فصلنامه انسان و محیط زیست، پاییز۸۹

تأثیر باران‌های اسیدی بر روی محیط زیست و آثار باستانی تخت‌جمشید

محمد مهدی قنبری [۱]*
M. Mehdi. Ghanbari@Gmail.com
سید مهدی برقعی [۲]
امیر حسام حسنی [۳]
سیما فرجادفرد [٤]

چکیده

با توجه به تخریب سنگ‌های منطقه‌ی باستانی تخت‌جمشید تصمیم گرفته شد تا عوامل مؤثر بر این فرایند بررسی شود. این تحقیق با مطالعه‌ی نقشه‌های جغرافیایی و نمودار بادهای فصلی و سالیانه منطقه و همچنین نمونه‌گیری از آب باران پیگیری شد. نمونه‌گیری آب‌های مختلف از مکان‌های متفاوت و مشخص شهرستان مرودشت در زمان‌های معین در سه فصل پاییز، زمستان و بهار به منظور اندازه‌گیری اسیدیته‌ی آب‌ها انجام شد. pH نمونه‌های ناحیه تخت‌جمشید در سه فصل نمونه‌گیری بین ۵/۹۷ و ۶/۵۷ بودند و علت آن باران‌های اسیدی می‌باشد که یکی از مهم‌ترین عوامل در تخریب و فرسایش نقوش برجسته‌ی آثار تاریخی مذکور هستند. چنین پیش-بینی می‌گردد که آلاینده‌های متصاعد شده از مجتمع پتروشیمی شیراز و صنایع شهر مرودشت و نیز خودروهای شهرستان توسط بادهای مذکور به سمت غرب و شمال غرب منطقه حرکت کرده و با برخورد به کوه رحمت در دامنه‌ی این کوه که منطقه‌ی باستانی تخت‌جمشید می‌باشد در آب باران حل شده و باعث ریزش باران اسیدی و متعاقبا تخریب سنگ‌ها و محیط زیست ناحیه می‌گردد.

واژه های کلیدی: تخت جمشید، باران‌های اسیدی، محیط زیست، نشر آلاینده‌ها، اسیدیته.

۱- استادیار دانشکده علوم، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد سروستان *(مسئول مکاتبات)
۲- استاد دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی شیمی و نفت
۳- استادیار دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی ، واحد علوم و تحقیقات تهران
۴- دانشجوی دکترای مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی ، واحد علوم و تحقیقات تهران

مقدمه

تخت‌جمشید بنایی قدیمی است که در طول سالیان متمادی دچار فرسودگی و تخریب‌هایی شده، به طوری که امروزه چیزی جز یک ساختار سنگی فرسوده از آن باقی نمانده است. عوامل مخرب مصالح این ساختار را می‌توان به عوامل شیمیایی، فیزیکی، مکانیکی و زیست محیطی دسته‌بندی نمود. عوامل مذکور گاه به تنهایی و گاه به صورت ترکیبی با یکدیگر موجب تخریب و فرسایش این اثر زیبا شده‌اند. از عوامل شیمیایی می‌توان آلاینده‌ها و باران‌های اسیدی را نام برد.

در دهه‌های اخیر باران‌های اسیدی و آلاینده‌های اسیدی هوا در سطوح ملی و بین‌المللی عوامل قابل توجه‌ای شده‌اند به طوری که آثار مخربی بر روی سلامتی انسان و محیط زیست داشته‌اند و آثار باستانی نیز از این قاعده مستثنی نبوده است(۱) .

اگرچه تا چندی پیش آلاینده‌های اسیدی محیط زیست به عنوان یک مشکل در اروپا و آمریکای شمالی به حساب می‌آمد، در قسمت هایی از آسیا نیز مشکلاتی را ایجاد نموده است (۴-۲) .

همان طور که مشخص گردیده است تأثیر اصلی در تولید باران‌های اسیدی را نشر گاز گوگرد دی اکسید (SO_2) دارد، اگرچه نیتروژن اکسیدها (NO_X) در مواقعی جزء عوامل اصلی باران‌های اسیدی شناخته شده‌اند(۵، ۱).

سولفور اکسیدها و نیتروژن اکسیدها طی چندین ساعت تا چندین روز به سولفوریک اسید و نیتریک اسید تبدیل می‌شوند، سپس توسط قطرات باران به دام می‌افتند و به صورت بارش‌های اسیدی بر روی زمین برمی‌گردند(۶).

نیتروژن اکسیدها علاوه بر این که یک آلاینده‌ی اسیدی می‌باشند، اثرات مخربی بر اوزون استراتوسفری دارند و همچنین باعث تولید اوزون ترپوسفری شده که بر خلاف اوزون استراتوسفری که یک پالاینده است، این اوزون نوعی آلاینده‌ی سمی به حساب می‌آید(۵).

می‌توان تأثیر مخرب آلاینده‌های هوا را بر روی سنگ‌ها به سه دسته تقسیم کرد:

آ- واکنش انحلال آبی ترکیبات سنگ‌ها: محلول‌های اسیدی دارای یون هیدرونیوم (H_3O^+) بوده که باعث انحلال ترکیبات سنگ‌ها به ویژه کلسیم کربنات‌ها می‌شوند. این محلول‌ها می‌توانند به وسیله‌ی باران، شبنم، غبار و یا مه باعث انحلال سنگ‌ها و تخریب آن‌ها شوند.

ب- فرایند رسوب گازها بر روی سنگ‌ها: مقدار کمی از گازهای آلاینده مانند سولفور اکسیدها بر روی قشر سطحی سنگ‌ها رسوب می‌کنند و باعث تولید سنگ گچ شده و این گچ در باران‌های بعدی شسته شده و خارج می‌گردد.

پ- رسوب ذره‌ای بر روی سطح سنگ‌ها: مقداری از آلاینده‌ها ممکن است مانند کاتالیزگر فرایند آسیب رسانی به سطح سنگ‌ها را تسریع کنند(۷).

علاوه بر تأثیرات فوق، این آلاینده‌ها به ویژه سولفور اکسیدها اثرات مخربی بر روی انسان، اکوسیستم‌های آبی، جنگلی و منسوجات دارد. در انسان باعث افزایش بیماری‌های ریوی، تنفسی، چشم، قلب و غیره شده و حتی منجر به افزایش مرگ و میر می‌گردد. در اکوسیستم‌های آبی تاثیرات منفی بر آب زیان نظیر ماهی‌ها داشته و باعث از بین رفتن آن ها می‌شود. در جنگل‌ها منجر به افزایش اسیدیته خاک، دور شدن کاتیون‌های مغذی از خاک و افزایش دسترسی فلزات سنگین سمی می‌گردد. چنین تغییراتی در خواص شیمیایی خاک، باروری خاک را کاهش داده و سبب کاهش رشد و محصول‌دهی درختان جنگل و محصولات کشاورزی و نیز مرگ زودهنگام درختان می‌شود. در نهایت کاغذ و منسوجات در اثر تماس SO_2 و NO_2 پوسیده شده و از بین می‌رود (۹، ۸ و۲).

با توجه به موقعیت آثار باستانی تخت جمشید و همچنین موقعیت شهرستان مرودشت و به ویژه صنایع پتروشیمی شیراز و جهت بادهای فصلی این منطقه تصمیم گرفته شد تا اسیدیته‌ی باران در زمان‌ها و مکان‌های متفاوت

اندازه‌گیری شده و تأثیر آن بر محیط زیست و سنگ‌های تخت‌جمشید و اطرافش مشخص گردد.

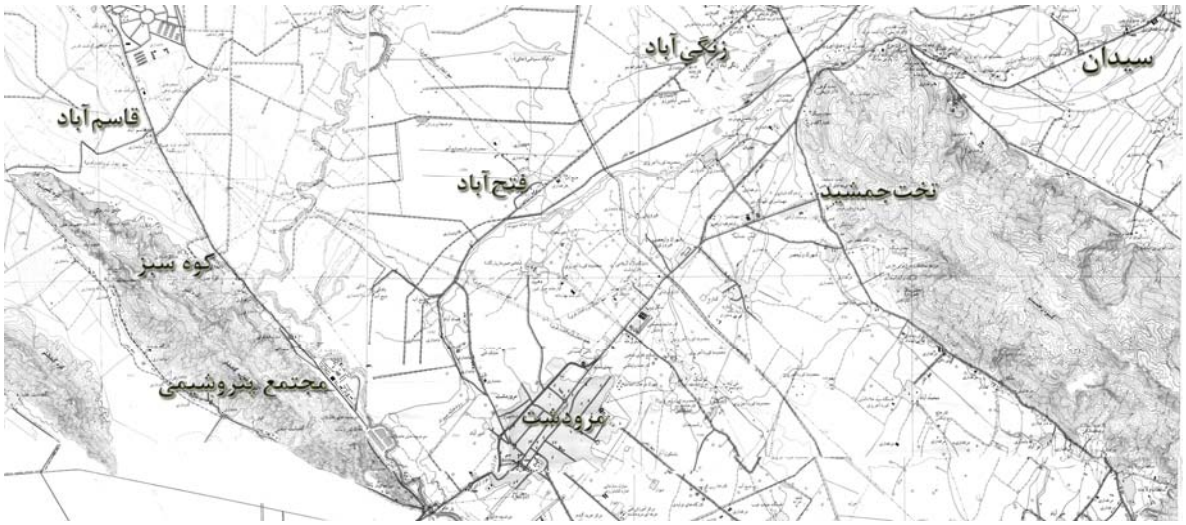
توصیف منطقه‌ی باستانی تخت جمشید:

تخت جمشید یا پارسه تقریباً در انتهای رشته کوه رحمت و بر جانب غربی آن ساخته شده، از نظر مختصات جغرافیایی در طول "۳۰ '۵۲ °۵۲ و عرض "۰۴ '۵۶ °۲۹ قرار دارد و متوسط ارتفاع آن از سطح دریا ۱۶۰۰ متر می‌باشد(۱۰).

قدمت آن به دوره‌ی هخامنشیان و در حدود ۵۱۸ سال قبل از میلاد برمی‌گردد (۱۱) .

این منطقه‌ی باستانی در شمال غربی شهرستان مرودشت استان فارس قرار گرفته و شهرستان مرودشت نیز در بین غرب و شمال غرب مجتمع پتروشیمی شیراز می‌باشد. مجتمع پتروشیمی شیراز دارای مختصات جغرافیایی با طول "۰۰ '۴۳ °۵۲ و عرض "۰۰ '۵۴ °۲۹ می‌باشد(۱۰).

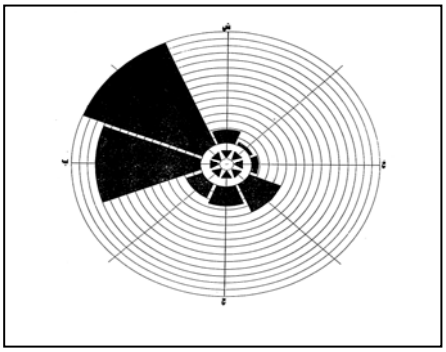
می‌توان گفت که آثار تاریخی تخت جمشید در شمال غرب شهرستان مرودشت و مجتمع پتروشیمی بوده و شمال غرب این آثار نیز کوه رحمت می‌باشد (شکل ۱). لازم به ذکر است که در مرودشت نیز کارخانجات صنعتی آزمایش، قند و غیره وجود دارد.



شکل ۱- نقشه‌ی جغرافیایی شهرستان مرودشت [10]

مواد و روش‌ها

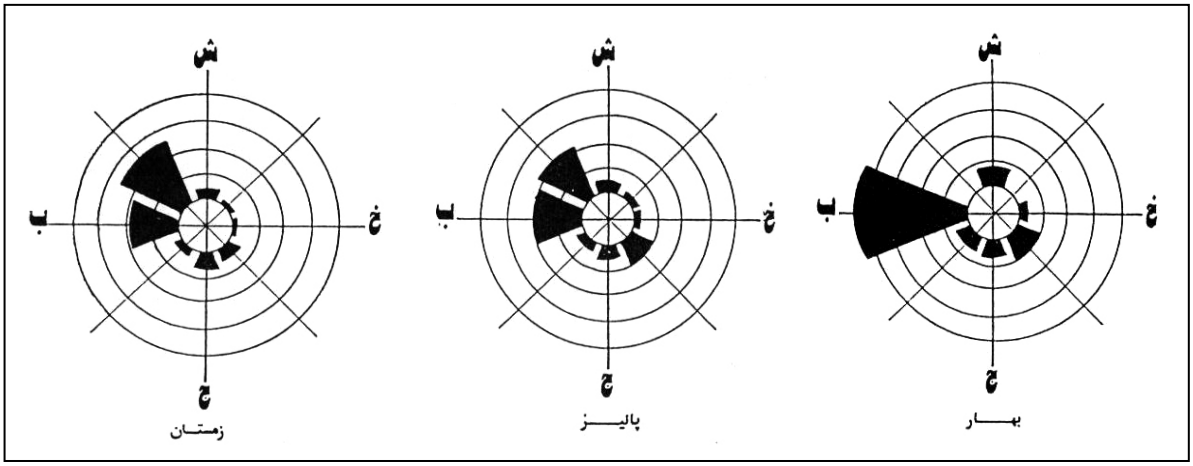
در این پژوهش با نگاهی دقیق به نمودار گلبادهای ایستگاه سینوپتیکی شیراز در شکل‌های ۲ و ۳ می‌توان به این نتیجه رسید که قسمت‌های تیره جهت و شدت بادهای منطقه را نشان می‌دهند. ابتدا با کمک نمودار گلباد سالانه‌ی ایستگاه سینوپتیکی شیراز مشخص شد که باد غالب منطقه به ترتیب بادهای شمال غربی و غربی می‌باشند و بادهای دیگر تأثیر چندانی در اندازه‌گیری‌ها ندارند (شکل ۲) (۱۲).



شکل ۲- نمودار گلباد سالانه‌ی ایستگاه سینوپتیکی شیراز [12]

بر اساس نمونه‌گیری‌هایی که از آب باران در سه فصل پاییز و زمستان سال ۸۴ و بهار سال ۸۵ صورت گرفت، نمودار گلبادهای سه فصل منطقه نیز بررسی شد.

نمودار گلبادهای مذکور نشان می‌دهند که باد غالب در بهار باد غربی، در زمستان باد شمال غربی و در پاییز تقریباً باد شمال غربی می‌باشد (شکل ۳).



شکل ۳- نمودار گلبادهای فصلی ایستگاه سینوپتیکی شیراز [12]

در سه فصل مختلف، نمونه‌گیری‌های همزمان در مناطق متفاوت با توجه به میزان وجود آلاینده‌ها در هوا و همچنین جهت حرکت بادهای غالب از نقاط مختلف منطقه گرفته شد. نقاط نمونه گیری به گونه‌ای انتخاب شدند که از جنوب غربی‌ترین تا شمال شرقی‌ترین را در بر گیرد. اسیدیته‌ی باران به کمک دستگاه pH متر مدل pHT-110 اندازه‌گیری شد. در ضمن نمونه‌گیری‌های هر فصل در ظروف درب پوش دار شسته شده با آب مقطر در مناطق مختلف و در یک زمان صورت گرفت و مناطق طوری تعیین شدند که از جنوب شرقی‌ترین نقطه‌ی منطقه که قبل از مجتمع پتروشیمی بوده تا شمال غربی‌ترین نقطه‌ی منطقه که اطراف تخت جمشید بوده و همچنین نقاط مختلف شهر مرودشت را پوشش داده و با توجه به حرکت آلاینده‌ها توسط بادها آلوده‌ترین و پاک‌ترین نقطه‌ها را در سه فصل در بر گیرند.

البته نمونه‌گیری‌های صورت گرفته‌ی هر فصل در چند مرحله بوده که با توجه با خطاهای موجود، بهترین و دقیق‌ترین نمونه‌گیری و اندازه‌گیری گزارش شده است.

اسیدیته‌ی هر نمونه بدون درنگ پس از هر نمونه‌گیری اندازه‌گیری شده است. لازم به ذکر است نمونه‌های مختلف که در یک زمان از یک محل خاص گرفته می‌شد، اسیدیته‌ی معینی را نشان می‌دادند به طوریکه حاکی از تکرار پذیری نتایج بودند.

نتایج

نمونه‌گیری‌ها و اندازه‌گیری‌های انجام شده به سه مرحله که مربوط به سه فصل مختلف می‌باشد، تقسیم می‌شود:

آ) نمونه‌گیری‌های فصل پاییز از نقاط مشخص گرفته شده است. اسیدیته‌ی این نقاط در جدول ۱، آورده شده‌اند، در ضمن اندازه‌گیری‌ها در دمای ۱۹/۵^{o}C صورت گرفته است.

جدول ۱- اسیدیته‌ی نقاط مختلف در فصل پاییز

نام مکان نمونه‌گیری	مختصات جغرافیایی		اسیدیته
	طول	عرض	
کوه سبز	۵۲° ,۴۲' ,۱۰"	۲۹° ,۵۵' ,۳۰"	۷/۶۲
مرودشت	۵۲° ,۴۸' ,۳۰"	۲۹° ,۵۲' ,۳۰"	۶/۹۰
غرب تخت‌جمشید	۵۲° ,۵۲' ,۰۰"	۲۹° ,۵۶' ,۰۰"	۶/۴۵
شرق تخت جمشید	۵۲° ,۵۳' ,۲۰"	۲۹° ,۵۶' ,۱۰"	۶/۴۳
سیدان	۵۳° ,۰۱' ,۰۰"	۳۰° ,۰۰' ,۰۰"	۷/۹۷

در این فصل بیشترین اسیدیته مربوط به سیدان بوده که با توجه به قرار گرفتن این مکان در شمال کوه رحمت و عدم عبور آلاینده‌ها به سمت این مکان بالا بودن اسیدیته‌ی آن قابل توجیه است. علاوه بر این، شمال شرقی‌ترین و جنوب غربی‌ترین نقطه‌های این نمونه‌گیری‌ها تخت‌جمشید و کوه‌سبز هستند که به ترتیب دارای کمترین و بیشترین اسیدیته می‌باشند.

ب) نمونه‌گیری‌های فصل زمستان از نقاط مشخص، گرفته شده است. اسیدیته‌ی این نقاط در جدول ۲، آورده شده‌اند، در ضمن اندازه‌گیری‌ها در دمای ۲۰/۲ ^{o}C صورت گرفته است.

جدول ۲- اسیدیته‌ی نقاط مختلف در فصل زمستان

نام مکان نمونه‌گیری	مختصات جغرافیایی		اسیدیته
	طول	عرض	
کوه سبز	۵۲° ,۴۲' ,۱۰"	۲۹° ,۵۵' ,۳۰"	۷/۶۶
قاسم‌آباد	۵۲° ,۴۱' ,۰۰"	۲۹° ,۵۷' ,۱۰"	۷/۲۲
غرب مرودشت	۵۲° ,۴۶' ,۰۰"	۲۹° ,۵۱' ,۳۰"	۷/۰۴
شرق مرودشت	۵۲° ,۵۱' ,۳۰"	۲۹° ,۵۱' ,۳۰"	۶/۹۰
تخت جمشید	۵۲° ,۵۲' ,۳۰"	۲۹° ,۵۶' ,۰۴"	۶/۵۸

در این فصل نیز شمال شرقی‌ترین و جنوب غربی‌ترین نقطه‌های این نمونه‌گیری‌ها تخت‌جمشید و کوه‌سبز هستند که به ترتیب دارای کمترین و بیشترین اسیدیته می‌باشند.

پ) نمونه‌گیری‌های فصل بهار از نقاط مشخص، گرفته شده است. اسیدیته‌ی این نقاط در جدول ۳، آورده شده‌اند، در ضمن اندازه‌گیری‌ها در دمای ۱۹/۸^{o}C صورت گرفته است.

جدول ۳- اسیدیته‌ی نقاط مختلف در فصل بهار

نام مکان نمونه‌گیری	مختصات جغرافیایی		اسیدیته
	طول	عرض	
کوه سبز	"۱۰, '۴۲, °۵۲	"۳۰, '۵۵, °۲۹	۷/۰۲
زنگی‌آباد	"۰۰, '۵۱, °۵۲	"۳۰, '۵۸, °۲۹	۶/۷۴
فتح‌آباد	"۰۰, '۴۸, °۵۲	"۳۰, '۵۶, °۲۹	۶/۶۳
جنوب مرودشت	"۳۰, '۴۷, °۵۲	"۰۰, '۵۲, °۲۹	۶/۲۵
شمال مرودشت	"۰۰, '۴۹, °۵۲	"۰۰, '۵۳, °۲۹	۶/۰۳
تخت جمشید	"۳۰, '۵۲, °۵۲	"۰۴, '۵۶, °۲۹	۵/۹۷

در این فصل دو نقطه‌ی غربی و شمال‌غربی نیز انتخاب شده‌اند که با توجه به حرکت بادهای منطقه اسیدیته‌ی بالای آن‌ها قابل توجیه می‌باشد. همچنین شمال شرقی‌ترین و جنوب غربی‌ترین نقطه‌های این نمونه‌گیری‌ها تخت‌جمشید و کوه‌سبز هستند که به ترتیب دارای کمترین و بیشترین اسیدیته می‌باشند.

با توجه به این که مجتمع پتروشیمی شیراز و کارخانجات شهر مرودشت در جنوب شرقی تخت جمشید قرار دارند و بادهای منطقه از شرق به غرب که تخت جمشید و محیط زیست حاشیه‌ی کوه رحمت می‌باشد، می‌وزند، شاید بتوان تغییرات آشکار اسیدیته‌ی باران‌های منطقه را به آلاینده‌های کارخانجات و وسایط نقلیه شهرستان نسبت داد.

بحث و نتیجه گیری

با بررسی مقادیر اسیدیته‌ی باران در فصول مختلف شاید بتوان گفت که آلاینده‌های متصاعد شده از صنایع مختلف منطقه و نیز آلاینده‌های متصاعد شده از شهر از جمله خودروها توسط بادهای غالب منطقه به سمت آثار باستانی تخت‌جمشید حرکت کرده و در آب باران حل شده و بر روی این آثار تاریخی ارزشمند و محیط زیست آن منطقه ریخته می‌شود. شایان ذکر است که همین تأثیر در منطقه باستانی نقش‌رستم نیز دیده می‌شود، در ضمن فرسایش نقوش تخت جمشید، سنگ‌های اطراف و همچنین وجود سنگ گچ در مناطقی که سایبان ندارند به خوبی مشاهده می‌گردد. وجود سنگ گچ که فراورده واکنش سنگ های آهکی با سولفوریک اسید می‌باشد نشان از وجود مقادیر قابل توجه‌ای گازهای آلاینده گوگرد دی اکسید و گوگرد تری اکسید می‌باشد (شکل ۴).

شکل ۴- اثر آلاینده‌های اسیدی بر روی نقوش تخت‌جمشید

در داده‌های جدول ۱ که نمونه‌های فصل پاییز را نشان می‌دهد، علاوه بر نمونه‌گیری‌های منطقه‌ی مورد نظر، یک نمونه‌گیری از سیدان که در شمال کوه رحمت قرار دارد، دیده می‌شود. بالا بودن اسیدیته‌ی باران در این مکان نشان می‌دهد که آلاینده‌ها در برخورد با کوه رحمت ریزش کرده و نتوانسته‌اند از آن عبور کنند. از طرفی، پایین‌بودن اسیدیته‌ی باران در تخت‌جمشید نیز این مقوله را تایید می‌نماید. از طرف دیگر روند کاهش اسیدیته‌ی باران از کوه‌سبز تا تخت‌جمشید نشان از حرکت آلاینده‌ها ازغرب به شرق توسط بادهای غالب منطقه دارد.

درجدول ۲ که نمونه‌گیری‌های فصل زمستان دیده می‌شود نقاط کلیدی کوه‌سبز و تخت‌جمشید می‌باشند که به ترتیب دارای بیشترین و کمترین اسیدیته هستند. به علت حضور بادهای غالب و در ادامه حرکت آلاینده‌ها بحث مورد نظر در جدول ۱، در این مورد نیز تایید می‌شود.

مقادیر اسیدیته‌ی نمونه‌های گرفته شده در فصل بهار که در جدول ۳ دیده می‌شوند روند جالب توجه بالا را تایید می‌کنند به طوری که در این فصل نیز باران‌های منطقه تخت-جمشید اسیدی‌تر از نقاط شرقی آن می‌باشند.

یکی از مهم‌ترین موارد در پایین بودن اسیدیته‌ی باران در تخت‌جمشید قرار گرفتن این نقطه در جانب جنوب غربی رشته کوه رحمت است. شاید بتوان گفت موارد ذکر شده از عوامل موثر در ریزش آلاینده‌ها بر روی این اثر تاریخی و محیط زیست اطراف آن بوده و فرسایش آن را تسریع می‌نماید.

در این تحقیق به دلیل کمبود امکانات و عدم بودجه‌ی کافی، در مرحله‌ی اول تأثیر مخرب آلاینده‌های هوا که همان باران‌های اسیدی می‌باشد و اندازه‌گیری اسیدیته‌ی باران با توجه به خطاهای موجود پرداخته شده است. به نظر می‌آید بتوان بررسی‌های بهتر و کامل‌تری را در این زمینه صورت داد به طوری که در نهایت بتوان از تخریب این سرمایه‌ی ملی و همچنین تخریب محیط زیست زیبای این منطقه‌ی باستانی و کشاورزی جلوگیری کرد.

در پایان می‌توان گفت که پیشرفت تکنولوژی روش‌های جدیدی را جهت کنترل آلاینده‌های خروجی از صنایع ارایه نموده است که در صورت وضع قوانین جدی و سخت حفاظت محیط زیست و نظارت بر انجام آن‌ها می‌تواند از خطر نابودی آثار باستانی و محیط زیست به میزان قابل توجهی بکاهد.

منابع

1. Stern, D.I., (2005). Global Sulfur Emissions from 1850 to 2000. Chemosphere, 58: 163-175.
2. Bhatti, N., Streets, D. G., and Foell, W. K., (1992). Acid Rain in Asia. Environmental Management, 16 (4):541-562.
3. Bashkin, V. N., and Radojevic, M., (2003). Acid Rain and Its Mitigation in Asia. International Journal of Environmental Studies, 60: 205–214.
4. Takahashi, W., and Asuka, J., (2001). The Politics of Regional Cooperation on Acid Rain Control in East Asia. Water, Air, and Soil Pollution, 130: 1837–1842.
5. Teixeira, F.N., and Lora, E.S., (2004). Experimental and Analytical Evaluation of NO_X Emissions in Bagasse Boilers. Biomass and Bioenergy, 26: 571-577.
6. Noel, D. N., (2000). Air Pollution Control Engineering, Second Edition, McGraw-Hill, p.527.
7. Bravo, A.H., Soto, A.R., Sosa, E.R., Sánchez, A.P., Alarcón, J.A.L., Kahl, J., and Ruíz, B.J., (2006). Effect of Acid Rain on Building Material of the E1 Tajin Archaeological Zone in Vercruz, Mexico. Environmental Pollution. 144: 655-660.
8. Singh, A., and Agrawal, M., (2008). Acid Rain and its Ecological Consequences. Journal of Environmental Biology, 29(1):15-24.
9. Sienkiewicz, E., Gasiorowski, M., and Hercman, H., (2006). Is Acid Rain Impacting the Sudetic Lakes? Science of Total Environment, 369: 139-149.

۱۰. سازمان نقشه برداری کشور، مدیریت خدمات فنی، نقشه استان فارس.

۱۱. شاپور شهبازی، ع.، ۱۳۸۴، راهنمای مستند تخت‌جمشید، چاپ فروغ دانش، انتشارات سفیران.

۱۲. هواشناسی استان فارس، نشریه گلباد ایستگاه سینوپتیک شیراز، آمار سال‌های ۱۹۸۸- ۱۹۶۱.