عناصر اندازه‌گیری شده در حلقه‌های درختی این نقطه در محاسبات عامل غنی‌شدگی نقاط دیگر استفاده شد. حد نهایی عامل غنی‌شدگی در این حالت عدد یک است (۵). تقریباً در همه نمونه‌ها نسبت عامل غنی‌شدگی محاسبه‌شده در حلقه‌های درختی در دو موقعیت اصفهان و زرین‌شهر بیشتر از یک بود. روند تغییرات عامل غنی‌شدگی حلقه‌های درختی در عناصر گوناگون حالت‌های مختلفی را از خود نشان می‌دهند. بعضی از آن‌ها یک‌روند افزایشی را نسبت به زمان در دو موقعیت اصفهان و زرین‌شهر دارند که می‌توان به عناصر آهن (Fe)، روی (Zn) و کرم (Cr) اشاره کرد. همچنین عناصر کلسیم (Ca)، منیزیم (Mg) و منگنز (Mn) فقط در موقعیت زرین‌شهر این روند افزایشی را نشان دادند. این روند افزایشی به‌استثنای دهه ۱۳۵۶-۱۳۴۷ بود. در موقعیت زرین‌شهر کارخانه ذوب‌آهن در سال ۱۳۴۶ تأسیس‌شده است که احتمالاً در دهه اول آن یکی از عواملی احتمالی است که می‌توانسته است نسبت عامل غنی‌شدگی را در این دهه افزایش دهد. سرب تنها عنصری است که یک‌روند کاهشی در موقعیت اصفهان را نشان می‌دهد که احتمالاً به دلیل عدم استفاده از سرب در بنزین تولیدی می‌تواند باشد.

شکل ۳ تغییرات غلظت عناصر مختلف در سه منطقه

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-19]

[DOI: 10.47176/ijae.13.1.136.1]

جدول ۳. ضریب همبستگی بین غلظت عناصر در دو موقعیت اصفهان و زرین‌شهر

		زرین‌شهر											
		Cd	Pb	Cr	Mn	Ni	Zn	Cu	Fe	Mg	Ca	Al	As
اصفهان	Cd	۰/۱۴۲	−۰/۲۹۳	۰/۰۲۱	−۰/۳۴۵	۰/۱۹۷	۰/۰۰۱	۰/۰۷۵	۰/۵۶۹**	−۰/۱۸۷	−۰/۴۸۶**	−۰/۱۴۷	۰/۲۱۳
	Pb	۰/۲۷۷	۰/۰۴۶	−۰/۰۰۷	−۰/۰۹۳	۰/۳۸۴	۰/۰۰۷	۰/۰۲۳	۰/۶۵۱**	−۰/۱۹۰	−۰/۲۹۴	۰/۰۳۱	−۰/۳۴۷
	Cr	−۰/۰۸۱	۰/۰۰۴	−۰/۲۶۵	−۰/۰۶۵	۰/۲۳۴	۰/۰۴۰	−۰/۱۶۶	۰/۲۱۶	۰/۰۰۱	−۰/۰۸۸	−۰/۰۹۷	−۰/۲۴۶
	Mn	−۰/۳۸۱	−۰/۴۰۶	−۰/۱۴۶	−۰/۱۴۴	−۰/۴۱۳	−۰/۳۶۲	−۰/۱۶۱	−۰/۰۴۰	−۰/۲۱۲	−۰/۲۹۶	−۰/۱۴۷	−۰/۲۶۹
	Ni	−۰/۳۵۲	۰/۳۲۴	۰/۱۴۱	−۰/۰۵۰	−۰/۰۵۵	−۰/۳۴۷	۰/۱۰۵	۰/۳۴۳	−۰/۴۴۷**	−۰/۰۴۶	−۰/۰۴۹	۰/۲۰۵
	Zn	−۰/۱۰۲	−۰/۲۵۰	−۰/۰۰۱	−۰/۲۹۷	۰/۱۰۰	−۰/۰۹۵	۰/۰۰۸	۰/۳۶۰	−۰/۳۲۱	−۰/۲۷۵	−۰/۰۵۳	−۰/۱۹۹
	Cu	۰/۰۳۱	−۰/۰۸۶	−۰/۲۸۲	−۰/۰۰۸	۰/۲۲۲	۰/۱۵۰	−۰/۳۵۶	۰/۳۰۵	۰/۰۷۸	−۰/۲۱۲	−۰/۲۳۶	−۰/۳۲۰
	Fe	۰/۱۳۳	−۰/۰۶۹	−۰/۱۳۴	−۰/۰۷۹	۰/۳۱۹	−۰/۲۸۵	۰/۰۹۸	۰/۶۴۷**	−۰/۲۶۳	−۰/۳۱۰	۰/۰۱۲	−۰/۱۹۷
	Mg	−۰/۲۶۷	۰/۰۸۸	۰/۰۱۷	−۰/۱۶۰	−۰/۲۶۲	−۰/۳۴۵	۰/۰۹۲	۰/۰۶۳	−۰/۳۸۹	−۰/۰۰۲	−۰/۰۵۰	−۰/۱۰۴
	Ca	−۰/۱۷۱	−۰/۱۴۹	−۰/۱۱۹	−۰/۱۳۶	−۰/۴۴۴*	−۰/۰۰۲	−۰/۱۰۰	−۰/۱۷۹	۰/۰۹۶	۰/۲۵۵	−۰/۰۴۴	۰/۳۹۸
	Al	۰/۱۱۳	−۰/۲۱۹	−۰/۰۸۵	−۰/۳۴۵	۰/۲۶۲	−۰/۱۷۵	۰/۱۲۵	۰/۵۵۰**	−۰/۲۳۹	−۰/۳۰۹	−۰/۱۳۵	۰/۷۶۶**
	As	۰/۰۲۹	۰/۱۱۷	−۰/۲۹۳	−۰/۰۷۵	−۰/۱۸۵	−۰/۰۶۳	−۰/۲۸۶	−۰/۰۵۳	−۰/۰۸۶	−۰/۰۲۴	−۰/۱۱۴	۰/۷۵۷**

نمونه‌برداری حلقه‌های درختی از کاج تهران طی زمان. حروف مشترک روی ستون‌ها عدم تفاوت آماری معنی‌دار (p>0.05) را نشان می‌دهد.

در غنی‌شدگی گروهی دیگر از عناصر روند خاصی دنبال نمی‌شود، مثل Ni, As, Cd, Cu در هر دو موقعیت یا Mn, Mg, Caفقط در موقعیت اصفهان و یا Pb فقط در موقعیت زرین‌شهر. با به دست آوردن ضریب همبستگی پیرسون بین غلظت هر عنصر در حلقه‌های درختی و در دو موقعیت اصفهان و زرین‌شهر(جدول ۳) مشخص شد که از بین تمامی عناصر تنها عنصری که دارای ضریب نسبتاً زیادی و معنی‌داری بود عنصر Fe است (r=۰/۶۴۷ و p <۰/۰۰۱). این موضوع بیانگر این است که منشأ این عنصر در هر دو موقعیت از یکجا منشأ گرفته است؛ لذا می‌توان چنین استنباط کرد ازآنجایی‌که موقعیت زرین‌شهر در جنوب غربی شهر اصفهان واقع‌شده و باد غالب نیز از همین مسیر می‌گذرد با تولید و انتشار عنصر آهن در اثر فعالیت تولید کارخانه‌های ذوب فلزی و تولید آهن و فولاد خصوصاً کارخانه ذوب‌آهن واقع در زرین‌شهر عنصر Fe در سطح شهر اصفهان نیز آمده و توانسته طی سالیان جذب درختان موجود در اصفهان نیز شود. این نتیجه با نتایج به‌دست‌آمده در کشور مکزیک در منطقه سن لویس پوتوسی (San Luis Potosi) که یکی از مناطق صنعتی است همخوانی دارد (۵). همچنین همبستگی معنی دار عنصر آهن در نمونه های زرین شهر نسبت به عناصر کادمیم و سرب می تواند به منبع انتشار یکسان این عناصر در موقعیت اصفهان اشاره داشته باشد. نتایج پژوهش‌های دیگر نشان می‌دهد که منشا آلودگی عناصر Pb, Zn, Cu, Ni, Cr در هوا از منابع مختلف صنعتی و ترافیکی می‌تواند باشد (۵, ۲۰, ۲۵).

نتیجه‌گیری

برآورد درصد کاهش ضخامت حلقه‌های درختی طی دهه‌های موردمطالعه مشخص کرد که سرعت این کاهش به‌طور میانگین به ترتیب مربوط به اردستان با ۳۳/۷ درصد، زرین‌شهر با ۲۵/۷ درصد و اصفهان با ۲۱/۶ درصد بود که نشان از شرایط نامساعد اقلیمی برای این مناطق را دارد. به این معنی که شرایط نامساعد برای رشد حلقه‌های درختی در اردستان بیشترین سهم و در اصفهان کمترین سهم را به خود اختصاص داده است. تغییر اقلیم در جهان و منطقه مطالعاتی و به‌تبع آن کاهش نزولات جوی و کاهش منابع آب در دسترس، به‌احتمال‌زیاد عاملی برای

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-19]

[DOI: 10.47176/ijae.13.1.136.1]

روند کاهشی ضخامت حلقه‌های درختی در دهه‌های اخیر نسبت به دهک‌های قدیمی‌تر شده است. غلظت آهن و سرب در حلقه‌های درختی از دهه‌های گذشته (دهه ۱۳۵۶-۱۳۴۷) تا آخرین دهه نمونه‌برداری شده (دهه ۱۳۹۶-۱۳۸۷) روند افزایشی نشان داد که بیشتر بودن غلظت آهن حلقه‌های درختی در زرین‌شهر و سرب در اصفهان شاید به دلیل وجود فعالیت‌های صنعتی مانند ذوب فلزات، ریخته‌گری، حمل‌ونقل و احتراق سوخت‌های فسیلی باشد. بررسی جذب عناصر در حلقه‌های درختی نشان داد که عنصر Fe در سه موقعیت مورد بررسی به‌ویژه در آخرین دهه نمونه‌برداری شده (دهه ۱۳۹۶-۱۳۸۷) بیشترین مقدار را در موقعیت زرین‌شهر داشته است. احتمالاً فعالیت کارخانه ذوب‌آهن در زرین‌شهر عاملی شده که میزان جذب این عنصر در حلقه‌های درختی در موقعیت زرین‌شهر را نسبت به دو موقعیت دیگر افزایش داده است. محاسبه عامل غنی‌شدگی در حلقه‌های درختی با مبنا قرار گرفتن موقعیت اردستان نشان داد که عنصر Pb تنها عنصری بود که یک‌روند کاهشی در موقعیت اصفهان داشت. این موضوع می‌تواند به علت حذف انتشار سرب از بنزین وسایل نقلیه در سالیان اخیر باشد. عنصر آهن تنها عنصری بود که در دو موقعیت اصفهان و زرین‌شهر ضریب همبستگی نسبتاً زیادی داشت که می‌تواند دلیل منشأ یکسان این عنصر در هر دو موقعیت باشد. با توجه به‌قرار گرفتن زرین‌شهر در جنوب غربی شهر اصفهان و وزش باد غالب در همین مسیر می‌توان نتیجه گرفت که تولید و انتشار این عنصر در هوای شهر زرین‌شهر در اثر فعالیت کارخانه ذوب‌آهن توانسته است هوای شهر اصفهان را نیز متأثر نماید و باعث انتقال و جذب این عنصر در حلقه‌های درختی شهر اصفهان از همین منبع شود. وجود ضریب همبستگی مثبت و معنی‌دار بین زوج عناصر Cr و Cu در دو موقعیت اصفهان و زرین‌شهر بیانگر منشأ انسان‌زاد بودن این عناصر است که بر اساس منابع در اثر فعالیت حمل‌ونقلی تولید می‌شوند. با وجود پتانسیل قابل‌توجه روش شیمی نگاری درختی برای پایش عناصر با پتانسیل سمیت در منطقه، استفاده هم‌زمان از روش‌های دقیق‌تر مانند روش‌های ایزوتوپی می‌تواند به بررسی بهتر یافته‌ها کمک نماید که برای مطالعات آتی پیشنهاد می‌شود.

تشکر و قدردانی

از آقای دکتر لیپینگ فنگ عضو هیئت‌علمی آکادمی علوم گوانگدونگ چین برای کمک در آنالیز شیمیایی عناصر قدردانی می‌شود.

منابع

1. Abdollah-Zade, B., M. Tabari, K. Sagheb-Talebi and M. Zobeiri. 2003. Response of diameter and height of *Pinus eldarica* Medw. to slope and aspect variations in Lavizan Forest Park. *Pajouhesh & Sazandegi* 16(60): 30-35. (In Persian).
2. Avestakh, E., J. Sosani, L. Porsartip and B. Pilevar. 2014. The impact of drought on reducing forest growth and environmental degradation. In: Proceeding of First National Conference of Geography, Urban Planning and Sustainable Development; Tehran, Iran. (In Persian).
3. Baes III, C. and S. McLaughlin. 1986. Multielemental analysis of tree rings: a survey of coniferous trees in the Great Smoky Mountains National Park. [*Picea rubens; Abies fraseri; Tsuga canadensis; Pinus rigida; Pinus strobus*]. Oak Ridge National Lab., TN (USA). Available online at: https://www.osti.gov/biblio/6039877. Accessed 01 January 1986.
4. Baldantoni, D., F. De Nicola and A. Alfani. 2014. Air biomonitoring of heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons near a cement plant. *Atmospheric Pollution Research* 5(2):262-269.
5. Beramendi-Orosco, L., M. Rodriguez-Estrada, O. Morton-Bermea, F. Romero, G. Gonzalez-Hernandez and E. Hernandez-Alvarez. 2013. Correlations between metals in tree-rings of *Prosopis julifora* as indicators of sources of heavy metal contamination. *Applied Geochemistry* 39:78-84.
6. Berish, C. and H. Ragsdale. 1985. Chronological sequence of element concentrations in wood of *Carya* spp. in the southern Appalachian Mountains. *Canadian Journal of Forest Research* 15(3):477-483.

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-19]

[DOI: 10.47176/ijae.13.1.136.1]

7. Cutter, B. E. and R. P. Guyette. 1993. Anatomical, chemical, and ecological factors affecting tree species choice in dendrochemistry studies. Wiley Online Library, Report No: 0047-2425. Available online at: https://www.osti.gov/biblio/283030. Accessed 01 July 1993.
8. Doucet, A., M. M. Savard, C. Bégin, J. Marion, A. Smirnoff and T. B. Ouarda.2012. Combining tree-ring metal concentrations and lead, carbon and oxygen isotopes to reconstruct peri-urban atmospheric pollution. *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology* 64(1):19005.
9. Dytłow, S. and B. Górka-Kostrubiec.2019. Effective and universal tool for evaluating heavy metals—passive dust samplers. *Environmental Pollution* 247:188-194.
10. Ghasemi, M. 2016. Biological monitoring of heavy metal pollution in the air of urban areas using tree species (case study: Arak city). MSc thesis. Arak University, Iran. (In Persian).
11. Goossens, J., A. C. Jonckheere, L. J. Dupont and D. M. Bullens. 2021. Air pollution and the airways: lessons from a century of human urbanization. *Atmosphere* 12(7):898.
12. Grigoratos, T. and G. Martini. 2015. Brake wear particle emissions: a review. *Environmental Science and Pollution Research* 22:2491-2504.
13. Hasheminejad, S., H. Moradi and M. Soleimani.2024. Potential of *Pinus eldarica* Medw. tree bark for biomonitoring polycyclic aromatic hydrocarbons in ambient air. *Scientific Reports* 14(1):6259.
14. Hernández-Gordillo, A., S. Ruiz-Correa, V. Robledo-Valero, C. Hernández-Rosales and S. Arriaga. 2021. Recent advancements in low-cost portable sensors for urban and indoor air quality monitoring. *Air Quality, Atmosphere & Health* 1-21.
15. Kiani, G. and N. Akbari. 2014. The study of land use and the strategic document for the development of Isfahan province -Keshavarzi Isfahan Governorate Planning and Employment Deputy, Isfahan Scientific and Research Town. 706p. (In Persian)
16. Kim, N. K., H. J. Park and Y. P. Kim. 2009. Chemical composition change in TSP due to dust storm at Gosan, Korea: do the concentrations of anthropogenic species increase due to dust storm? *Water, Air, and soil Pollution* 204: 165-175.
17. Kiss, T., I. Fekete and I. Tápai. 2019. Environmental status of a city based on heavy metal content of the tree-rings of urban trees: case study at Szeged, Hungary. *Journal of Environmental Geography* 12(1-2): 13-22.
18. Kompiš, M. and Z. K. Ballová. 2021. The influence of preferred habitat and daily range of the European hare on its contamination by heavy metals: a case study from the West Carpathians. *Environmental Science and Pollution Research* 28(37): 52093-52105.
19. Kord, B. and B. Kord. 2011. Heavy metal levels in pine (*Pinus eldarica*.) tree barks as indicators of atmospheric pollution. *BioResources* 6(2): 927-935.
20. Li, X., S. L. Lee, S. C. Wong, W. Shi And I. Thornton. 2004. The study of metal contamination in urban soils of Hong Kong using a GIS-based approach. *Environmental Pollution* 129(1): 113-124.
21. Mifsud, D. V., E. E. Stüeken and R. J. Wilson. 2021. A preliminary study into the use of tree-ring and foliar geochemistry as bio-indicators for vehicular NOx pollution in Malta. *Isotopes in Environmental and Health Studies* 57(3): 301-315.
22. Milićević, T., M. Aničić Urošević, D. Relić, G. Jovanović, D. Nikolić, K. Vergel and A. Popović. 2021. Environmental pollution influence to soil–plant–air system in organic vineyard: bioavailability, environmental, and health risk assessment. *Environmental Science and Pollution Research* 28: 3361-3374.
23. Mirzakhani, M., Moradi, H., Therrell, M., Seim, A., Yousefpour, R., Safari, E., Pourtahmasi, K., Tegel, W., Nemati Varnosfaderany, M., Kahle, H. P. 2024. The dendroclimatic and dendrohydrologic potential of riparian plane trees (*Platanus orientalis*) along the Zayandeh-Rud River, Iran. *Dendrochronologia*, 86: 126228.
24. Mohammadpour, M. 2014. Dendrochemical studies for environmental pollution investigation. MSc thesis. Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. (In Persian).
25. Morton-Bermea, O., E. Hernández-Álvarez, G. González-Hernández, F. Romero, R. Lozano and L. E. Beramendi-Orosco. 2009. Assessment of heavy metal pollution in urban topsoils from the metropolitan area of Mexico City. *Journal of Geochemical Exploration* 101(3): 218-224.
26. Muñoz, A. A., K. Klock-Barría, P. R. Sheppard, I. Aguilera-Betti, I. Toledo-Guerrero, D. A. Christie, T. Gorena, L. Gallardo, Á. González-Reyes, et al. 2019. Multidecadal environmental pollution in a mega-industrial area in central Chile registered by tree rings. *Science of the Total Environment* 696: 133915.
27. Odabasi, M., D. Tolunay, M. Kara, E. O. Falay, G. Tuna, H. Altiok, Y. Dumanoglu, A. Bayram and T. Elbir. 2016. Investigation of spatial and historical variations of air pollution around an industrial region using trace and macro elements in tree components. *Science of the Total Environment* 550: 1010-1021.
28. Rehman, A., H. Ma and I. Ozturk. 2021. Do industrialization, energy importations, and economic progress influence carbon emission in Pakistan. *Environmental Science and Pollution Research* 28: 45840-45852.

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-19]

[DOI: 10.47176/ijae.13.1.136.1]

29. Rostami, S., H. Kamani, S. Shahsavani and M. Hoseini. 2021. Environmental monitoring and ecological risk assessment of heavy metals in farmland soils. *Human and Ecological Risk Assessment*: *An International Journal* 27(2): 392-404.
30. Soffianian, A. and N. Akbari. 2014. The study of land use and the strategic document for the development of Isfahan province: Environment and natural resources. Isfahan Governorate Planning and Employment Deputy, Isfahan Scientific and Research Town. 516p. (In Persian).
31. Saftari, V., D. Parsapajoh and A. Hemasi. 2006. Dendrochemistry study to investigate the effects of Tehran air pollution on *Pinus eldarica*. *Environmental Science and Technology*. 3:48-65. (In Persian).
32. Senaratne, I. and D. Shooter. 2004. Elemental composition in source identification of brown haze in Auckland, New Zealand. *Atmospheric Environment* 38(19): 3049-3059.
33. Sensuła, B. M. 2016. The impact of climate, sulfur dioxide, and industrial dust on δ 18 O and δ 13 C in glucose from pine tree rings growing in an industrialized area in the southern part of Poland. *Water, Air, & Soil Pollution* 227: 1-13.
34. Smith, W. H. 1972. Lead and mercury burden of urban woody plants. *Science* 176(4040): 1237-1239.
35. Yılmaz, D. and Ö. Işınkaralar. 2021. Climate action plans under climate-resilient urban policies. *Kastamonu University Journal of Engineering and Sciences* 7(2): 140-147.

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-19]

[DOI: 10.47176/ijae.13.1.136.1]

Biomonitoring of Potentially Toxic Elements Using Dendrochemistry in Some Areas of Isfahan Province

A. Marjovvi [1], M. Soleimani [2*], N. Mirghaffari [3] H. Karimzadeh[4] and S. J. Khajeddin[5]

(Received: September 26-2024; Accepted: November 17-2024)

Abstract

Environmental pollution is one of the consequences of unsustainable development, which has been intensified by population growth, urban expansion, industrialization, and the consumption of fossil fuels. This research aims to monitor potentially toxic elements (PTEs) in some areas of Isfahan province using a dendrochemistry approach, which analyzes the annual core rings of Tehran pine tree (*Pinus elderica*). Trees with a minimum age of about 50 years were selected in three regions including Isfahan, Zarinshahr and Ardestan, and then sampling was conducted on three trees in each station using an increment borer. The samples were separated with a time interval of 10 years and analyzed to measure the elements with potential toxicity. The thickness of the growth core rings of plants in recent decades has decreased by 33, 26 and 22% in Ardestan, Zarinshahr and Isfahan, respectively, compared to earlier decades. In most samples, the enrichment factor calculated from tree rings in the two locations of Isfahan and Zarinshahr was greater than one and an increasing trend over time was observed for Fe, Zn and Cr elements. The higher concentration of Fe and Pb in tree rings of Zarinshahr and Isfahan, especially in the most recent decade, could be related to the existence and expantion of industrial activities such as metal smelting and casting.

Keywords: Environmental monitoring, Air pollution, Tehran pine tree, Heavy metals.

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-19]

[DOI: 10.47176/ijae.13.1.136.1]

1. PhD Graduate of Isfahan University of Technology. Academic member of Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Isfahan, Iran
2. Assoc.Prof., Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
3. Prof., Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
4. Assoc.Prof., Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
5. Emeritus Prof., Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
*: Corresponding Author, Email: m.soleimani@iut.ac.ir