Integrated Watershed Management, spring, 2023, 3(1), 72-88 **Article Type: Technical**

doi: 10.22034/IWM.2023.1995634.1066 **Online ISSN: 2783-4581**

A comprehensive overview of the effects of acid rain on different parts of the planet

Hamzeh Saeediyan*

Assistant Professor, Department of Soil Conservation and Watershed Management Research, Kerman Agricultural and Natural Resource Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Kerman, Iran

*** Corresponding Author:** Hamzah.4900@yahoo.com

(Received: 07 March 2023 Revised: 09 May 2023 Accepted: 22 May 2023)

Extended Abstract

Introduction: Nowadays, the effects of acid rains in different regions of the world have been considered by most researchers as well as politicians around the world, such that acid rain has new dimensions and has become one of the key words in scientific circles around the world.

Materials and Methods: The present study investigated the effects of acid rain in different regions of the world and on soil, ranges and forests, seas and lakes and rivers, humans, buildings and structures as well as transportation industry and agricultural products according to national and international scientific documents.

Results and Discussion: The results showed that acid rain, which occurs naturally due to the combination of water and carbon dioxide, leads to the creation of a weak acid called carbonic acid, which is extremely useful for nature and does not cause any destructive effects on the environment and humans. However, what has disturbed this natural trend in recent decades is the unscrupulous and unthinking interference of human beings, which has caused natural acid rain to become artificial acid rain and has very destructive and dangerous effects for humans and the entire planet. The results also showed that soils around the world, despite the buffering state that is created and have an important defense device called calcium carbonate, are still severely affected by acid rains and there are significant changes in soil properties as well as accelerating its erodibility. Other categories such as ranges and forests, agricultural products, surface and non-surface waters, humans, buildings and structures, transportation, and wildlife do not usually have a good defense against the destruction caused by acid rain and can be far more effective. The results also showed that the biggest victim of acid rain is human, which appears to be weaker than other categories and has more influence than acid rain.

Conclusion: Due to the risks of acid rain around the world, various studies have been conducted on soil, vegetation and forests, agricultural products and surface and subsurface waters, but they are usually not comprehensive throughout the world. However, studies on the role of acid rain in various buildings and structures, transportation industry and onshore and marine wildlife as well as humans are very few. The strong recommendation of this research to researchers and politicians is that acid rain can even change civilizations, so it should be taken extraordinarily seriously, just as in the past water shortages have changed civilizations. In the future, acid rain and changes in water quality can transform civilizations around the world. Furthermore, considering that there are several methods around the world in all different sectors to deal with acid rain, but there is a pressing need to establish an important and comprehensive law to coordinate researchers and politicians and make the methods of dealing with acid rain more efficient, so it is recommended that the comprehensive law against acid rain be passed and implemented in Iran as soon as possible.

Keywords: Acid rain, Soil, Water, Vegetation

Citation: Saeediyan, H. (2023). A comprehensive overview of the effects of acid rain on different parts of the planet. *Integrated Watershed Management*, 3(1), 72-88. doi: 10.22034/iwm.2023.1995634.1066

Copyrights:
Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to **Integrated Watershed Management**. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/ by/4.0).

مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، سال سوم، شماره ۱، بهار ۱۴۰۲، صفحات (۸۸-۷۲) نوع مقاله: فنی و ترویجی

شاپا الکترونیکی: ۴۵۸۱-۲۷۸۳ doi: 10.22034/IWM.2023.1995634.1066

مروری جامع بر اثرات باران اسیدی در بخش‌های مختلف زمین

حمزه سعیدیان *

استادیار پژوهشی بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات، آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان، ایران

* **نویسنده مسئول:** Hamzah.4900@yahoo.com

(**تاریخ دریافت:** ۱۴۰۱/۱۲/۱۶ **تاریخ بازنگری:** ۱۴۰۲/۰۲/۱۹ **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۲/۰۲/۲۸)

چکیده

امروزه اثرات باران‌های اسیدی در مناطق مختلف دنیا موردتوجه اکثر محققان و همچنین سیاستمداران در سراسر دنیا قرارگرفته است به‌طوری‌که در محافل علمی سراسر دنیا موضوع باران اسیدی به‌عنوان یکی از واژه‌های کلیدی روزبه‌روز دارای ابعاد تازه‌ای می‌شود. تحقیق حاضر به اثرات باران اسیدی در مناطق مختلف دنیا و بر روی خاک، مراتع و جنگل‌ها، دریاها و دریاچه‌ها و رودخانه‌ها، انسان، ساختمان و سازه‌ها و همچنین صنعت حمل‌ونقل و محصولات کشاورزی با توجه به مستندات علمی داخلی و خارجی پرداخته است. نتایج تحقیق نشان داد که باران اسیدی که به‌صورت طبیعی و در اثر ترکیب آب و دی‌اکسید کربن اتفاق می‌افتد منجر به ایجاد اسید ضعیفی با اسم اسیدکربنیک می‌شود که فوق‌العاده برای طبیعت مفید است و هیچ‌گونه آثار مخربی در هیچ مقوله‌ای برای محیط‌زیست و بشر ایجاد نمی‌کند؛ اما آنچه این روند طبیعی را در دهه‌های اخیر به هم زده است دخالت‌های بدون ضابطه و بدون اندیشه بشر است که باعث شده باران اسیدی طبیعی به باران اسیدی مصنوعی تبدیل شود و دارای آثار بسیار مخرب و خطرناکی برای بشر و کل کره زمین باشد. همچنین نتایج تحقیق نشان داد که خاک‌ها در سراسر دنیا به‌شدت تحت تأثیر باران‌های اسیدی قرار می‌گیرند و تغییرات مشهودی در خصوصیات خاک و همچنین تسریع در فرسایش‌پذیری آن ایجاد می‌شود. سایر مقوله‌های موردبررسی مانند مراتع و جنگل‌ها، محصولات کشاورزی و آب‌های سطحی و غیر سطحی، انسان، ساختمان و سازه‌ها، حمل‌ونقل و حیات‌وحش معمولاً وسیله دفاعی مناسبی هم در برابر تخریب‌های ناشی از باران اسیدی ندارند و به‌مراتب می‌تواند تأثیرپذیری بیشتری هم داشته باشند. همچنین نتایج تحقیقات نشان داد که بزرگ‌ترین قربانی باران اسیدی، انسان است که نسبت به مقوله‌های دیگر ضعیف‌تر به نظر می‌رسد و تأثیرپذیری بیشتری نسبت به باران اسیدی دارد. ضمناً با توجه به خطرات باران اسیدی در سراسر دنیا، مطالعات مختلفی بر روی خاک، پوشش گیاهی و جنگل‌ها، محصولات کشاورزی و آب‌های سطحی و غیر سطحی در حال انجام یا انجام‌شده است ولی معمولاً گسترده و جامع در سراسر دنیا نیستند. ولی مطالعات بر روی نقش باران اسیدی در ساختمان و سازه‌های مختلف، صنعت حمل‌ونقل و حیات‌وحش خشکی و دریایی و همچنین انسان به‌شدت کم است. توصیه اکید این تحقیق به محققان و سیاستمداران این است که باران اسیدی می‌تواند حتی باعث تغییر تمدن‌ها نیز شود پس فوق‌العاده جدی گرفته شود و هر چه سریع‌تر قانون جامع مقابله با باران اسیدی در ایران تصویب و اجرا شود.

واژهای کلیدی: باران اسیدی، خاک، آب، پوشش گیاهی

استناد: سعیدیان، ح. (۱۴۰۲). مروری جامع بر اثرات باران اسیدی در بخش‌های مختلف زمین. *مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز*، ۳(۱) ۸۸-۷۲.

حق چاپ:

حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این نشریه به‌صورت آزاد در وب‌سایت نشریه برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل‌دسترس است.

مقدمه

باران اسیدی اصطلاحی است که در دهه‌های اخیر با توجه به انقلاب‌های صنعتی مختلف در سراسر دنیا بسیار موردتوجه محققان مختلف قرارگرفته است به‌طوری‌که بخش‌های مهم تحقیقاتی خود را به شناخت باران اسیدی و چگونگی به وجود آمدن آن و درنهایت اثرات باران اسیدی و راه‌حل‌های مختلف کاهش آن اختصاص داده‌اند. برای نخستین بار در سال ۱۸۴۵ داکروس به باران اسیدی پی برد و در اواسط قرن نوزدهم میلادی شیمیدانی انگلیسی به اسم روبرت آنگوس اسمیت به باران اسیدی و جزئیات آن برای اولین بار اشاره کرد (Ghoddousian, 2006). روبرت آنگوس اسمیت در سال ۱۸۷۲ برای نخستین بار اصطلاح باران اسیدی را برای تشریح و توصیف طبیعت اسیدی باران‌های باریده شده در شهر منچستر به کار برد. ترکیب شیمیایی فرم‌های مختلف بارندگی از سال‌ها پیش توسط محققین متعدد در مناطق مختلف موردبررسی قرارگرفته است (Junge & Werby, 1958). ترکیب شیمیایی آب باران یا برف عمدتاً توسط منبع بخارآب و یون‌های اضافه‌شده در طول مسیر قطرات به آن تعیین می‌شود (Appelo *et al*., 2005). درصورتی‌که هیچ‌گونه آلودگی هوا در طبیعت اتفاق نیفتد باران اسیدی طبیعی به وجود می‌آید که هیچ‌گونه ضرری برای طبیعت ندارد. در این هنگام باران از خالص ترین منابع آبی است و در هنگام بارش دی‌اکسید کربن اتمسفری را جذب کرده و موجب پیدایش اسیدکربنیک می‌گردد و اسیدکربنیک تولیدشده pH آب را به ۵/۶ کاهش می‌دهد.

اگر pH آب به پایین‌تر از ۵/۶ برسد به آن باران اسیدی اطلاق می‌گردد (Gupta, 2009). درصورتی‌که آلودگی‌های مختلف با مشتقات سولفات و نیترات و غیره اتفاق بیفتد باران اسیدی از حالت طبیعی خارج می‌شود و به علت آلودگی‌های مختلف بشری به باران اسیدی مصنوعی تغییر نام می‌دهد که از این به بعد دارای اثرات خطرناکی بر ابعاد مختلف زندگی موجودات زنده و کره زمین است که به‌مرورزمان تغییرات پایدار و بدون بازگشتی را به وجود می‌آورد. باران به‌طورمعمول به‌خودی‌خود مقداری اسیدی است، اما زمانی وضعیت حاد می‌گردد و بارش‌های اسیدی زیان‌بار می‌شوند که مقدار pH باران به علت ورود مشتقات سولفات و نیترات به داخل جو و حل شدن آن‌ها در آب باران و تولید اسیدسولفوریک و اسید نیتریک به مقدار کمتر از ۵ کاهش یابد و درنهایت قدرت اسیدی باران بیشتر گردد. به‌طورکلی منظور از باران اسیدی، بارانی است که pH آن از ۵/۶ کم‌تر باشد (Welburn, 1990؛ Cowgil, 1990؛ Neill, 1993). اگر مقدار pH کمتر از ۴/۶ شود باران اسیدی به‌شدت خطرناک است. ازجمله اثرات زیست‌محیطی بارش‌های اسیدی می‌توان به تخریب بناها و برخی ابزارهای انسان، تخریب و کاهش جنگل‌ها، اسیدی شدن محیط‌های آبی، تأثیر بر گیاهان زراعی (Ferenbaugh, 1976) و غیره اشاره نمود. باران اسیدی از پیامدهای مهم آلودگی هواست که در دهه‌های اخیر رشد چشم‌گیری پیداکرده است و اگر به همین شکل ادامه پیدا کند قطعاً باعث تغییرات مهمی در زندگی همه موجودات زنده در کره زمین خواهد شد و حتی می‌تواند باعث مرگ زودرس در همه موجودات زنده شود. باران اسیدی پدیده مهمی است که مردم اطلاعات کمی در مورد آن دارند و آنچه باران اسیدی را تحت عنوان مشکلی بزرگ مطرح می‌کند به دلیل آلودگی و غیربهداشتی بودن آن است (Karami Sorkheh Liejeh *et al*., 2014). متأسفانه فعالیت‌های انسانی بدون توجه به آلودگی هوا در سراسر دنیا به‌سرعت در حال گسترش می‌باشند و به قولی این فعالیت‌ها برای رفاه بیشتر انسان‌ها صورت می‌گیرد درحالی‌که اگر همراه با توجه ویژه و اساسی به بحث آلودگی هوا نباشد نه‌تنها باعث رفاه بیشتر برای انسان نمی‌شود بلکه باعث مرگ زودرس و کوتاهی عمر در انسان و سایر موجودات زنده نیز می‌شود.

اگر انقلاب‌های صنعتی به همین روال و بدون توجه به خطرات آلودگی هوا ادامه یابد در آینده همه مردم دنیا باید منتظر وقوع باران‌های اسیدی خطرناک‌تر که می‌تواند نسل بشر و سایر موجودات زنده را منقرض کند،

باشند. هدف تحقیق حاضر برجسته کردن اثرات باران اسیدی بر روی بخش‌های مختلف کره زمین با توجه به مستندات علمی داخلی و خارجی در ایران و دنیا است که به‌نوبه خود کاری ارزشمند برای اهمیت دادن به باران اسیدی و خطراتی که در حال و آینده برای بشر و سایر موجودات زنده دارد، است؛ بنابراین ضروری است که تحقیقات مختلف در مورد باران اسیدی و خطرات ناشی از آن موردتوجه بیش‌ازپیش محققان و سیاست‌گذاران کشورهای مختلف قرار گیرد تا جایی که قوانینی محکم با ضمانت‌های اجرایی بالا توسط سازمان‌های بین‌المللی وضع شود و کشورهای خاطی توسط سایر کشورها مورد بازخواست قرار گیرند و تلاش شود آلودگی هوا به میزان قابل قبولی کاهش یابد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش با تأکید بر مطالعات مختلف بر روی باران-های اسیدی و اثرات متفاوت آن‌ها در ایران و دنیا در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف انجام‌شده است. برای انجام این پژوهش مستندات مختلف از منابع داخلی و خارجی جمع‌آوری شد و مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفتند و اثرات مختلف باران‌های اسیدی به‌صورت جزئی و همراه با تفصیل‌های متفاوت بر روی خاک، مراتع و جنگل‌ها، دریاها و دریاچه‌ها و رودخانه‌ها، انسان، ساختمان و سازه‌ها و همچنین صنعت حمل‌ونقل و محصولات کشاورزی موردبررسی قرار گرفتند و اثرات باران اسیدی توسط پژوهشگران مختلف در مناطق متفاوت سراسر دنیا مورد بازبینی قرار گرفت و مقایسه اثرات باران اسیدی در اقلیم‌های مختلف دنیا صورت گرفت و درنهایت نیز هشدارهای مهمی همراه با مستندات علمی جمع‌آوری‌شده از سراسر دنیا به محققان و همچنین سیاستمداران داخلی و خارجی در ارتباط با باران‌های اسیدی و خطرات حال و آینده آن برای بشر و کره زمین داده شد.

نتایج و بحث

یکی از پدیده‌های مهلک و خطرناک در دهه‌های اخیر، باران اسیدی است. باران یکی از بزرگ‌ترین نعمت‌های خداوند متعال است اما انقلاب‌های صنعتی سبب شده است تا باران سودمند به یک باران مضر تبدیل شود. در چند دهه اخیر میزان اسیدیته آب باران، در بسیاری از نقاط کره زمین افزایش یافته و به همین خاطر اصطلاح باران اسیدی رایج شده است. تا چندی پیش چنین تصور می‌شد که باران اسیدی یک مشکل اروپایی است اما امروزه مشاهده می‌شود که باران اسیدی همه کشورهای صنعتی در تمام دنیا را تحت تأثیر قرار می-دهد و اگر قوانینی بین‌المللی که همه کشورهای جهان را ملزم به کاهش آلودگی هوا کند، هرچه زودتر تدوین نشود در آینده کره زمین با فاجعه باران اسیدی در ابعاد بزرگ‌تر مواجهه خواهد شد. آب باران هیچ‌گاه، کاملاً خالص نبوده و با پیشرفت صنعت بر ناخالصی‌های آن افزوده‌شده است. ناخالصی طبیعی باران به‌طور عمده ناشی از نمک‌های دریایی است و گازها و دودهای ناشی از فعالیت انسان در فرآیند ابرها دخالت می‌کنند. البته آب باران به‌طور طبیعی، مشکل بهداشتی ازنظر مواد شیمیایی ندارد مگر اینکه آلودگی بسیار شدید هوا در منطقه وجود داشته باشد (Beiderwieden *et al.*, 2005). آتش‌سوزی جنگل‌ها نیز ازجمله عواملی است که در میزان اسیدیته آب باران نقش دارد. فرآیندهای بیولوژیکی، آتشفشانی و فعالیت‌های انسان، مواد آلوده‌کننده جو را در مقیاس محلی، منطقه‌ای و جهانی در فضا منتشر می‌کنند. تحقیق حاضر به اثرات باران اسیدی در اکوسیستم‌های مختلف دنیا بر روی خاک، پوشش گیاهی و جنگل‌ها، دریاها و دریاچه‌ها و رودخانه‌ها، انسان، ساختمان و سازه‌ها و همچنین صنعت حمل‌ونقل و محصولات کشاورزی با توجه به مستندات علمی در بخش‌های مختلف به‌صورت مجزا پرداخته است.

اثرات باران اسیدی بر روی ویژگی‌های مختلف خاک و فرسایش

خاک در کنار آب‌وهوا یکی از اضلاع مثلث حیات روی زمین است. در جهان صنعتی امروزه مواد زیادی هستند که باعث آلودگی خاک می شوند. متخصصین هشدار می‌دهند که خطر آلودگی خاک نباید دست‌کم گرفته شود زیرا این آلودگی به‌طور مستقیم بر انسان و سایر موجودات زنده کره زمین تأثیر دارد. آلودگی خاک به هرگونه تغییر در ویژگی اجزای تشکیل‌دهنده خاک می‌گویند به‌طوری‌که استفاده از خاک ناممکن شود (Karami Sorkheh Liejeh & Maleki, 2014). خاک در هر جنبه‌ای از زندگی شامل غذا، آب، هوا و سلامت نقش دارد. سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (فائو) تخمین می‌زند که تولید ۹۵ در صد غذای ما به صورت مستقیم و غیرمستقیم با خاک در ارتباط است.

بر همین اساس، آلودگی خاک یک خطر سلامت واقعی و بسیار جدی است. یکی از انواع آلودگی‌های محیط‌زیست، آلودگی خاک است. خاک‌ها به‌عنوان پالاینده‌های طبیعت محسوب می‌شوند و علاوه بر اینکه تأمین‌کننده مواد غذایی هستند، خاصیت تصفیه‌کنندگی نیز دارند که این خاصیت آن‌ها در اثر خواص فیزیکی و شیمیایی و همچنین خواص زیستی آن‌ها حاصل می‌گردد (Karami Sorkheh Liejeh & Maleki, 2014). یکی از منابع آلوده‌کننده خاک، آلودگی هوا و در پی آن تشکیل باران‌های اسیدی است. یکی از تأثیرات مهم باران اسیدی اثر آن بر خاک است که از این طریق می‌تواند بر محیط‌های دیگری مثل آب‌های سطحی و زیرزمینی، گیاهان و جانوران تأثیر بگذارد. ازآنجاکه عمده خاک‌های اکثر مناطق جهان قلیایی است با بارش باران‌های اسیدی بر روی زمین اسید موجود در آب خنثی می‌شود و به‌این‌ترتیب کمی از قدرت تخریب اسیدی آن کاسته خواهد شد اما در مناطقی که خاک قلیایی می شود و یا ضخامت لایه قلیایی خاک کم است، درنتیجه بارش باران اسیدی باعث تجزیه شدن مواد موجود در خاک و درنتیجه آن کاهش خاصیت خاک و سست شدن ذرات خاک و درنتیجه بارندگی، شسته شدن خاک صورت می‌گیرد. باران اسیدی به‌طور مستقیم سبب آبشویی عناصر مغذی نظیر پتاسیم، کلسیم، منیزیم و سدیم موجود در خاک می‌شود و خاک حالت اسیدیته پیدا می‌کند و عمدتاً خاک‌های اسیدی، خاک‌های نامناسبی هستند که به‌واسطه اسیدها، عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان را ازدست‌داده‌اند. خاک ممکن است بخشی یا همه اسیدیته باران را نیز خنثی کند که به این قابلیت ظرفیت بافری خاک نیز گفته می‌شود و بدون آن خاک‌ها اسیدی‌تر می‌شوند (Gholinejad *et al.*, 2019)؛ بنابراین اثرات باران اسیدی بر خاک به شکل‌های متفاوتی از قبیل شستشوی عناصر مغذی خاک، اسیدی شدن خاک و رهاسازی عناصر سمی رخ می‌دهد. افزایش باران اسیدی سبب تغییر در خصوصیات شیمیایی خاک می شود و در کنار باران اسیدی، دی‌اکسید کربن حاصل از فعالیت میکروبی نیز موجب پیشبرد تولید اسیدکربنیک می‌شود که نتیجه آن‌هم کاهش اسیدیته خاک است.

اسیدیته بر روی خاک تأثیر می‌گذارد و یک عنصر مغذی برای گیاه نظیر پتاسیم به‌تدریج از خاک شسته و خارج می شود. تحت شرایط اسیدی، فلزات سمی برای گیاه در خاک انباشته می‌شوند. باران اسیدی منجر به اسیدی شدن خاک و افزایش تبادل میان یون هیدروژن و کاتیون هایی مانند پتاسیم، منیزیم و کلسیم در خاک می‌شود. این کاتیون‌ها در خاک تجزیه می شوند و می‌توانند به سرعت در محلول خاک همراه با سولفات باران اسیدی شسته شوند (Van Breeman *et al.*, 1984). اسیدی شدن بیش‌ازحد خاک در تجزیه لاشبرگ‌های درختان و مواد مغذی سلولزی تأخیر ایجاد می‌کند (Francis, 1982). کیفیت خاک نقش مهمی در نگهداری تنوع ساختاری اکوسیستم‌های جنگلی دارد. همچنین بارش اسیدی فعالیت میکروب‌هایی را که مواد آلی موجود در خاک را به عناصر مغذی موردنیاز گیاه تبدیل می‌کنند، مختل می‌نمایند. زمانی که جمعیت میکروبی کاهش

پیدا می‌کند، میکروب‌ها آن‌چنان قادر به تحمل محیط اسیدی خاک به علت بارش اسیدی نیستند. Bakhshipour و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی تأثیر باران اسیدی بر خواص ژئوتکنیک خاک‌های درجا پرداختند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که اسیدیته کم باران اسیدی باعث کاهش مقاومت و بیشینه وزن مخصوص خشک خاک شده و ضریب نفوذپذیری در نمونه خاک را کاهش می‌دهد. Lemos و همکاران (۲۰۱۸) به اثر اسیدی شدن در مناطق شهری و صنعتی پرداختند. نتایج نشان داد که حضور آلاینده‌های اسیدی، تأثیر منفی درازمدتی بر خصوصیات اتمسفر و خاک داشته و موجب تغییرات جهشی خاک می‌شوند. Saeediyan و همکاران (۲۰۱۳) و (۲۰۲۱) به بررسی اثر باران اسیدی در فرسایش‌پذیری خاک پرداختند. نتایج نشان داد که در سازندهای آغاجاری و گچساران میزان رواناب و رسوب و همچنین فرسایش‌پذیری خاک با افزایش غلظت باران اسیدی به اسیدیته ۴ و ۵، افزایش می‌یابد. Wei و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی تأثیر باران اسیدی بر واکنش‌های اسیدی در خاک اراضی کشاورزی پرداختند. نتایج نشان داد که باران اسیدی با اسیدیته معین موجب ایجاد واکنش‌های اسیدی یکسان در نمونه‌های مختلف خاک نخواهد شد؛ زیرا واکنش‌های اسیدی در هر نوع خاک با توجه به ساختار و محتوای خاک متغیر است. باران اسیدی اثرات سریعی بر خاک داشته و سبب تجزیه و پراکنده شدن خاک و درنتیجه فرسایش می شود. Alipour و همکاران (۲۰۱۸) بیان کردند که با اسیدی‌تر شدن باران و درنهایت مقایسه آن با باران غیر اسیدی مقدار پاشمان خاک افزایش می‌یابد که این امر هم در خاک خشک و هم در خاک اشباع اتفاق می‌افتد. Saeediyan و همکاران (۲۰۲۱) بیان کردند که در میزان رواناب و رسوب سازندهای گچساران و آغاجاری در سه غلظت بارش آب مقطر، اسیدیته ۵ و اسیدیته ۴، بیشترین تأثیر را شدت بارش دارد و همچنین کمترین تأثیر را اثر متقابل شدت بارش و جهت دامنه در میزان رواناب و رسوب بازی می‌کند و در سازندهای گچساران و آغاجاری میزان رواناب نسبت به رسوب حساسیت بسیار بیشتری در غلظت‌های مختلف بارش نسبت به اثر متقابل جهت دامنه و شدت بارش از خود نشان می‌دهد. Koosha (۲۰۱۵) به بررسی اثر باران‌های اسیدی و قلیایی بر ویژگی‌های خاک و تولید رسوب پرداختند و بیان کردند که با افزایش pH میزان حجم رواناب و غلظت رسوب در تمامی تیمارها کاهش یافت ولی افزایش شدت بارندگی باعث افزایش مقادیر مذکور شد. Saeediyan و همکاران (۲۰۲۱) در بررسی اثر متقابل جهت دامنه و شدت بارش در میزان نفوذپذیری خاک نسبت به بارش‌های اسیدی بیان کردند که به‌طورکلی با افزایش میزان درجه اسیدی و افزایش مدت‌زمان نفوذ، ویژگی‌های خاک دچار تغییرات شده که ازجمله این تغییرات می‌توان به ویژگی‌های مقاومتی و ظرفیت باربری خاک اشاره کرد که در این میان جهت دامنه نیز به دلیل داشتن میزان رس و مواد آلی متفاوت باعث تأثیرپذیری بیشتر بارش اسیدی در میزان نفوذپذیری خاک می‌شود.

کربنات کلسیم یکی از ضربه‌گیرهای طبیعی باران اسیدی در خاک‌های مختلف محسوب می‌شود. هیدروژن اسید با کربنات کلسیم ترکیب شده و در جریان این واکنش اسید خنثی می‌گردد که این پدیده را ظرفیت خنثی سازی اسیدی می‌نامند (Ezzatian, 2010). بنابراین وقتی بارش اسیدی بر روی خاک می بارد آهک توسط اسید خنثی می‌شود و درنتیجه ذرات خاک به‌راحتی از هم جدا می‌شوند و باعث تولید رواناب و رسوب زیادی می‌گردد. میزان تأثیر باران اسیدی بر خاک به نوع و خواص آن خاک نیز بستگی دارد. حساسیت خاک‌ها نسبت به باران اسیدی بستگی دارد به وجود یا نبود کربنات در نیمرخ خاک، ظرفیت کلی بافری یا ظرفیت تبادل کاتیونی خاک که عمدتاً توسط محتوی رس و مواد آلی خاک تعیین می شود و همچنین سیستم مدیریتی که بر خاک اعمال می‌شود

(McFee, 1980 ؛Manahan, 2005). درنهایت باران اسیدی با کاهش pH خاک عناصر سمی مانند آلومینیوم را آزاد می‌کند و فعالیت آن دسته از ریزاندام‌واره‌های مفید خاک را که در دامنه‌های بالای pH فعال‌اند را کم کرده و درنتیجه از حاصلخیزی خاک می‌کاهد (Zhang *et al.*, 2007؛ King *et al.*, 2006). Meer Hosaini و همکاران (۲۰۰۸) بیان کردند که مقدار نسبتاً زیاد آهک موجود در منطقه سرچشمه استان کرمان اثر بارش‌های اسیدی را کاهش می‌دهد ولی بااین‌وجود باران‌های اسیدی علاوه بر شستن بخشی از عناصر، مقادیر کلسیم و منیزیم تبادلی را کاهش می‌دهند و همچنین قابلیت جذب عنصر مس در خاک‌های مورد آزمایش نیز درنتیجه تأثیر باران‌های اسیدی افزایش می‌یابد.

میزان تأثیر باران اسیدی بر روی حیات زیست‌شناختی در یک منطقه به ترکیب خاک و صخره سنگی که در زیر لایه سطحی زمین آن منطقه واقع است، بستگی دارد. مناطقی که در زیر لایه سطحی زمین گرانیت یا کوارتز دارند، بیشتر تحت تأثیر قرار می‌گیرند، زیرا خاک وابسته به آن، ظرفیت کمی برای خنثی کردن اسید دارد. چنانچه صخره سنگی در زیر لایه سطحی زمین از نوع سنگ‌آهک یا گچ باشد، اسید به‌طور مؤثر خنثی می‌شود، زیرا کربنات کلسیم به‌صورت باز عمل کرده و با اسید وارد واکنش می‌شود. باران اسیدی در آلودگی‌های مختلف خاک که ممکن است به وجود بیاید بدترین نوع آلودگی محسوب می‌شود چون در ابتدا باعث از بین رفتن پوشش‌های گیاهی و جنگلی و سپس باعث آلودگی منابع آب در حد وسیع می شود (Karami Sorkheh Liejeh & Maleki, 2014).

اثرات باران اسیدی بر روی مراتع و جنگل‌ها

مراتع و جنگل‌ها جزء مقوله‌هایی هستند که در ابتدا و به‌طور سریع تحت تأثیر آلودگی هوا و به‌تبع آن باران-های مختلف اسیدی قرار می‌گیرند. باران اسیدی باعث وارد آمدن خسارت به مراتع و جنگل‌ها نیز می‌شود، ازجمله مراتع و جنگل‌هایی که در ارتفاعات بالاتر قرار دارند.

اثرات باران اسیدی همراه با سایر عوامل زیست‌محیطی باعث می‌شود گیاهان و درختان کمتر قادر باشند در برابر دماهای سرد، حشرات و بیماری‌ها مقاومت کنند. همچنین آلاینده‌ها ممکن است توانایی درختان برای تولیدمثل را محدود کنند. باران اسیدی، اختلالاتی در روزنه برگ‌های درختان ایجاد می‌کنند که سبب ازدیاد تعریق و کمبود آب درخت می‌شود. بارش اسیدی به برگ‌های درختان صدمه زده و فرسایش سطح برگ را تسریع می‌کنند. رشد برگ‌ها به علت اسیدیته بالا کاهش می‌یابد. زمانی که رشد برگ‌ها تحت تأثیر بارش اسیدی قرار می‌گیرد، نابودی گیاهان سبز نیز حاصل می‌شود. در جنگل‌هایی که در معرض بارش‌های اسیدی قرار دارند درختان بیشتر دارای سوختگی‌های موضعی هستند و اثرات شدیدتر آن از بین رفتن برگ‌ها و شاخه‌ها در قسمت تاج درختان مختلف است (Zare Chenijani & Sher Afros, 2012). باران اسیدی به‌عنوان عامل مخرب و خورنده‌ی پوشش محافظ برگ‌های گیاهان شناخته‌شده است که فتوسنتز گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. به دلیل ضعف در تغذیه، گیاهان در برابر بیماری آسیب‌پذیر می‌شوند. این یکی از دلایل مهمی است که گفته می‌شود جنگل‌ها در آلمان رو به نابودی هستند.

یکی دیگر از دلایل عدم تغذیه مناسب درختان، ممکن است از جذب باران اسیدی توسط خاک باشد. اسیدهای مضر می‌توانند عوارض خطرناک در ریشه‌های درختان داشته باشند. در درخت کاج، باران اسیدی باعث ریزش برگ‌ها و جلوگیری از تولید درختان جدید می‌شود و برگ‌های سوزنی شکل قهوه‌ای‌رنگ شده و درزمانی که باید سبز باشند، می‌ریزند (Zare Chenijani & Sher Afros, 2012). بررسی‌ها حاکی از آن است که جنگل‌ها بیشتر از دیگر اکوسیستم‌ها در معرض خطر باران‌های اسیدی هستند به‌ویژه جنگل‌های ارتفاعات بالا که بیشتر تحت تأثیر ریزش باران اسیدی هستند.

باران‌های اسیدی با گذشتن از لابه‌لای برگ درختان با از بین بردن آن‌ها و همچنین گیاهان کف جنگل به‌طور مستقیم در اکوسیستم جنگل تأثیر می‌گذارد و به‌تدریج آن را نابود می‌کند. باران اسیدی مستقیماً درختان را از بین نمی‌برد و بیشتر به نظر می‌رسد از طریق آسیب رساندن به برگ‌ها، محدود کردن قابلیت دسترسی مواد مغذی یا از طریق مواجه کردن آن‌ها با عناصر سمی که به آهستگی از خاک آزاد می‌شوند درختان را ضعیف می‌کند (Gholinejad *et al*., 2019) که در اغلب موارد مرگ یا آسیب درختان نتیجه آثار باران اسیدی است که در ترکیب با یک یا چند اثر محیطی اضافه‌شده هست. رسوب اسیدهای نیتریک و سولفوریک علاوه بر تغییر در خاک جنگل‌ها، عناصر غذایی ضروری را برای گیاه فراهم می‌کند؛ اما خطر بزرگ رسوب اسید، تحرک فلزات سمی مانند آلومینیوم و زدایش کلسیم، منیزیم و عناصر غذایی دیگر ضروری برای رشد گیاه از خاک است (Ezzati & Rabbani, 2014). درختان نسبت به سایر گیاهان حساسیت بیشتری به باران اسیدی دارند و براثر ریزش باران اسیدی برگ‌های سرشاخه آن‌ها می‌ریزد و همچنین باعث ایجاد لکه در برگ نیز می‌شود (Zare Chenijani & Sher Afros, 2012).

در کشور اسکاندیناوی به‌خصوص در سوئد، جنگل‌ها به‌طور تأسف‌باری در اثر آلودگی اسیدی تخریب‌شده‌اند. پدیده مرگ جنگل در ارتباط با جوامع گیاهی در کوهستان‌های مرتفع از قبیل کاج‌ها و جامعه سوزنی‌برگان بسیار شدید و سریع به وقوع می‌پیوندد (Gholinejad *et al*., 2019). درختان باریک برگ که با باران اسیدی آسیب می‌بینند به‌تدریج برگ‌های خود را از بالا به پایین از دست می‌دهند و اکثر برگ‌های خشک‌شده در بهار بعدی نیز تجدید نمی‌شوند (Erglisman, 2001). Bell و Treshow (۲۰۰۲) باران اسیدی را عامل فرسایش کوتیکول و ایجاد ترک در برگ دانستند. Jafarian و همکاران (۲۰۱۶) بیان کردند که افرای پلت در برابر باران اسیدی تا اسیدیته ۴ به دلیل افزایش آنتی‌اکسیدان‌ها مقاوم بوده ولی در برابر باران اسیدی دارای اسیدیته ۳ و بی‌تردید اسیدیته‌های پایین‌تر به دلیل افزایش رادیکال‌ها، کاهش فتوسنتز مشهود است. درنهایت باران اسیدی به‌طور مستقیم در مواجه با برگ‌های گیاهان بر آنان اثر گذاشته و سبب کاهش سرعت رشد (Silva *et al*., 2005) و در pHهای پایین‌تر حتی منجر به ریزش نابهنگام، پیری و مرگ گیاه می‌شود. ضمناً باران اسیدی همچنین بر روی اندام‌های تولیدمثل گیاه نیز اثر می‌گذارد.

بر اساس مطالعات میکرومورفولوژی برگی انجام‌شده توسط Bruno و همکاران (۲۰۰۶) منافذ روزنه‌ای در درخت گرمسیری جنیپا پس از مواجهه شدن با باران اسیدی شبیه‌سازی شده، شکل طبیعی خود را از دست داده و لبه بیرونی روزنه‌ها ازهم‌گسیخته می‌شوند. در حقیقت باران اسیدی به‌عنوان یک تنش غیر زیستی سطوح رادیکال‌های آزاد اکسیژن را در بافت‌های گیاهی افزایش می‌دهد (Kong *et al*., 2000؛ Gabara *et al*., 2003). سطوح بالای رادیکال‌های آزاد اکسیژن برای یاخته‌های گیاهی بسیار خطرناک است و به غشاها، پروتئین و DNA آسیب وارد می‌کند.

اثرات باران اسیدی بر روی محصولات کشاورزی

ریزش باران‌های اسیدی هم رشدونمو گیاهی و هم برداشت محصول را تحت تأثیر قرار می‌دهد. البته بررسی‌های آزمایشگاهی حاکی از این است که گیاهان زراعی رشد یافته در شرایط باران‌های اسیدی رفتار متفاوتی نشان می‌دهند. محصولات برخی افزایش‌یافته و محصولات گروهی کاهش می‌یابد. باران اسیدی موجب کاهش شاخص‌هایی مانند وزن تر و خشک، سطح برگ، محتوای کلروفیل، فعالیت کاتالاز، ایجاد نشانه‌های آسیب و کاهش در میزان محصول می‌شود (Shou – Quing, 2011). یکی از مهم‌ترین اثرات باران اسیدی، کاهش شدید تولیدات کشاورزی است (wang *et al*., 2012). ماهیت اسیدیِ باران اسیدی مواد مغذی برای گیاه را از خاک جدا می‌کند و از حاصلخیزی‌اش

جهت کشاورزی می‌کاهد. خاک‌های دارای مواد قلیایی فراوان مانند آهک یا سنگ‌آهک اسیدها را خنثی می‌کنند و حساسیت کمتری دارند. سایر خاک‌ها معمولاً حاوی مواد معدنی موردنیاز گیاهان می‌باشند، اما اسید موجود در باران اسیدی آن‌ها را حل می‌کند و یون‌های فلزی را با هیدروژن جایگزین می‌کند. زمانی که گیاهان آبی را جذب می‌کنند که معمولاً حاوی مواد معدنی است، به‌جایش هیدروژن می‌گیرند و نمی‌توانند با سرعت و مقدار قبلی رشد کنند. در موارد حاد، این کمبود مواد معدنی می‌تواند باعث از بین رفتن گیاه شود.

افزایش میزان مشتقات سولفات و نیترات که با تشکیل اسیدهای سولفوریک و نیتریک همراه هستند سبب افزایش اسیدیته باران می‌شود که اثر مضری بر محصولات کشاورزی دارد (Shou – Quing, 2011). باران اسیدی بر مراحل بیوشیمیایی و بیولوژیکی گیاهان اثر می‌گذارد (Koricheva *et al*., 1996). باران اسیدی همچنین به لایه مومی شکل روی برگ‌ها که گیاه را در برابر شرایط مختلف آب و هوایی و تغییرات جوی حفاظت می‌کند آسیب می‌زند و درنتیجه با آسیب‌پذیر شدن، گیاه در مقابل امراض مقاومت خود را ازدست‌داده و با باران‌های سنگین، بادهای قوی و حتی یک دوره کوتاه‌مدت خشکی مفرط نه‌تنها جوانه‌زنی، رویش و تولید دوباره در گیاه متوقف می‌شود بلکه مرگ گیاه را هم باعث خواهد شد. در وضعیت اسیدی تحرک فلز سنگین سمی آلومینیوم در خاک زیاد می‌شود و به گیاهان آسیب می‌رساند (Verma *et al*., 2010). باران اسیدی با اسیدیته ۳/۵ در فلفل موجب کاهش در وزن خشک ساقه و برگ، وزن تر میوه، تعداد میوه و نیز توسعه نشانه‌های بیماری، از دست رفتن محصول در مرحله رشد میوه و دانه رُست (دانه رویش یافته) در مقایسه با گیاهان شاهد تحت باران با اسیدیته ۵/۵ شد (Choi *et al*., 2010). Ezzati و Rabbani (۲۰۱۴) به بررسی گیاهان گندم تحت آبیاری و برگ‌پاشی با باران اسیدی به غلظت‌های مختلف پرداختند. نتایج نشان داد که گیاهان شاهد در تمام شاخص‌های رشدی و فیزیولوژیکی بهتر از گیاهان تیمار باران اسیدی با اسیدیته ۲/۵ و ۳/۵ بودند. همچنین گیاهان تیمار شده با باران اسیدی در اسیدیته ۵/۶ و ۴/۵ به‌غیراز شدت فتوسنتز، محتوای رنگیزه‌ها و قندهای محلول در دیگر فاکتورها در سطح پایین‌تری از گیاهان شاهد قرار داشتند و در اسیدیته ۳/۵ و ۲/۵ ایجاد لکه‌های سفید در هر دو سطح برگ، خشک شدن راس و کناره‌های برگ نیز مشاهده شد. Kumari و Tomar (۲۰۰۹) بیان کردند که باران اسیدی بر محتوای کلروفیل و اسید آسکوربیک برگ‌ها در اسیدیته ۲/۵ و ۳/۵ اثرات منفی اعمال می‌کند که این اثرات با کاهش اسیدیته و دوره تیمار تشدید می‌شوند.

باران اسیدی با اسیدیته ۳/۵ در برنج در مقایسه با باران معمولی موجب کاهش در شاخص‌هایی مانند طول گیاه، درصد جوانه‌زنی، تعداد جوانه و برگ می‌شود (Zabawi *et al*., 2008). البته نیتروژن و گوگرد باران اسیدی ممکن است اثرات مثبتی بر رشد ایجاد کند که بستگی به وضعیت عناصر غذایی، ظرفیت بافری، شرایط رشد و نیاز غذایی گیاه دارد (Gibbons, 1984). Haqirchergani و همکاران (۲۰۰۶) به بررسی اثر تیمارهای اسیدی مشابه باران اسیدی بر گیاهان لوبیا پرداختند. نتایج نشان داد که وزن خشک در گیاهان تحت تیمارهای اسیدی کاهش‌یافته است. این کاهش در گروه تیمار شده با محلول اسیدی HNO_3 با pH=2 بیش از سایر گروه‌ها بود. تعداد دانه‌ها در نیام گیاهان تحت تیمار نسبت به شاهد کاهش‌یافته است که این کاهش در گروه تیمار شده با H_2SO_4 بیش از سایر گروه‌ها قابل‌توجه است. بررسی اثرات میکروسکوپی تیمارهای اسیدی بر ریزساختار سطح برگ نشان داد که تیمار اسیدی موجب بی‌نظمی در سلول‌های اپیدرمی، شکستگی کرک‌های اپیدرمی و گسیختگی سلول‌ها از هم شده است. باران اسیدی در اسیدیته ۳ و ۴ در گیاه گوجه‌فرنگی موجب ایجاد خال‌های سیاه تا قهوه‌ای روی سطح دور از محور برگ و نیز کاهش درخور توجه سنتز رنگیزه‌ها، وزن خشک ساقه و ریشه، میزان محصول و کاهش در قندهای غیر کاهنده به‌ویژه

در اسیدیته ۳ می‌شود و همچنین باران اسیدی موجب انباشتگی فنول‌های محلول به‌عنوان سازوکار القایی در برابر تنش باران اسیدی می‌شود (Shaukat & Alikhan, 2008). باران اسیدی جنگ‌افزارهای شیمیایی ناخوانده علیه گیاهان است (Karami Sorkheh Liejeh *et al*., 2014). Singh و Agrawal (۲۰۰۴) بیان کردند کاهش اسیدیته آب باران در حد ۳ و ۴ باعث کاهش طول ساقه، سطح برگ و میزان فتوسنتز خالص در گندم می‌شود.

یکی دیگر از اثرات باران اسیدی این است که به‌واسطه یک سری از واکنش‌های شیمیایی برخی از یون‌های مهم برای گیاهان غیرقابل‌دسترس می‌شوند (Hoveidi *et al*., 2010). Daneshmandy و Nabavi Kalat (۲۰۱۵) بیان کردند که کاهش اسیدیته آب و مسمومیت ناشی از باران‌های اسیدی می‌تواند مانع جوانه‌زنی، رشدونمو و استقرار گیاهچه ذرت شود. Evans و همکاران (۱۹۸۴) بیان کردند که باران‌های اسیدی عامل مهمی در کاهش عملکرد دانه سویا است. Wang و Zhou (۲۰۱۰) بیان کردند که کاهش pH تا حد ۵ باعث افزایش جزئی درصد جوانه‌زنی در برنج‌های مورد آزمایش شد ولی با افزایش سطح اسیدیته، جوانه‌زنی به‌شدت کاهش یافت.

همچنین در تحقیقی دیگر، Askari و همکاران (۲۰۱۴) بیان کردند که باران اسیدی در اسیدیته بالا رشد و پروتئین‌سازی گیاه گوجه‌فرنگی را کاهش خواهد داد در صورتی که محتوی گوگرد برگ را افزایش می‌دهد. همچنین بررسی‌ها نشان می‌دهد که پایین بودن اسیدیته رشد گیاه گوجه‌فرنگی را تقویت. همچنین کاهش محصول و یا آسیب برگی به دلیل اختلال در فتوسنتز، جلوگیری از رشد، تخریب رنگیزه‌های فتوسنتزی، ایجاد سمیت و افزایش فئوفیتین ازجمله اثرات باران اسیدی است (Irshad *et al*., 2011; Santos *et al*., 2006).

اثرات باران اسیدی بر روی آب‌های سطحی و غیر سطحی، موجودات دریا و حیات‌وحش

باران اسیدی می‌تواند به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم و همچنین محسوس و نامحسوس، بر محیط‌زیست اثر بگذارد و سبب تغییراتی در آن می‌شود. آثار زیست‌محیطی اسیدی شدن، نخستین بار با تغییرات شدید اجتماع حیاتی آب شیرین در دهه ۱۹۷۰ میلادی مشخص شد به‌طوری‌که باران اسیدی با اسیدی کردن آب رودخانه‌ها و دریاچه‌ها شرایط زندگی آبزیان را به خطر می‌اندازد (Botkin & Keller, 2003). باران اسیدی باعث از بین رفتن حیات در دریاچه می‌شود و مرگ آبزیان و گونه‌های گیاهی را به دنبال دارد. دریاچه‌های اسیدی شده به علت شسته شدن سنگ‌ها به‌وسیله یون هیدروژن دارای غلظت‌های بالای آلومینیوم هستند. قدرت اسیدی بالا و غلظت‌های بالای آلومینیوم عامل اصلی کاهش جمعیت ماهی‌هاست. ترکیب زیست‌شناختی دریاچه‌های اسیدی شده به‌شدت دچار تغییر می‌شود و تکثیر ماهی‌ها در آب‌های دارای قدرت اسیدی بالا کاهش می‌یابد. وقتی pH خیلی پایین‌تر از ۵ باشد، گونه‌های اندکی زنده مانده و تولیدمثل می‌کنند. در اسیدیته‌ای برابر ۵ اغلب تخم‌های ماهی‌ها نمی‌توانند رشد کنند و در سطوح پایین‌تر برخی از ماهی‌های بالغ نیز می‌میرند و برخی دریاچه‌های اسیدی هم هیچ‌گونه ماهی ندارند؛ بنابراین باران اسیدی مستقیماً به زیستگاه‌های آبی منتقل می‌گردد و اکثر دریاچه‌ها و نهرها اسیدیته‌ای در حدود ۶ تا ۸ دارند هرچند که برخی دریاچه‌ها به‌طور طبیعی اسیدی هستند (Hoveidi *et al*., 2010). آب دریاچه‌های اسیدی شده اغلب زلال و شفاف است و این به علت از بین رفتن زندگی گیاهی و جانوری این دریاچه‌ها است؛ برای مثال در میان کشورهای اسکاندیناوی دریاچه‌های جوانی پیداشده است که در مراحل اولیه حیات قرار دارند که پس از بررسی‌های اولیه مشخص شد که این دریاچه‌ها، دریاچه‌های قدیمی بوده‌اند که در اثر باران اسیدی حیات در آن‌ها از بین رفته است. ورود رسوبات

حاصل از رواناب ناشی از باران‌های اسیدی به تالاب‌ها و دریاچه‌ها می‌تواند حیات موجودات آبزی را به خطر بیندازد. به‌محض اینکه اسیدیته در دریاچه‌ها و نهرها کاهش می‌یابد، میزان آلومینیوم افزایش می‌یابد (Rahimzadeh, 2001). کاهش pH و افزایش آلومینیوم برای آبزیان فوق‌العاده سمی هستند.

باران‌های اسیدی که در خاک نفوذ می‌کنند باعث رهاسازی فلزاتی چون نیکل، سرب و منگنز و سایر فلزات شده و به‌تدریج توسط جریان آب به دریاها حمل می‌شود و در مرگ بعضی از موجودات دریایی مؤثر مواقع می‌شود. اکثر دریاچه‌ها و نهرهایی که توسط سازمان بین‌المللی آب‌های سطحی مورد آزمایش قرار گرفتند، اسیدیته شدیدی را در شرایطی که آب آن‌ها یک سطح دائمی از pH را داشتند، نشان دادند (Ardakani, 2003). آثار مخرب ریزش اسیدی بر اکوسیستم‌ها، آشکارا مشاهده می‌شود و با توجه به حساسیت ویژه دریاچه‌ها و خاک‌ها در بخش‌های دیگر جهان و توسعه صنعتی سریع کشورهای مختلف، این نواحی نیز در آینده در معرض آثار مخرب بارش مرطوب، قرار خواهند گرفت. هیچ‌کدام از تأثیرات زیست‌محیطی باران اسیدی به‌اندازه تأثیر آن بر دریاچه‌ها، رودخانه‌ها، تالاب‌ها و دیگر محیط‌های آبی نیست. دریاچه‌ها و خاک می‌توانند سطح طبیعی اسید را خنثی کنند، اما باران اسیدی قوی‌تر از آن است که دریاچه‌ها بتوانند با آن مقابله کنند. درنهایت، باران اسیدی دریاچه‌ها را عاری از زندگی می‌کند. امروزه دریاچه‌های زیادی در ایالات‌متحده، کانادا و بخش‌هایی از اروپا یافت می‌شوند که به دلیل بارش باران اسیدی مرده یا خشک‌شده‌اند. باران‌های اسیدی ناشی از آلودگی شدید هوا، به‌طور وسیعی می‌تواند سفره‌های آب زیرزمینی را تحت تأثیر قرار دهد. ورود اسید، آب‌اکسیژنه و مواد مغذی به درون آبخوان ممکن است روند کاهش استحکام ضعیف‌ترین سنگ‌ها را تسریع نماید (Ming zhang & McSaveney, 2018). گیاهان آبزی نیز به علت آلودگی آب به‌شدت تحت تأثیر قرار می‌گیرند. آلودگی آب می‌تواند منجر به ایجاد تعداد زیادی خزه در سطح رودخانه‌ها شود که این امر موجب نرسیدن نور خورشید به عمق رودخانه‌ها می‌شود و بر رشد گیاهان آبزی با فقدان فتوسنتز تأثیر می‌گذارد. در آب‌های آلوده رودخانه‌ها، برخی از علف‌های هرز آبزی به‌عنوان سرخس‌های آبزی و سنبلچه‌ها شروع به افزایش می‌کنند و منجر به افزایش قارچ، باکتری و جلبک می‌شوند. اثرات اکولوژیکی بارش اسیدی به‌وضوح در محیط‌های آبی مانند نهرها، دریاچه‌ها و مرداب‌ها دیده می‌شود که می‌تواند برای ماهی‌ها و سایر حیوانات وحشی مضر باشد.

آب اسیدی باران همان‌طور که از خاک عبور می‌کند می‌تواند آلومینیوم را از ذرات خاک خارج کرده و سپس به نهرها و دریاچه‌ها بریزد. هر چه بارش اسیدی بیشتری به اکوسیستم وارد شود آلومینیوم بیشتری آزاد می‌شود. برخی از انواع گیاهان و حیوانات قادر به تحمل آب‌های اسیدی و مقادیر متوسط آلومینیوم هستند. برخی دیگر به اسید حساس هستند و با افزایش اسیدیته آب از بین می‌روند. آلومینیوم در انتقال پیام از غشاء سلول، حافظه و یادگیری و همچنین هورمون‌های جنسی جانوران اختلال ایجاد می‌کند. آلومینیوم در مورد ماهی‌ها نیز سبب تغییر در ساختار بافتی تیغه‌های آبششی و سلول موکوسی آبشش می‌گردد. باران‌های اسیدی به دلیل ایجاد اشکال در واکنش‌های ایمنوفیزیولوژیک سبب افزایش حساسیت آبزیان به بیماری‌های مختلف می‌گردند (Hatami, 2011; Pham *et al.*, 2020). باران‌های اسیدی می‌تواند با از بین بردن جانوران ضعیفی مانند پلانکتون‌ها و بی‌مهرگان و گیاهان بر زنجیره غذایی جانداران تأثیر گذارد. تمام ارگانیزم‌های زنده مستقیم یا غیرمستقیم به هم مرتبط هستند حتی اگر یک ارگانیزم میکروسکوپی به‌طور غیرطبیعی نابود شود ارگانیزم بزرگ‌تری که در این حلقه به آن مرتبط است تحت تأثیر قرار می‌گیرد و به‌این‌ترتیب همه حیوانات که بر چرخه غذایی مشترکی مربوط هستند آسیب می‌بینند. مرگ‌ومیر آبزیان از اسیدیته زیر ۶/۵ شروع‌شده و همه نمونه‌های حیات را در اسیدیته ۵ در برمی‌گیرد

(Gholinejad *et al*., 2019). به‌طورکلی تنوع زیستی جانوران آبزی در دریاچه‌های اسیدی کمتر است. غلظت زیاد اسید و آلومینیوم علاوه بر ماهی‌ها و آبزیان، بر پرندگان و حیات‌وحش نیز مؤثر است به علت تغذیه‌ای که از همدیگر دارند. آلودگی هوا و تبع آن باران اسیدی سبب امراض و ناراحتی‌هایی در حیوانات اهلی و وحشی نیز می‌شود که به دلیل استفاده انسان می‌تواند به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم برای انسان خطرآفرین نیز باشد.

اثرات باران اسیدی بر روی انسان‌ها

محیط‌زیست انسانی به دست بشر ساخته‌شده و زائیده تفکر او است. محیط‌زیست انسانی شامل هوا، آب، خاک، گیاه، جنگل، بیشه، مرتع، دریا، دریاچه، رودخانه چشمه، آبزیان، حیوانات، کوه، دشت، جلگه، کویر، شهر و یا ده است که در دهه‌های اخیر با انقلاب‌های صنعتی به‌شدت تحت تأثیر انواع آلودگی قرارگرفته است. هوای آلوده به‌خودی‌خود به دلیل وجود آلاینده‌های مختلف و ذرات معلق در هوا و میزان بالای گازهای دی‌اکسید کربن و مونواکسید کربن باعث بروز برخی مشکلات تنفسی خفیف و درازمدت می‌شود اما این عارضه هنگام بارش باران اسیدی به دلایل مختلف تشدید می‌شود. باران اسیدی بر انسان هم تأثیرگذار است و باعث عوارض جانبی سریعی می‌گردد. زمانی که باران اسیدی می‌بارد علاوه بر ذرات معلق موجود در هوا، ذرات معلق ارتفاعات بالاتر که به کمک باران به لایه‌های پایین آمده و وارد ریه‌های انسان می‌شود و به همراه تنفس دی‌اکسید گوگرد و اکسیدهای نیتروژن موجب تشدید بیماری تنفسی در افراد بیمار می‌گردد. اگر میزان حجم این مواد در هوا افزایش یابد افراد سالم نیز علاوه بر سردرد ممکن است عوارض تنگی نفس و یا برونشیت را از خود بروز دهند. سوزش چشم و عفونت ریه نیز از دیگر عوارض باران‌های اسیدی بر انسان است. دی‌اکسید گوگرد به‌خصوص در شکل سولفات خود ممکن است موجب آسیب‌های جدی به ریه‌های انسان و سایر جانوران شود (Hoveidi *et al*., 2010). انسان هم به گیاه و هم به جانوران برای تکمیل چرخه غذایی خود محتاج است. وقتی حیات آبزیان از هجوم سم در آب لطمات جبران‌ناپذیر می‌بینند ماهی‌های مسموم که خوراک انسان‌ها را شامل می‌شوند به‌طور غیرمستقیم پیامدهای ناگواری بر سلامتی انسان‌ها را سبب می‌شوند و استفاده گوشت پرندگانی که خوراکشان از حیوانات و جانوران آلوده دریایی تأمین‌شده است مشکلات جدی در سلامتی ایجاد می‌کند. اگر میزان حجم دی‌اکسید گوگرد و اکسیدهای نیتروژن در هوا افزایش یابد که در هنگام باران‌های اسیدی شدید این اتفاق می‌افتد، افراد سالم نیز علاوه بر سردرد ممکن است عوارض تنگی نفس و یا برونشیت و گرفتگی نایچه‌های ریه را از خود نشان دهند و همچنین در اختلالات بینایی نیز دخالت می‌کنند (Hoveidi *et al*., 2010).

اثرات باران اسیدی بر روی ساختمان‌ها و سازه‌ها

باران‌های اسیدی با حل کردن مواد معدنی و فلزات باعث تخریب ساختمان‌ها می‌شود. ساختمان‌هایی که از جنس سنگ‌های آهکی می‌باشند به باران‌های اسیدی حساسیت بیشتری دارند که این مسئله علاوه بر زیان‌های اقتصادی می‌تواند باعث زیان‌های فرهنگی هم شود. باران اسیدی پنجره‌های شیشه‌ای رنگی را تخریب می‌کند، باعث خوردگی فلزها می‌شود و هم‌چنین رنگ نقاشی‌ها را خراب می‌کند. باران اسیدی با کلسیم واکنش می‌دهد تا بی‌کربنات کلسیم تولید شود که می‌تواند به‌راحتی شسته شود. باران اسیدی همچنین باعث آسیب به بناهای تاریخی نیز می‌گردد (Bear, 1964). یکی از اثرات شدید باران اسیدی را می‌توان در یکی از عجایب هفت‌گانه جهان، تاج‌محل، در هند دید. دیوارهای سنگ مرمر و ستون‌های این بنای بزرگ تاریخی ساخته‌ی بشر، توسط باران‌های اسیدی خورده شده است. حتی کلیسای جامع سنت پل در لندن و مجسمه آزادی در نیویورک نیز چند نمونه از این تخریب‌ها هستند. معماران و مهندسین عمران همواره تلاش می‌کنند تا با انتخاب مصالح

مناسب با توجه به شرایط جوی منطقه، این اثر را کاهش دهند. واکنش شیمیایی مصالح مختلف ساختمانی با اسید درگذر زمان همانند حل شدن حبه‌ی قند در آب عمل می‌کند. ازاین‌رو پرداختن به این مسئله از مهم‌ترین نکات در ساخت‌وساز ابنیه محسوب می‌شود. شیمیدان‌ها قدرت خورندگی اسیدها را با pH اندازه‌گیری می‌کنند. در حالت مرطوب، بارش اسیدی که سطح سنگ‌ها ریزش می‌کند با عناصر موجود در سنگ واکنش انجام داده و باعث تخریب سنگ می‌شود زیرا کانی کلسیت که کانی اصلی سنگ-های آهکی است به‌وسیله آب‌های اسیدی خیلی سریع حل می‌شود. Nikodel و همکاران (۲۰۱۰) به بررسی اثر باران اسیدی بر روی سنگ‌های ساختمانی پرداختند و بیان کردند که نمونه‌های با ترکیب غیرکربناتی در برابر محلول‌های اسیدسولفوریک و اسید نیتریک مقام هستند و نمونه‌های با ترکیب غیرکربناته نا مقاوم می-باشند. Zeng و همکاران (۲۰۱۸) به بررسی اثر باران اسیدی بر روی ملات آسفالت امولسیون سیمان پرداختند و بیان کردند که اثرات طولانی‌مدت باران اسیدی باعث خسارت شدید می‌شود. سولفات از آلاینده‌های شاخص مناطق با اتمسفرهای آلوده است که در اثر ترکیب شدن با یون‌های هیدروژن، محلول اسیدسولفوریک ایجاد می‌کند. این محلول از عوامل اصلی و مهم انحلال و زوال‌پذیری سنگ‌های ساختمانی است (Winkler, 1994; Sunil *et al*., 2006). اسیدسولفوریک اثر انحلالی بیشتری نسبت به اسید نیتریک با pHهای یکسان دارد (Nikodel *et al*., 2010). Singh و همکاران (۲۰۰۷) بیان کردند که مقدار pH تأثیر مهمی روی ویژگی‌های مهندسی سنگ‌آهک دارد. Vazquez و همکاران (۲۰۱۶) نیز اثر شش نوع سنگ ساختمانی را در محیط اسیدی بررسی کردند و بیان کردند که اتمسفرهای اسیدی ممکن است به همه شش نوع سنگ ساختمانی آسیب برساند حتی سنگ‌هایی که کلسیم بسیار کمی دارند. Ghanbari و همکاران (۲۰۱۰) به بررسی تأثیر باران اسیدی بر روی آثار باستانی تخت جمشید پرداختند و بیان کردند که باران اسیدی یکی از مهم‌ترین عوامل تخریب و فرسایش نقوش برجسته آثار تاریخی تخت جمشید است؛ بنابراین در دهه‌های اخیر باران‌های اسیدی و آلاینده‌های اسیدی در سطوح ملی و بین‌المللی، آثار مخربی بر روی سلامتی انسان و محیط‌زیست داشته‌اند و آثار باستانی نیز از این قاعده مشتثنی نبوده است (Stern, 2005) و اگر به همین شکل شاهد انقلاب‌های صنعتی بیشتری بدون توجه به آلودگی‌های محیط زیستی به وقوع بپیوندد بشر شاهد تخریب کلی آثار تاریخی در سراسر دنیا خواهد بود.

اثرات باران اسیدی بر روی صنعت حمل‌ونقل

امروزه اثرات باران اسیدی به حدی محسوس شده است که تأثیرات مشهودی بر صنعت‌های مختلف به‌خصوص صنعت حمل‌ونقل گذاشته است. به‌طوری‌که آثار ناشی از باران اسیدی در برخی مناطق که غلظت اسید بالاست به‌وضوح در رنگ ماشین‌های مختلف اثر خود را می‌گذارد و به‌مرورزمان آثار تخریبی پرهزینه‌ای را ایجاد می‌کند. همچنین صنعت‌های راه‌آهن و هواپیما نیز سالانه به دلیل ریزش باران اسیدی مقدار زیادی هزینه می‌کنند. پل‌های فلزی به دلیل فرسایش کارآیی خود را از دست می‌دهند و دچار خسارت می‌شوند. خطوط راه‌آهن و حتی ماشین‌ها به علت قرار گرفتن در فضای آزاد، بیشترین آسیب را از غبار و باران اسیدی، متحمل می‌شوند. رویه آن‌ها در اثر باران اسیدی، ساییدگی شیمیایی پیدا می‌کند. گزارش‌های متعددی در مورد آسیب به رنگ و دیگر پوشش‌های ماشین‌های مختلف وجود دارد. به‌علاوه برخی شواهد نشان می‌دهد که آسیب‌ها اغلب در ماشین‌های تازه رنگ‌شده اتفاق می‌افتد. معمولاً آسیب‌های دائمی هستند و تنها راه‌حل رنگ کردن مجدد آن‌ها است (Rahimzadeh, 2001). هرچند که تأثیر باران اسیدی نیز بر صنعت حمل‌ونقل در حال حاضر نسبت به مقوله‌های دیگر مانند خاک، گیاه و انسان پایین است ولی می‌تواند در آینده چالشی بزرگ را به وجود آورد و هزینه‌های هنگفتی را ایجاد کند ولی درمجموع اهمیت کمتری نسبت به مقوله‌های

دیگر متأثر از باران اسیدی دارد و به همین دلیل کمتر موردتوجه پژوهشگران قرارگرفته است.

نتیجه‌گیری کلی

باران اسیدی یکی از نتایج زیان‌بار آلودگی هواست که در دهه‌های اخیر به‌شدت تشدید شده است و آثار ناشی از آن از حالت نامحسوس و پنهان به حالت محسوس و آشکار در حال نمایان شدن است. نتایج تحقیق نشان داد که میزان بارش‌های اسیدی در دنیا ازنظر زمانی و مکانی رو به افزایش است و این نوع بارش‌ها نیز بیشتر در نواحی صنعتی در دنیا رخ می‌دهد. میزان خسارات ناشی از باران اسیدی در بخش‌های مختلف کره زمین آن‌چنان در حال افزایش است که عملاً به دست آوردن مقدار کمی از این خسارات غیرممکن است و آثار آن در حال تبدیل‌شدن به یک معضل بین‌المللی است و هیچ حدومرزی هم برای اثرگذاری آن در مقوله‌های مختلف در کره زمین وجود ندارد. همچنین نتایج تحقیق نشان داد که خاک‌ها در سراسر دنیا با توجه به اینکه به علت حالت بافری که ایجاد می‌شود و وسیله دفاعی مهمی به اسم کربنات کلسیم دارند ولی باز هم به‌شدت تحت تأثیر باران‌های اسیدی قرار می‌گیرند و تغییرات مشهودی در خصوصیات خاک و همچنین تسریع در فرسایش‌پذیری آن ایجاد می‌شود. سایر مقوله‌های موردبررسی مانند مراتع و جنگل‌ها، محصولات کشاورزی و آب‌های سطحی و غیر سطحی، انسان، ساختمان و سازه‌ها، حمل‌ونقل و حیات‌وحش معمولاً وسیله دفاعی مناسبی هم در برابر تخریب‌های ناشی از باران اسیدی ندارند و به‌مراتب می‌تواند تأثیرپذیری بیشتری هم داشته باشند. همچنین نتایج تحقیقات نشان داد که بزرگ‌ترین قربانی باران اسیدی، انسان است که نسبت به مقوله‌های دیگر به نظر می‌رسد ضعیف‌تر نیز است و تأثیرپذیری بیشتری نسبت به باران اسیدی دارد. با توجه به خطرات باران اسیدی در سراسر دنیا، مطالعات مختلفی بر روی خاک، پوشش گیاهی و جنگل‌ها، محصولات کشاورزی و آب‌های سطحی و غیر سطحی در حال انجام یا انجام‌شده است ولی معمولاً گسترده و جامع در سراسر دنیا نیستند ولی مطالعات بر روی نقش باران اسیدی در ساختمان و سازه‌های مختلف، صنعت حمل‌ونقل و حیات‌وحش خشکی و دریایی و همچنین انسان به‌شدت کم است. به‌طورکلی توصیه می‌شود که محققان و سیاستمداران کشور با توجه به انقلاب‌های صنعتی که روزبه‌روز در تمام دنیا در حال گسترش است و ایران نیز متأثر از آن‌ها است کارگروه مقابله با باران اسیدی زیر نظر نهاد ریاست جمهوری و سازمان محیط‌زیست هر چه زودتر تشکیل شود و قوانینی محکم و دارای ضمانت اجرایی بالا در سطح ملی برای مقابله با باران اسیدی تدوین شود و روش‌های مختلف موفق مقابله با باران اسیدی که در سطح دنیا وجود دارد، شناسایی و در ایران اجرا شود در غیر این صورت با توجه به نقشی که باران اسیدی در آلودگی‌های خاک، آب و گیاه و حیوانات وحشی و اهلی و غیره دارد می‌تواند در آینده‌ای بسیار نزدیک باعث بروز بیماری‌های خطرناک و بسیار پیچیده شود که علم پزشکی هم با توجه به پیشرفت‌هایی که در سراسر دنیا و ایران دارد عاجز و درمانده در درمان این بیماری‌ها باشد. همچنین نتایج تحقیق نشان داد که باران اسیدی می‌تواند حتی باعث تغییر تمدن‌ها نیز شود همان‌طور که درگذشته کمبود آب باعث تغییر تمدن‌ها شده است در آینده باران اسیدی و تغییر در کیفیت آب می‌تواند باعث دگرگونی تمدن‌ها در سراسر دنیا شود؛ بنابراین نیاز مبرم است که برای هماهنگی محققان و سیاستمداران و کارایی بیشتر روش‌های مقابله با باران اسیدی، قانون جامع مقابله با باران اسیدی در ایران تصویب و اجرا شود.

References

Alipour, A., Kavian, A., Soleimani, K. & Gholami, L. (2018). Effect of Different Concentrations of Acid Rain on Soil Splash Erosion Process in Dry and Saturated Soil, *Iran Watershed Science and Engineering*, 12 (42): 60-69. (In Persian)

Appelo, C.A., Postma, J. & Geochemistry, D. (2005). *Groundwater and Pollution*, 2nd edition, Balkema ublisher, Leiden, The Netherlands, 649 Pp.

Ardakani, M, R. (2003). *Ecology*, 4th edition, University of Tehran Press.

Askari, M., Amini, F. & MirMahmoodi, N. (2014). The effect of simulated acid rain on germination, growth, content of elements, protein and photosynthetic pigments of tomato plant, *Journal of Crop and Horticulture Production and Processing*, 4th year, 11:295-303.

Bakhshipour, Z., Asadi A, B., K. Huat B., Sridharan A. & Kawasaki S. (2016). Effect of Acid Rain on Geotechnical Properties of Residual Soils, *Soils and Foundations*, 56(6):1008–1019. (In Persian)

Bear, F. (1964). *Chemistry of the Soil. Reinhold Publisher Corp*. New York, second edition, 515

Beiderwieden, E., Wrzesinsky, T. & Klemm O. (2005). Chemical characterization of fog and rainwater collected at the eastern Andes cordillera. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*. 2005; 863-885.

Bell, J. N. B. & Treshow, M. (2002). *Air Pollution and Plant Life*. Willy & Sons, LTD. New York.

Botkin, D. B. & Keller, A. (2003). *Environmental Science*, 4th Ed. John Wiley and Sons, USA, pp.485-519.

Bruno, F. S., Silva, L. C., Azevedo, A. A. & Aguiar, R. (2006). Effects of simulated acid rain on leaf anatomy and micromorphology of Genipa Americana L. (Rubiaceae). *Brazilian Archives Biology and Technology*, 49: 313-321.

Choi, E. U., Moon, J. H., Lee, W., Son, S.H., Lee, S.G. & Cho, I. H. (2010). The response of antioxidant enzyme activity, growth and yield of pepper and watermelon plants to a single application of simulated acid rain. – J. of Food, *Agriculture and Environment*, 8: 1265-1271.

Cowgil, U. M. (1990). Acid Precipitation: a Review. In: Environmental Problems and

Gibbons, J. H. (1984). Acid rain and transported air pollutants. Washington, D.C. U.S. Congress, *Office of Technology Assessmen*t. OTA-O-204.

Gupta, P. K. (2009). *Laboratory Analysis Methods in Environmental Studies*, Translated by Solutions, Veziroglu, T. N. (eds). *Hemisphere Publication Corporation*, 111-137.

Daneshmandy, M, Sh. & Nabavi Kalat, M. (2015). Single Cross 704 hybrid corn germination reaction in response to acid rain stress, *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 4(2): 57-69.

Erglisman, A. (2001). *Agro Ecology*, Ferdowsi University Press.

Evans, L., Dimitriadis, L. & Hinkley, D.A. (1984). Seed protein quantities of field growth soybeans exposed to simulated acid rain. *New Phytol*. 97:71-76.

Ezzati, R. & Rabbani, G. (2014). The effect of acid rain on growth and physiological responses of wheat, *new findings in life sciences*, 1:70-81.

Ezzatian, V. (2010). Acid rainfall consequences of air pollution, 14th Iranian Geophysical Conference, Institute of Geophysics, *Space Physics*, Tehran, May 13-11, pp, 196-201.

Ferenbaugh, R. W. (1976). Effect of Simulated Acid Rain on Phaseolus vulgaris L. *American. Journal of. Botany*. v. 63, pp. 283-288.

Francis, A. J. (1982). Effects of Acidic Precipitation Acidity on Soil Microbial Processes. *Water Air Soil Pollution*, 18: 375-314.

Gabara, B., Skłodowska, M., Wyrwicka, A., Gli´nska, S. & Gapi´nska, M. (2003). Changes in the ultrastructure of chloroplasts and mitochondria and antioxidant enzyme activity in Lycopersicon esculentum Mill. *leaves sprayed with acid rain. Plant Science* 164: 507–516.

Ghanbari, M, M., Burqai, M., Hesam Hassani, A. & Farjadfard, S. (2010). The impact of acid rains on the environment and antiquities of Persepolis, *Human and Environment Quarterly*, pp. 59-66.

Ghoddousian, M. (2006). *Air Pollution (Resources, Effects and Control Methods)*, University of Tehran Press. (In Persian)

Gholinejad, A., Fahim Dezhban, Y. & Abedi, M. (2019). Study of the effect of acid rain on the degradation of forest ecology and aquatic ecosystems, 3rd National Conference on New Research in Agricultural Engineering, *Environment and Natural Resources*, Pp. 1-9. (In Persian)

Haqirchergani, A., Kavianpour, F. & Eshghaye Malayeri, B. (2006). Studying of the effect of acidic treatments similar to acid rain on some aspects of leaf surface growth and microstructure in bean plant, *Journal of Science*

in University of Tehran, 32(4): 391-397. (In Persian)

Hatami, H. (2011). The effects of acid rain on the environment of agricultural ecosystems and ways to deal with it, National Conference on Climate Change and its impact on agriculture and the environment, pp. 1-5.

Hoveidi, H., Mahdloui, S. & Olya, Aqeel. (2010). Acid rain and its impact on environmental pollution, 4th Specialized Conference on Environmental Engineering, pp. 1-8.

Irshad, A. H., Fayaz Ahmad, S. & Sultan, P. (2011). Effect of sulphur dioxide on the biochemical parameters of spinach (Spinacea oleracia). *Trakia Journal of Sciences* 9(1): 24-27.

Jafarian, V., Salehi, M. & Fotouhi Ghazvini, R. (2016). Effect of Acid Rain on Morphological and Physiological Characteristics of Persian Maple (Acer velutinum Boiss), *process and plant function*, 5(15): 23-32. (In Persian)

Junge, C.E. & Werby, R.T. (1958). The Concentration of Chloride, Sodium, Potassium, Calcium and Sulfate in Rain Water over the United States, J. *Meteorological*. 15: 417-425.

Karami Sorkheh Liejeh, Sh., Gholami, Z. & Veisi, F. (2014). The effect of acid rains on plant growth and development, *The First National Electronic Congress of Biology and Natural Sciences of Iran*, pp. 1-9. (In Persian)

Karami Sorkheh Liejeh, Sh. & Maleki, A. (2014). Soil pollution and ways to prevent it, 2nd National Conference on Agricultural Engineering and Management of Environment and Sustainable Natural Resources, International Conference Center of Shahid Beheshti University of Tehran, pp. 1-11. (In Persian)

King, H. B., Wang, M. K., Zhuang, S. Y., Hwong, J. L. Liu, C. P. & Kang, M. J. (2006). Sorption of sulfate and retention of cations in forest soils of Lien-Hua- Chi watershed in central Taiwan. *Geoderma* 13: 143-153.

Kong, F. X., Liu, Y., Hu, W., Shen, P. P., Zhou, C. L. & Wang, L. S. (2000). Biochemical responses of the mycorrhizae in Pinus massoniana to combined effects of Al, Ca and low pH. *Chemosphere*. 40: 311-318.

Koosha, S. (2015). Acidic and alkaline precipitation's effect on soil properties and sediment yield of different soils by rain simulator. MSc. Thesis, Faculty of Agriculture, Bu Ali Sina University, Hamedan.

Koricheva, J., Roy, S., Vernjic, J., Haukioga. E., Hughes. P. & hanninen. O. (1996). Antioxidant responsesto simulated acid rain and heavy metal deposition in birch seedlings. *Enviromental Pollution.* 95 (2): 249-258.

Kumari, P. & Tomar, Y.S. (2009). Effect of stimulated acid rain on chlorophyll and ascorbic acid contents of Mentha piperata (Pepperiment). *Agric. Sci. Digest*. 29: 1-6.

Lemos, A. D., Rocha, J. A. & Ferra, V. M. (2018). Soil mutagenicity- Effects of acidification and organic pollutants in urban/industrial areas. *Chemosphere*, 209: 666-674.

Manahan, S. E. (2005). Environmental Chemistry, CRC Press, 763 Pp.

McFee, W.W. (1980). Sensitivity of Soil Regions to Long-Term Acid Precipitation. In: Shriner, D.S., CR. Richmond & S.E. Lindberg) eds. Atmospheric sulfur deposition. Ann Arbor Science: Michigan. Pp. 495-506.

Meer Hosaini, S. M., Shahabpour, J. & Haddy Farpur, M. (2008). Effect of acid rain on chemical mobility of calcium, magnesium and copper in soils of Sarcheshmeh region of Kerman province, *Journal of Research in Isfahan University (Basic Sciences*), 32 (3): 151-164.

Ming zhang, Mauri. & McSaveney, J. (2018). Is air pollution causing landslides in China, *Earth and Planetary Science Letters*, 481: 284 – 289.

Neill, P. O. (1993). *Environmental Chemistry*, *Chapman and Hall*, Second Edition, 268Pp.

Nikodel, M., Jamshidi, A. & Hafezi Moqaddas, N. (2010). Investigation of dissolution and deterioration of samples of construction stone in sulfuric acid and nitric acid solutions, *Journal of Geosciences*, 80: 135 – 142.

Pham, H.T., Nguyen, A.T., Nguyen, T.T. & Hens, L. (2020). Stakeholder Delphi-perception analysis on impacts and responses of acid rain on agricultural ecosystems in the Vietnamese upland. *Environment, Development and Sustainability*, 22: 4467-4493.

Rahimzadeh, F. (2001). *Principles of Ecology in Plant Production*, Tabriz University Press. (In Persian)

Saeediyan, H. & Moradi, H, R., 2021. Interaction effect between slope aspect and precipitation intensity in soil infiltration compared to acidic precipitation, *Journal of Environmental Sciences*, 19 (4): 131-144. (In Persian)

Saeediyan, H., Moradi, H, R., Feiznia, S. & Bahramifar, N. (2013). Effect of acid rain and its concentration change in erodibility of

Aghajari Formation (Case study: part of Margha watershed of Izeh city), *Watershed Research*, winter, No. 101. (In Persian)

Saeediyan, H., Moradi, H, R., Feiznia, S. & Bahramifar, N. (2021). Interaction effect between slope aspect and precipitation intensity in runoff and sediment of acidic precipitations. *Journal of Watershed Science and Journal of Iran*; 15 (54): 29-38.

Saeediyan, H., Moradi, H, R., Feiznia, S. & Bahramifar, N. (2021). The effect of acid rain on erodibility in the slope main aspects of Gachsaran Formation (Case study: part of Kuhe Gach watershed of Izeh), *Journal of Rangeland and Watershed Management*, 74 (3): 543-556. (In Persian)

Santos, S., Francisco, B., Campos, L., Silva, L., Azevedo, A. & Aguiar, R. (2006). Effects of Simulated Acid Rain on Leaf Anatomy and Micromorphology of Genipa americana L. (Rubiaceae). *Brazilian archives of biology and technology*. 49 (2): pp. 313-321.

Shaukat, S.S. & Alikhan, O. (2008). Growth and physiological responses of tomato (Licipersicon esculentum L.) to stimulated acid rain. – Pak. J. Bot. 40: 2427-2435.

Shou Quing, N. (2011). Effects of simulated acid rain on growth of wheat (Secale cereal L.) in north China. – Conference Publications 3: 2282-2291.

Silva, L. C., Azevedo, A. A., Silva, E. A. M. & Oliva, M. A. (2005). Effects of simulated acid rain on the growth and anatomy of five Brazilian tree species. *Australian Journal of Botany*. 53: 1-8.

Singh, M. & Agrawal, M. (2004). Impact of simulated acid rain on growth and yield of two cultivars of wheat. *Water, Air, and Soil Pollution*. 152: 71–80.

Singh, T. N., Sharma, P. K. & Khandelwal, M. (2007). Effect of pH on the physico-mechanical properties of marble". *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 66(1): 81-87.

Stern, D. I. (2005). Global Sulfur Emissions from 1850 to 2000. *Chemosphere*, 58: 163-175.

Sunil, B. M., Nayak, S. & Shrihari, S. (2006). Effect of pH on the geotechnical properties of laterite*". Engineering Geology*, 85: 197-203.

Van Breeman, N., Driscoll, C.T. & Mulder, J. (1984). Acidification and Internal Proton Sources in Acidification of Soil and Water. *Nature*, 307, 599-604.

Vazquez, P., Carrizo, L., Thomachot-Schneider, C., Gibeaux, S. & Alonso, F. J. (2016). Influence of surface finish and composition on the deteriorationof building stones exposed to acid atmospheres". *Construction and Building Materials*, 106: 392-403.

Verma, A., Tewari, A. & Azami, A. (2010). An impact of simulated acid rain of different pH-levels on some major vegetable plants in India. *Report and Opinion* 2: 38-40.

Wang, L.H. & Zhou, Q. (2010). Responses of rice seed germination to acid rain stress. *Seed Sci. Technol*. 38: 26-35.

Wang, R., Rehman, SH., Liang, X., Song, Y., SU, Y., Baerson, S. & Zeng, R. (2012). Effects of simulated acid rain on the allelopathic potential of invasive weed Wedelia trilobata. *Allelopathy Journal* 30(1): 23-32.

Wei, H., Liu, Y., Xiang, H., Zhang, J., Li, S. & Yang, J. (2019). Soil pH responses to simulated acid rain leaching in three agrricultural soils. *Sustainability*, 12: 280

Welburn, A. (1990). *Air Pollution and Acid Rain: The Biological Impact*. Longman Publication, 274 Pp.

Winkler, E. M. (1994). *Stone in Architecture*. 3nd Edition, Springer-Verlag, pp. 313.

Zabawi, A.G., Moh Esa, S. & Leong, C.P. (2008). Effects of simulated acid rain on germination and growth of rice plant. J. *Trop. Agric. and Fd*. Sc. 36: 281-286.

Zare Chenijani, N. & Sher Afros, A. (2012). Acid rains and its effects on the environment, 1st National Conference on Agriculture in Difficult Environmental Conditions, Islamic Azad University in Ramhormoz, pp. 1-6.

Zeng, X., Li, Y., Ran, Y., Yang, K., Qu, F. & Wang, P. (2018). Deterioration mechanism of CA mortar due to simulated acid rain. Construction and Building Materials, 168: 1008-1015.

Zhang, J. E., Ouyang, Y. & Ling, D. J. (2007). Impact of simulated acid rain on cation leaching from the Latosol in south China. *Chemospher*. 67: 2131-2137.