

میراسداله حجازی\*

## آثار و پیامدهای بارانهای اسیدی در جوامع انسانی

### چکیده

باران از جمله مهم‌ترین نعمات الهی است که حیات و بقای آدمی بدان وابسته است؛ چرا که بی‌وجود  $31/536$  کیلومتر مکعب باران سالانه، کره زمین به صحرایی لم‌یزرع بدل می‌شود، اما امروزه در برخی از نقاط جهان، باران به پدیده‌ای خطرناک تبدیل شده است؛ برای مثال بر فراز نیروگاهها، کارخانه‌ها و وسایل نقلیه موتوری، اب موجود در هوا با آلودگیهای ناشی از سوختگی فسیلی ( $SO_x$  ,  $NO_x$ ) ترکیب و باعث تولید اسیدهای نیتریک و سولفوریک می‌شود. مواد یاد شده بر اثر بارندگی، ماهیها و دیگر آبریان را نابود می‌کنند، بناهای گوناگون از جمله بعضی از مشهورترین ساختمانهای جهان را با مکش شعریه مورد سایش شیمیایی قرار داده، از درون می‌پوسانند؛ به جنگلها و مزارع

---

\* عضو هیأت علمی گروه جغرافیای طبیعی دانشگاه تبریز.

آسیب می‌رسانند و حتی سلامت انسانها را مورد تهدید قرار می‌دهند.

معضل بارانهای اسیدی و اثرهای ناشی از آن برای نخستین بار در سال ۱۹۷۲ به هنگام برگزاری کنفرانس «محیط انسانی» سازمان ملل متحد در شهر استکهلم، توسط دولت سوئد مطرح گشت. امروزه این مسأله یکی از مهم‌ترین مشکلاتی است که همراه با رشد و گسترش تکنولوژیکی و شهرنشینی، فراروی جوامع صنعتی قرار می‌گیرد. در جوامع نیمه‌صنعتی از جمله ایران به دلیل کمی صنایع و نیروگاهها و پراکندگی آنها در نقاط دور از هم، هر چند نمی‌توان موضوع بارانهای اسیدی را از جمله زمینه‌های بحران‌ساز به حساب آورد، به دلیل روند روبه‌گسترش جامعه و نیاز صنایع مادر از قبیل فولاد و نفت به انرژی الکتریکی و نهایتاً رشد روزافزون نیروگاههای حرارتی به طور حتم در آینده‌ای نه‌چندان دور، حداقل در مناطقی تمرکز چنین نیروگاههایی، احتمال بروز مشکلات مختلف ناشی از اسیدی شدن اتمسفر و بارش بارانهای اسیدی بیشتر خواهد بود. در صورت بروز چنین پدیده‌ای باید سریعاً اثرهای منفی پدید آمده را بر روی آب، خاک و گیاه، کنترل کرد و زیانهای آن را کاهش داد. بدین منظور، نخست باید چگونگی پیدایش این پدیده را مطالعه و بررسی کرد تا اتخاذ روشهایی که به کاهش یا حذف شرایط و زمینه‌های لازم برای تولید بارانهای اسیدی می‌انجامد میسر باشد.

### مقدمه

باران اسیدی پدیده تازه‌ای نیست یک قرن پیش، رابرت انگوس اسمیت شیمیدان انگلیسی، این واژه را در مورد شهر «منچستر» به کار برد اما مسأله تازه، جهانی شدن این پدیده است؛ زیرا ترکیبات سولفور و نیترات پدید

آمده از احتراق سوخته‌های آلی، تا هزاران کیلومتر، به وسیله باد منتقل و سبب ریزش باران اسیدی در سرزمینهای دور می‌شوند. علاوه بر عامل فعالیت‌های صنعتی، عمل افزوده شدن ترکیبات نیترات و سولفور به هوا، در طبیعت نیز صورت می‌گیرد اما امروزه هیچ کس از میزان دقیق این روند آلودگی، آگاهی کامل ندارد. براساس برآوردهای انجام شده، این میزان در مورد سولفور به ۷۸ تا ۲۸۴ میلیون تن از انواع اکسیدهای سولفور و در مورد نیتروژن به ۲۰ تا ۹۰ میلیون تن از انواع اکسیدهای نیتروژن در سال تخمین زده می‌شود که بالاخص در کشورهای صنعتی جهان انسان با افزودن سالانه ۷۵ تا ۱۰۰ میلیون تن از سولفورها و تولید سالانه ۲۰ میلیون تن نیتروژن بر حجم آن، اثرهای منفی مخربی بر محیط زیست می‌گذارد.<sup>۱</sup>

### تأثیر بارانهای اسیدی بر دریاچه‌ها

باران اسیدی امکان دارد صدها کیلومتر دور از منبع آلوده کننده هوا، بیارد. این آبها بلافاصله بعد از نزول دچار تغییرات فیزیکی و شیمیایی می‌شوند و خصوصیات شیمیایی و توان اسیدی آنها تغییر می‌کند به صورتی که به هنگام رسیدن به منابع آبی، اسیدیته اولیه را نخواهند داشت.

خاکهایی با خصلت قلیایی مثل خاکهای دارای ترکیبات آهنی کلاً می‌توانند در خنثی سازی خاصیت اسیدی بارانها مؤثر باشند. همچنین قسمتی از ذرات گوگردی و ازته موجود در گردوغبارهای جوئی هنگام نزول به زمین، جذب قطرات مه شده، در نتیجه از شدت اسیدیته نزولات جوئی بر اثر این رقیق شدگی کاسته می‌شود.<sup>۱</sup>

خاکهایی با اسیدیته کم، مثل خاکهای مناطق جنگلی همیشه سبز، به

کمک دو فرایند مختلف در کاستن اثرهای خطرناک باران اسیدی، بسیار مؤثرند: نخست آن که به کمک تشکیل یونهای نیترات و سولفات حاصل از اسید نیتریک و اسید سولفوریک، حرکت اسیدی متوقف می‌شود و دیگر این که تعویض و تبادل یونهای مثبت نیز ممکن است به چنین نتیجه‌ای منجر گردد. در فرایند تعویض یونی، یونهای منیزیم، کلسیم و دیگر فلزات که در بسیاری از خاکها وجود دارند، جایگزین هیدروژن عامل اسیدی می‌گردند. بدیهی است که منشأ یونهای فلزی، فرسایش سنگها می‌باشد؛ (بدین ترتیب که انحلال و تجزیه مواد معدنی به کمک آبهای زیرزمینی حاوی  $\text{CO}_2$  و بارندگیها، یونهای مثبت فلزی را همراه با یون بی‌کربنات<sup>۲</sup> وارد ترکیب خاک می‌کند). وقتی که اسید سولفوریک به خاک می‌رسد یونهای سولفات<sup>۳</sup> منیزیم و کلسیم را جذب کرده و نمک سولفات ایجاد می‌شود. در این زمان یونهای هیدروژن عامل اسیدی در خاک تثبیت می‌شود و یون سولفات، کاتیونها را از خاک جدا می‌سازد. (دامنه وقوع این پدیده در وهله اول به خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و حیاتی حوزه آبخیز مثل ژئولوژی، ژئومرفولوژی، نوع گیاهان، نوع جریان آب و عوامل دیگر بستگی دارد). از جهت دیگر فرایند تعویض یونی در خاکهای یخزده و اشباع شده و خاکهایی با بستر گرافیتی صورت نمی‌گیرد؛ در نتیجه، خصلت اسیدی باران اسیدی تا رسیدن به منابع پذیرنده چندان تغییر نمی‌کند.

چنانکه گفتیم فرایند تعویض یونی خاک، وقتی که باران اسیدی در حوزه آبخیز نفوذ می‌کند، صورت نمی‌گیرد؛ به طور مثال سنگهای کوارتزی هم فاقد یونهای فلزی موردنیاز برای انجام پدیده تعویض یونی هستند و هم در برابر هوازگی مقاوم‌اند، لذا گذر آب از لابلای چنین سنگهایی هیچ تأثیری در کاهش اسیدیته آن نخواهد داشت ولی در حوزه‌های آبریزی که دارای خاکهای

عمیق هستند، معمولاً مقادیر زیادی سولفات و نیترات بر جای می‌مانند و خاکها را، از کاتیوهای قابل تعویض غنی می‌کنند؛ در نتیجه آنیونهای نیترات و سولفات به میزان قابل توجهی جذب می‌شوند؛ به گونه‌ای که آب رسیده به منابع پذیرنده (مثل دریاچه‌ها و رودخانه‌ها و دریاها) دارای اسیدیته بسیار ضعیفی خواهد بود. آب ممکن است خود دارای بی‌کربناتها و دیگر یونهای بازی ناشی از هوازدگی سنگها باشد. بنابراین آب اسیدی وارد شده به این آبها، قابل خنثی شدن است و این امر باعث می‌شود که PH آن کمتر از ۵ نشود. این پدیده را می‌توان ظرفیت خنثی‌سازی اسید<sup>۴</sup> (ANC) نامید که مقادیر آن، میزان و حدود آمادگی هر منبع آبی را برای اسیدی شدن نشان می‌دهد. "ANC" هر چه بیشتر باشد، میزان مقاومت دریاچه‌ها در برابر خطر اسیدی شدن بیشتر خواهد بود؛ و برعکس دریاچه‌هایی با "ANC" کم، بشدت آسیب‌پذیر خواهند بود. براساس اطلاعات کنونی منطقاً می‌توان گفت در خاکهایی که از لحاظ داشتن کانیهای قابل فرسایش فقیر هستند و تخلیه اسیدی در آنها به کندی صورت می‌گیرد، دریاچه‌ها سریعتر اسیدی می‌شوند.<sup>۵</sup>

در طبیعت، یک دریاچه اسیدی به سهولت قابل تشخیص است؛ زیرا در چنین دریاچه‌هایی تمامی "ANC" مصرف شده و PH آب همواره کمتر از ۶ خواهد بود. این دریاچه‌ها، حاوی مقادیر بسیار زیادی از آنیونهای نیترات و سولفات و کاتیونهایی مثل آلومینیوم می‌باشند که بر اثر عبور آبهای اسیدی از میان خاکها، وارد آن شده‌اند. براساس برآوردهای انجام شده، وجود کمتر از دو درصد از فلز آلومینیوم در آب، ماهیها را نابود می‌کند. این روند، به کاهش فسفاتها در آب می‌انجامد که خود در تغذیه پلانکتونهای آبی نقش اساسی دارند. همچنین آبریان چنین دریاچه‌هایی، آسیب می‌بینند و یا حتی زندگی

خود را از دست می‌دهند به قسمی که تلفات آبریزان از PH زیر ۵/۶ آغاز می‌گردد و همه نمونه‌های حیات را در PH زیر ۵ در برمی‌گیرد. ۶

اساساً روند سریع اسیدی شدن دریاچه‌ها، نتیجه افزایش فعالیتهای صنعتی منجر به تولید گازهای دی‌اکسید گوگرد و اکسیدهای ازت و عدم توانایی خاکهای گرافیتی مناطق کوهستانی و بستر دریاچه‌ها در خنثی‌سازی ترکیبات اسیدی و گاه فساد گیاهان با تلاقی و ورود مازاد آب اراضی کشاورزی به دریاچه‌هاست که با رشد صنعتی امکان بروز آن فزونی می‌گیرد.

### ضرر بارانهای اسیدی بر سلامتی انسان

بارانهای اسیدی آثار مخرب دیگری نیز به دنبال دارد که در پی افزایش اسیدیته و آزادگشتن فلزات دیگری چون سرب، مس، روی، کادمیوم و جیوه از خاک و رسوبات پدید می‌آیند. این فلزات، پس از آزاد شدن از خاک، در آبهای زیرزمینی، رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و جویبارهایی که آب آنها به مصارف انسانی می‌رسد، انباشته و از طریق آنها، به زنجیره غذایی انسان وارد می‌شوند. سرب، یکی از عناصر اصلی سازنده پوسته زمین و غلظت آن در پوسته زمین ۱۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم است. این ماده سمی از عوامل طبیعی تشکیل دهنده جسم آدمی نیست و به علت دفع ناپذیری آن، خطر و ضرر مضاعف و روبه‌تزايد دارد. آبهای مشروب نایستی بیش از ۰/۱ میلی‌گرم در لیتر سرب داشته باشند، لذا برای برخی از آنها که قدرت خوردنگی سرب را در شبکه‌های توزیع دارند بایستی تصفیه مناسب در نظر گرفت. بدین منظور برای بالا بردن PH و جلوگیری از انحلال سرب در آب به آن ترکیبات آهکی اضافه می‌کنند. در مرحله تصفیه نیز برای خالص کردن آب هنگام انعقاد، جلوی کاهش

PH را گرفته، با هوا دادن، میزان انیدریدکربنیک آب را تقلیل می‌دهند. نهایتاً باید مصرف سرب را از جدار شبکه‌های آبرسانی حذف نمود.<sup>۷</sup> مس و ترکیبات آن در همه جای محیط اطراف ما وجود دارند. املاح مس برای جلوگیری از رشد جلبکها در مخازن و به عنوان کاتالیزور در اکسیداسیون منگنز و نیز برای کنترل لجن در سیستم‌های پخش آب مصرف می‌شوند؛ مس در آهن‌درمانی برای معالجه کم‌خونی در تغذیهٔ اطفال مصرف می‌گردد؛ مس در سیستم‌های لوله‌کشی عمومی خوردگی لوله‌های گالوانیزه و اتصالات چدنی را افزایش می‌دهد؛ غلظت بیش از ۵ میلی‌گرم آن در هر لیتر آب، ایجاد رنگ و مزه تلخ و نامطبوع می‌نماید؛ مقدار یک میلی‌گرم مس در هر لیتر آب، در لباسهایی که شسته می‌شوند موجب لکه می‌شود. حداکثر غلظت مجاز مس در آب آشامیدنی یک میلی‌گرم در لیتر است. مقدار احتیاج افراد بالغ، روزانه دو میلی‌گرم مس و میزان احتیاج کودکان در حدود ۰/۵ میلی‌گرم به ازای هر کیلو وزن بدن آنها می‌باشد. مصرف نمکهای مس به قسمی که مقدار مس را به ۱۰ برابر میزان مورد احتیاج بدن در غذای روزانه برساند، مسمومیت مس نام دارد و موجب استفراغ می‌شود و دلیل آن آشفستگی در تعادل جذب و دفع مس است. مسمومیت مزمن مس به صورت بیماری ویلسون، که یک بیماری اختلال‌گوارشی متابولیک است، بروز می‌کند. تراکم مس در بدن به صورت حلقهٔ قهوه‌ای یا سبز در قرنیه چشم ظاهر می‌شود و اختلالات کلیوی، ضایعات مغزی از پیامدهای آن است.<sup>۸</sup> روی، عنصر فراوانی است که تقریباً ۰/۰۴ گرم در کیلوگرم پوسته زمین را تشکیل می‌دهد. کمبود روی در افراد با به تأخیر افتادن رشد و بروز نشانه‌های نارسائی از جمله کم‌خونی، آشکار می‌گردد. حداکثر غلظت مجاز روی در آب آشامیدنی، ۱۵ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد. آب حاوی روی در

غلظت بیشتر از ۵ میلی گرم در لیتر، ممکن است رنگ شیری پیدا کند و هنگام به جوش آمدن، پرده نازک روغنی در روی آن پدید آید. لذا این میزان به عنوان دستورالعمل توصیه شده است.<sup>۹</sup>

کادمیوم عمدتاً در معادن روی، سرب، مس به صورت سولفید کادمیوم به میزان کمتر از یک درصد یافت می شود. کادمیوم اثر سمی بسیار شدیدی دارد؛ به طوری که در بعضی مناطق سبب سرطان شده، مشکلاتی را برای محیط و سلامت انسان به وجود می آورد. در تماس های ممتد با کادمیوم مقدار آن در کلیه به طور تصاعدی بالا می رود. حداکثر غلظت مجاز کادمیوم در آب آشامیدنی ۰/۰۰۵ میلی گرم در لیتر می باشد.<sup>۱۰</sup>

جذب جیوه معدنی از طریق تنفس بخارات جیوه و با تماس طولانی با فلز جیوه صورت می گیرد. گیاهان نسبت به ترکیبات سمی جیوه حساس نیستند، اما مصرف جیوه موجب اختلال در تغذیه و کاهش رشد آنان می گردد. حداکثر غلظت مجاز جیوه در آب آشامیدنی ۰/۰۰۱ میلی گرم در لیتر توصیه شده است.<sup>۱۱</sup>

### بارانهای اسیدی عامل سایش شیمیایی

اسید، آسیبه های شدیدی بر رویه های سنگی ساختمانها، پلها، سد ها، بناهای تاریخی، مجسمه ها، تزیینات و سایر اشیای مهم فرهنگی و هنری وارد می آورد و موجبات تلاشی آنها را فراهم می گرداند. برخی از بزرگترین گنجینه های فرهنگی جهان، نظیر بنای «پارتنون» در آتن «مجسمه آزادی» در نیویورک، کلیسای «سن پول» در لندن، «تاج محل» در آگرای هند، بنای «ترایان» در رم و کلیسای قدیمی «کلن» در شهر کلن آلمان به وسیله باران



اسیدی در اثر سایش شیمیایی تغییر شکل یافته‌اند. آزمایشهای انجام شده بیانگر آن است که سرعت خوردگی مواد در فضای آلوده شهری و صنعتی بین دو تا ده برابر روستا می‌باشد.<sup>۱۲</sup>

همراه با افزایش میزان دی‌اکسیدگوگرد در هوا، بر سرعت خوردگی و فرسایش آثاری که حاوی موادی مانند فولاد، فولاد گالوانیزه، روی، نیکل و روکشهای نیکلی، سنگ ماسه و سنگ آهک هستند، افزوده می‌شود اما این عمل تأثیر چندانی بر موادی نظیر آلومینیوم و فولاد ضدزنگ ندارد. از سوی دیگر ستونها و دیوارهای بناهای قدیمی غالباً از مصالح متفاوتی ساخته و با قلوه سنگ و پاره آجر پر شده‌اند. در پاره‌ای اوقات نیز نفوذ باران در نقل و انتقال عمودی آب در داخل دیوارها نقش دارد. در این شرایط عموماً لایه نازکی از آب بر روی سطح تشکیل و آب با فشار باد و مکش مویینه‌ای به داخل دیوار رانده می‌شود. ترکها، درزها و مفاصل، گذرگاههای اصلی نفوذ باران در دیوارهای بناهای قدیمی هستند. وضعیت حفاظتی سطوحی که مستقیماً در معرض باد و باران قرار گرفته‌اند واقعاً مشکل است. به عنوان مثال کارشناسان معتقدند میزان آسیبی که در اثر بارانهای اسیدی به پارتئون در عرض ۲۰ تا ۲۵ سال اخیر وارد شده بیش از فرسایش طبیعی آن در طی ۲۴۰۰ سال قبل از آن است؛ چنانکه مجسمه آبراهام لینکلن در واشینگتن نیز در طی حدود ۶۰ سال، هشت میلیمتر از ضخامت خود را از دست داده است.<sup>۱۳</sup>

### راههای جلوگیری از پیامدهای باران اسیدی

برای کنترل آلاینده‌های سوختهای فسیلی، جریان جایگزینی این نوع سوختها چندان امیدوارکننده نیست؛ برای مثال تولید برق از آب و باد، به

دلیل کمی مناطقی که از این جهت دارای شرایط مناسب باشند، محدودیت‌های خاص خود را دارد. نیروی هسته‌ای نیز به دلایل سیاسی، اقتصادی و خطر احتمالی محیطی و عدم اعتماد عمومی نسبت به درجه ایمنی آن، در حال حاضر کاربرد کافی نیافته است. روشهای دیگر تولید نیروی الکتریکی از قبیل انرژی خورشیدی، جریان جزر و مد و غیره نیز به دلایل تنگناهای تکنولوژیکی در شرایط فعلی راهگشا نیستند؛ بنابراین برای کنترل باران اسیدی باید به فکر کاهش ترکیبهای آلوده کننده از مصرف سوختهای فسیلی در نیروگاههای متفاوت بود. از جمله مناسبترین راهها برای کاهش دی‌اکسید گوگرد و اکسیدهای ازت، تقلیل میزان استفاده از سوختهای فسیلی در وسایل حمل و نقل و در تولید نیروی الکتریکی و استفاده از وسایل تقلیه عمومی و اتومبیل‌های کم مصرف است. در بسیاری از کشورهای صنعتی جهان، گوگردزدایی (FGD)<sup>۱۴</sup> با استفاده از انواع زغال سنگ‌های حاوی مقدار کم گوگرد به طور نسبی امکانپذیر شده است.

در حال حاضر، اگر چه افشان کردن پودر آهک مرطوب در مسیر گازهای داغ خارج شده از نیروگاهها، باعث کاهش دی‌اکسید گوگرد تا حدود ۹۰ درصد می‌شود اما به دلایلی چند از جمله کاهش بازدهی نیروگاهها، افزایش مصرف زغال سنگ، عدم کاهش اکسیدهای ازت، و نیز تولید مواد زاید جامد حاوی ترکیبهای گوگرد، که به راحتی قابل دفع نیستند فعلاً این روش (FGD) از جامعیت و مقبولیت قابل توجهی برخوردار نیست. به همین دلیل برای کاهش اصولی  $\text{SO}_2$  و  $\text{NO}_x$  و بر اساس برنامه پاکسازی زغال سنگ، از سال ۱۹۸۴ روشهای گوناگونی تحت عنوان «بستر احتراق با جریان هوا»<sup>۱۵</sup>، «بستر احتراق با جریات تحت فشار»<sup>۱۶</sup> و «چرخه ترکیبات گازی شکل»<sup>۱۷</sup> مورد

آزمایش قرار گرفته‌اند.<sup>۱۸</sup>

در روش «بستر احتراق با جریان هوا» یک لایه متراکم از زغال سنگ ساییده شده و سنگ آهک در مجاورت جریان شدید هوا با هم مخلوط می‌شوند. حرارت حاصل در ناحیه احتراق، به وسیله لوله‌های تولید بخار مورد استفاده قرار می‌گیرد و از این طریق، بخار مورد نیاز برای به حرکت در آوردن توربین‌ها به دست می‌آید. این روش اختلاطی، موجب احتراق در درجه حرارت پایین‌تر از حد معمول تولید بخار در بویلر می‌شود که در نتیجه آن، اکسیدهای ازت کاهش می‌یابد. از سوی دیگر وجود سنگ آهک به نحو بسیار مؤثری باعث جذب دی‌اکسید گوگرد می‌شود.

در روش «بستر احتراق با جریان تحت فشار» زغال سنگ در جریان هوای فشرده سوزانده می‌شود که علاوه بر کاهش مقدار اکسیدهای ازت، بازدهی نیروگاهها را نیز افزایش می‌دهد.

در روش «چرخه ترکیب گازی شکل» زغال سنگ در درجه حرارت بسیار بالا با بخار آب و هوا ترکیب و باعث ایجاد گازهایی با مقادیر فراوان هیدروژن و منواکسید کربن می‌شود. گازهای حاصل، به هنگام سوختن توربین‌ها را به چرخش درمی‌آورند. حرارت مازاد در توربین گاز را می‌توان صرف تولید بخار برای الکتریسیته بیشتر کرد.

برای کنترل باران اسیدی، باید نیروگاههای فرسوده را از خط تولید خارج کرد و یا براساس روشهای جدید پاکسازی زغال سنگ آنها را تعمیر و بازسازی نمود. این موضوع از آن جهت اهمیت دارد که اصولاً جایگزین کردن نیروگاههای قدیمی و ایجاد واحدهای جدید تولید انرژی، با استفاده از سوخت گاز بدون گوگرد، تنها در کاهش تولید و انتشار دی‌اکسید گوگرد مؤثر است. یکی

از بارزترین مزیت‌های تجدیدحیات نیروگاهها براساس پاکسازی سوخت مصرفی آنها در اقتصادی بودن این روش است.

براساس روش یاد شده، بازسازی هر نیروگاه با حفظ بخش مهمی از تأسیسات و تجهیزات آن و تنها با ایجاد تغییراتی در انتقال زغال سنگ و یا هر ماده سوختی دیگر و نیز اعمال اصلاحاتی در کاهش دی‌اکسیدگوگرد و اکسیدهای ازت همراه است.

با توجه به اینکه اجرای چنین اصلاحاتی در زمانی کوتاه و با صرف هزینه‌ای اندک میسر است، با تغییر روشهای تولید و افزودن ملحقات موردنیاز به هنگام بازسازی، می‌توان میزان تولید انرژی را افزایش داد؛ این تغییرات، علاوه بر تأثیر مثبت و کاهش آلودگی، به طور حتم مورد قبول صنایع برق نیز قرار خواهند گرفت.

مطالعات صورت گرفته بیانگر آن است که اجرای اصولی چنین برنامه‌ای در درازمدت می‌تواند تا بیش از ۸۰ درصد دی‌اکسیدگوگرد و بیش از ۵۰ درصد اکسیدهای ازت حاصل از سوخت زغال‌سنگ را کاهش دهد.

### بحث و نتیجه‌گیری

با ازدیاد سریع جمعیت کره زمین، بشر مجبور است جهت تأمین احتیاجات مصرفی خویش صنایع تولیدی را توسعه دهد. با گسترش صنایع و کارخانجات و در صورت عدم کنترل، میزان خروج آلاینده‌ها از واحدهای تولیدی بیشتر شده، محیط زیست را با خطر نابودی جدی مواجه می‌کند.

علاوه بر آلوده شدن تدریجی محیط زیست، زیانهای اقتصادی ناشی از وجود مواد شیمیایی در هوا نیز بسیار قابل توجه می‌باشد. درک اهمیت و

حساسیت امر زمانی میسر خواهد بود که کره زمین را به صورت یک مجموعه واحد، در نظر بگیریم؛ زیرا خسارات اقتصادی و زیست محیطی آلاینده‌ای که در یک نقطه زمین وارد فضا می‌گردد، ممکن است در نقطه بسیار دورتری از منبع آلوده کننده ظاهر گردد. برای مثال اکسیدهای ازت روی چرخه شیمیایی تولید اسیدسولفوریک از دی‌اکسید گوگرد اثر می‌گذارند و نهایتاً اسیدهای تولیدی در مجاورت ازن باعث تخریب محیطهای طبیعی می‌شوند. از سوی دیگر آبیون نیترات نیز به همراه این اسیدها در ایجاد تغییرات نامطلوب در اکوسیستم‌های مختلف از قبیل خاکهای زراعی و آبهای ساحلی مؤثرند. به طور کلی با کاهش تولید و انتشار دی‌اکسید گوگرد و اکسیدهای ازت، بتدریج می‌توان از بروز تمام تأثیرات نامطلوب حاصل از فرایندهای مختلف جوئی جلوگیری کرد. نیاز رو به تزاید برای تولید انرژی و مواد مصرفی، گسترش صنایع و تکنولوژی را اجتناب‌ناپذیر ساخته است؛ از این رو تنها راه اصولی مبارزه با نابودی محیط زیست، کنترل دقیق میزان مواد آلاینده‌ای است که به آن وارد می‌شود. با توجه به اینکه کنترل و کاهش میزان مواد آلاینده خروجی از صنایع، مستلزم هزینه‌های قابل توجهی است معمولاً صنایع خود به انجام اقدامات جدی در این مورد تمایلی ندارند، لذا وضع قوانین جدی و دشوار و نظارت بر انجام آنها از طرف دولت‌ها کاملاً لازم و ضروری به نظر می‌رسد. در واقع تا زمانی که دولتها، هوای سالم را به عنوان یک سرمایه ملی به حساب نیاورند و برای آلوده کردن هر متر مکعب آن، جریمه‌ای وضع نکنند، صاحبان صنایع، حفاظت محیط زیست را یک بار اضافی در هزینه‌های خود محسوب خواهند کرد. توجه به سلامت محیط زیست، زمانی جایگاه واقعی خود را پیدا می‌کند که متصدیان صنایع بدانند که در صورت آلوده کردن هر متر مکعب از

هوای پاک، هزینه تصفیه آن را مانند هزینه تهیه سایر مواد اولیه خویش به دوش خواهند کشید در این صورت است که آنها به هزینه لازم برای حفظ محیط زیست که بسیار کمتر از هزینه پالایش آن است، تن خواهند داد.

## پی‌نوشت‌ها

- ۱- روزنامه اطلاعات، ۲۱۰۹۱، ۱۳۷۶.
- 2-  $\text{HCO}_3^-$
- 3-  $\text{SO}_4^{2-}$
- 4- Acid Neutralizing Capacity
- ۵- جعفرزاده، چگونگی تشکیل بارانهای اسیدی و راههای جلوگیری از آن، ص ۴۵.
- ۶- پیام یونسکو، باران اسیدی، ص ۲۳.
- ۷- غفوری و مرتضوی، آب‌شناسی، ص ۱۱۱.
- ۸- عودی، کیفیت آب آشامیدنی، ص ۸۸.
- ۹- عودی، همان، ص ۸۹.
- ۱۰- عودی، همان، ص ۸۶.
- ۱۱- عودی، همان، ص ۹۱.
- ۱۲- روزنامه همشهری، ۱۳۰۶، ۱۳۷۶.
- ۱۳- کورمیک، باران اسیدی، ص ۱۷.
- 14- Flue-Gas Desulfurization شستشوی زغال‌سنگ و حرارت دادن آن
- 15- Atmospheric Fluidized-Bed Combustion.
- 16- Pressurized Fluidized-Bed Combustion
- 17- Gasification Combined-cycle.
- ۱۸- جعفرزاده، منبع پیشین، ص ۵۱.

## فهرست منابع و مآخذ

- ۱- پیام یونسکو، باران اسیدی، شماره ۱۷۷، سال ۱۳۶۶.
  - ۲- جعفرزاده، نعمت‌الله. چگونگی تشکیل بارانهای اسیدی و راههای جلوگیری از آن، مجلهٔ کیمیا، شماره ۴، ۱۳۷۰.
  - ۳- روزنامهٔ اطلاعات، بررسی گردوغبارهای جوئی و آثار بارانهای اسیدی، شمارهٔ ۲۱۰۹۱، ۱۳۷۶.
  - ۴- روزنامهٔ همشهری باران اسیدی و آثار تاریخی، شمارهٔ ۱۳۰۶، ۱۳۷۶.
  - ۵- عودی، قاسم. کیفیت آب آشامیدنی، چاپ اول، انتشارات محقق، مشهد، ۱۳۷۳.
  - ۶- غفوری، محمدرضا و مرتضوی، سیدرضا. آب‌شناسی، چاپ چهارم، انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ۱۳۷۱.
  - ۷- کورمیک، جان‌مک. باران اسیدی، ترجمهٔ عادل ارشقی، چاپ اول، انتشارات اطلاعات، تهران، ۱۳۶۷.
- 8- Rubin, E.S. et al; Controlling Acid deposition: the role of FGD: Environmental science and Technology; Vol.20. no.10 (1986).