اثر باران اسیدی بر پاسخ‌های رشدی و فیزیولوژیکی گندم

رامین عزتی و گلاره ربانی*

دریافت: ۱۳۹۲/۶/۳۱/ پذیرش:۱۳۹۳/۴/۳

گروه علوم گیاهی، دانشکدهٔ علوم زیستی، دانشگاه خوارزمی، تهران
*مسئول مکاتبات: glarekhu@yahoo.com

چکیده. باران اسیدی که شکل مرطوب آلاینده‌های گازی تلقی می‌شود، دراثر ترکیب آلاینده‌هایی مانند CO_2، SO_2 و NO_2 در اتمسفر با بخار آب در ابرها تشکیل می‌شود. با افزایش غلظت این آلاینده‌ها در اتمسفر میزان باران اسیدی نیز روبه‌افزایش است. باران اسیدی، که مخلوطی از اسیدهای سولفوریک، نیتریک و کربنیک است، در خاک موجب تغییراتی مانند کاهش pH، زدایش عناصر غذایی، افزایش آزادسازی فلزات سمی و کاهش حاصل خیزی خاک می‌شود،که نتیجهٔ آن اعمال اثرات منفی بر گیاهان است. در مطالعهٔ حاضر طی یک دوره ۳۲ روزه، گیاهان گندم تحت آبیاری و برگ‌پاشی با ۴ تیمار باران اسیدی حاوی اسیدسولفوریک و اسیدنیتریک با pHهای ۲/۵ و ۳/۵ و ۴/۵ و ۵/۶ قرار گرفتند، درحالی‌که گیاهان شاهد با آب معمولی با pH= ۷/۴ آبیاری شدند. طبق نتایج، گیاهان شاهد در تمام شاخص‌های رشدی و فیزیولوژیکی بهتر از گیاهان تیمار باران اسیدی با pHهای ۲/۵ و ۳/۵ بودند. همچنین گیاهان تیمارشده با باران اسیدی در pHهای ۵/۶ و ۴/۵، به غیر از شدت فتوسنتز، محتوای رنگیزه‌ها و قندهای محلول در دیگر فاکتورها در سطح پایین‌تری از گیاهان شاهد قرار داشتند. همچنین در pHهای ۳/۵ و ۲/۵ ایجاد لکه‌های سفید در هردو سطح برگ، خشک‌شدن رأس و کنارهای برگ نیز مشاهده شد.

واژه های کلیدی. pH ، شاخص‌های رشدی و فیزیولوژیکی، آسیب برگی

Effect of acid rain on growth and physiological responses of wheat

Ramin Ezzati and Gelareh Rabbani*

Received 22.09.2013/ Accepted 24.06.2014

Department of Plant Biology, Faculty of Biological Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran
* Correspondent author: glarekhu@yahoo.com

Abstract. Acid rain, which is a wet form of gaseous air pollutants, is formed when air pollutants such as SO_2, NO_2, CO_2 in the atmosphere combine with water vapor of clouds. With the increase of concentration of these pollutants, the amount of acid rain increases. Acid rain, which is the mixture of sulphuric, nitric and carbonic acids, results in some changes in the soil such as decrease in pH, uncommon nutrient liberation, increase of release of toxic metals and the decline in the fertility of soil. These impacts have negative effects on plants. In the present work wheat plants were irrigated and leaf sprayed with four treatments of acid rain which contain sulphuric and nitrics acids with the pH of 2.5, 3.5, 4.5, 5.6 for a period of 32 days, whereas, control plants were irrigated and leaf sprayed by normal water with a pH of 7.4. According to the results we have obtained, control plants in whole growth and physiological indexes were better than those plants treated by acid rains with the pH of 2.5 and 3.5. Moreover, the plants treated by acid rain with the pH of 4.5 and 5.6, were lower in other factors except photosynthetic rate, pigment content and carbohydrate content than control plants. Also acid rains with the pH of 2.5 and 3.5 caused white spots in both surfaces of leaf and tip and border atrophy.

Keywords. pH, growth and physiological indexes, leaf damage

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1393.1.1.7.7]
[DOI: 10.29252/nbr.1.1.70]

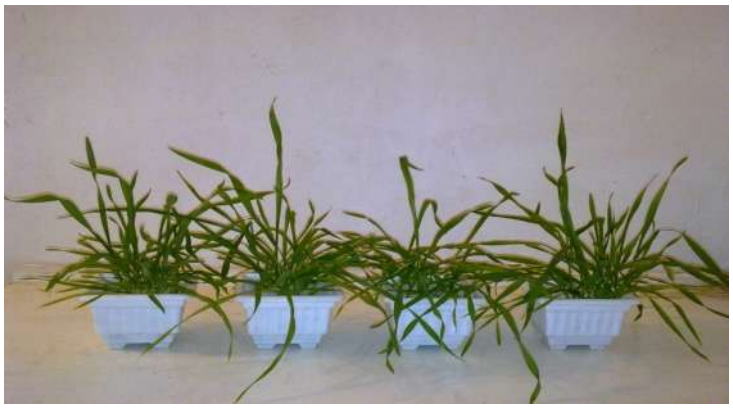
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1393.1.1.7.7]
[DOI: 10.29252/nbr.1.1.70]

مقدمه

pH باران معمولی تقریباً ۵/۵ است (Kumari & Tomar, 2009). اما افزایش میزان آلاینده‌هایی مثل SO_2 و NO_2 که با تشکیل اسیدهای سولفوریک و نیتریک همراه هستند، سبب کاهش اسیدیتهٔ باران می‌شود، که اثر مضری بر محصولات کشاورزی دارد (Shou-Quing, 2011). این اثرات شامل کاهش فتوسنتز مرتبط با کاهش محتوای کلروفیل برگ‌ها، کاهش رشد، افزایش حساسیت گیاه به خشکی و افزایش بیماری‌های کلروزیز و نکروزیز هستند. در وضعیت اسیدی تحرک فلز سنگین سمی آلومینیم درخاک زیاد می‌شود و به گیاهان آسیب می‌رساند (Verma *et al.,* 2010). افزایش اثرات باران اسیدی با افزایش دورهٔ در معرض‌بودن، مقدار باران اسیدی و افزایش اسیدیته می‌شود (Shou-Quing, 2011). این اثرات شامل کاهش محصول، آسیب به برگ و سمیت در اثر آزادسازی آلومینیم و کاهش دریافت عناصر پرمصرف مانند فسفر و پتاسیم هستند و نیز دانه‌رست‌ها نسبت به گیاهان مسن به سمیت آلومینیم حساس‌تر هستند (Susilawati *et al.,* 2011). پاسخ فتوسنتزی برگ‌ها به باران اسیدی بین گونه‌ها متفاوت است. اثرات باران اسیدی بر برگ‌ها شامل کاهش فتوسنتز، کاهش رشد، افزایش حساسیت به خشکی و افزایش بیماری است. اسیدی‌شدن خاک موجب کاهش رشد ریشه می‌شود و سمیت آلومینیم سبب کاهش فسفر (بیشترین عنصر پر مصرف مهم برای رشد گیاه) می‌شود. اثر باران اسیدی بر خاک در راه های گوناگون است شامل کاهش در تعداد میکروارگانیسم‌های مفید. بنابراین کاهش در بیومس و رشد محصول، زدایش تدریجی پتاسیم (مادهٔ غذایی گیاه) و انباشتگی عنصر سمی روی ازطریق باران اسیدی (Verma *et al.,* 2010). باران اسیدی سبب کاهش محصول، آسیب به برگ و سمیت آلومینیم می‌شود (Susilawati *et al.,* 2011). 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). در pH= ۳ میزان آستانهٔ آسیب به پهنک برگ مشاهده می‌شود (Shou-Quing, 2011).

مواد و روش‌ها

در ابتدا با استفاده از اسیدسولفوریک ۹۶٪، اسید نیتریک ۶۵٪، آب مقطر و pH متر دیجیتالی مدل WTW pH 320 با الکترود شیشه‌ای، باران اسیدی با pH های ۲/۵ و ۳/۵ و ۴/۵ و ۵/۶ تهیه شد و بذرهای گندم از ابتدای کشت در پرلیت، تحت آبیاری و اسپری برگی با باران اسیدی در pHهای مختلف قرار گرفتند. گیاهان شاهد با آب معمولی با pH= ۷/۴ آبیاری شدند. به منظور بررسی انحصاری تأثیر باران اسیدی بر گیاهان تمام نمونه‌های شاهد و تیمار باران اسیدی در فضایی پاک و دور از هر گونه وسایل نقلیه موتوری جهت جلوگیری از اثر آلودگی جاده‌ای و ایجاد خطا رشد یافتند. گیاهان شاهد و تیمار باران اسیدی تحت تابش نور خورشید قرار داشتند و در شرایط کشت بدون خاک در محیط پرلیت با محلول غذایی هویت (Hewitt) تغذیه شدند و در پایان دوره شاخص‌های رشدی مانند طول، وزن تر برگ و وزن خشک‌برگ و سطح برگ اندازه‌گیری شدند. در ادامه فاکتورهای بیوشیمیایی مانند سنجش فلزات سنگین، اندازه‌گیری رنگیزه‌ها مانند کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئید و محتوای قندهای محلول و شدت فتوسنتز سنجش شدند. تمام گیاهان شاهد و تحت تیمار باران اسیدی در شرایط بدون خاک در محیط پرلیت با محلول غذایی هویت کشت شدند. در شکل‌های ۱ و ۲ به‌ترتیب تصویر گیاهان شاهد و گیاهان تحت تیمار باران اسیدی با pHهای مختلف مشاهده می‌شود، همچنین شکل ۳ تصویری از برگ گیاهان تیمار باران اسیدی pH= ۲/۵ را نشان می‌دهد.



شکل ۱- تصویر گیاهان شاهد.

Fig. 1. Control plants.

شکل ۲- تصویر گیاهان تیمار باران اسیدی با pH های مختلف.

Fig. 2. Acid rain treatmented plants at different pH.

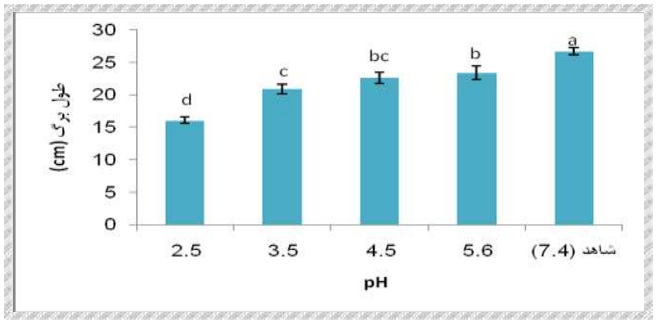
شکل ۳- برگ گیاهان تیمار باران اسیدی با pH= ۲/۵.

Fig. 3. Acid rain treatmented plant's leaves at pH= 2.5.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.24236330.1393.1.1.7.7]

[DOI: 10.29252/nbr.1.1.70]

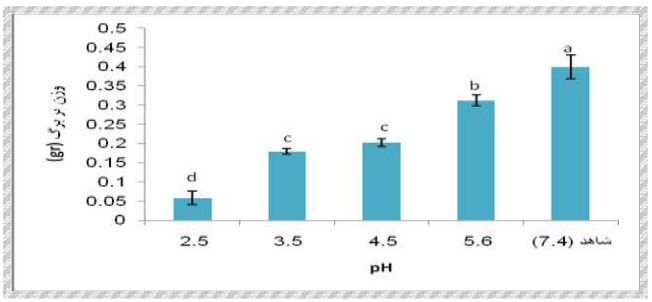


شکل ۴- طول‌برگ گیاهان شاهد و تحت تیمار باران اسیدی.

Fig. 4. Leaf length of control plants and acid rain treatmented plants.

نتایج

با توجه به شکل ۴، طول برگ در گیاهان شاهد بیشتر از گیاهان تحت تیمار باران اسیدی است و در تیمارهای باران اسیدی نیز تیمار pH= ۲/۵ کمترین طول را دارند و پس از آن به‌ترتیب از گیاهان تحت تیمار pH= ۳/۵ تا تیمار pH= ۵/۶، طول برگ درحال افزایش است. به نحوی‌که تیمار pH= ۵/۶ بعد از شاهد بیشترین طول برگ را دارد. همچنین دو تیمار pH= ۴/۵ و pH= ۵/۶ باران اسیدی به لحاظ طول برگ نسبت به سایر تیمارها مشابه هستند.



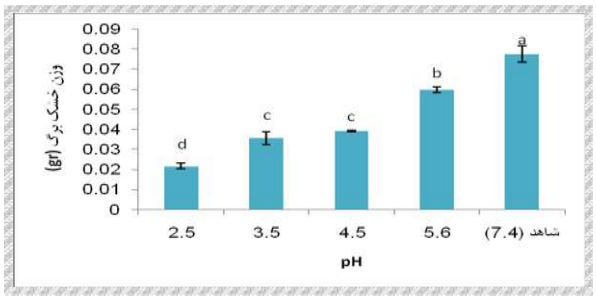
شکل ۵- وزن تربرگ گیاهان شاهد و تحت تیمار باران اسیدی.

Fig. 5. Leaf fresh weight of control plants and acid rain treatmented plants.

بر اساس شکل ۵ مشخص است که گیاهان شاهد، بیش‌ترین وزن تر برگ را در بین سایر تیمارها داراست و بعد از شاهد به ترتیب تیمارهای pH= ۵/۶، pH= ۴/۵ و pH= ۳/۵ باران اسیدی بیشترین وزن تر برگ را

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1393.1.1.7.7]
[DOI: 10.29252/nbr.1.1.70]

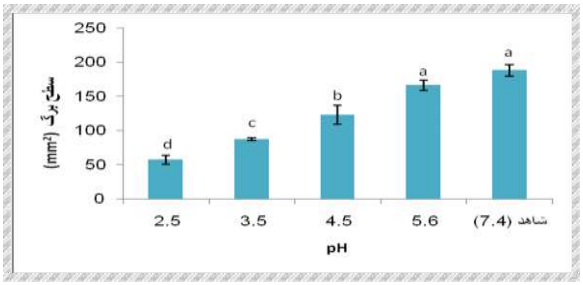
دارند. گیاهان تیمار pH= ۲/۵ باران اسیدی نیز کمترین وزن‌تر برگ را دارند، در بین تیمارها دو تیمار ۳/۵ =pH و pH= ۴/۵ مشابه هستند.



شکل ۶- وزن خشک برگ گیاهان شاهد و تحت تیمار باران اسیدی.

Fig .6. Leaf dry weight of control plants and acid rain treatmented plants.

طبق شکل ۶ گیاهان شاهد دارای بیشترین وزن خشک برگ در بین سایر تیمارها هستند و سپس به ترتیب تیمارهای pH= ۵/۶ ، pH= ۴/۵ و pH= ۳/۵ بیشترین وزن خشک برگ را دارند. گیاهان تحت تیمار pH= ۲/۵ باران اسیدی نیز کمترین وزن خشک برگ را دارند، در بین تیمارها دو تیمار ۵/ pH= ۳ و pH= ۴/۵ مشابه هستند.

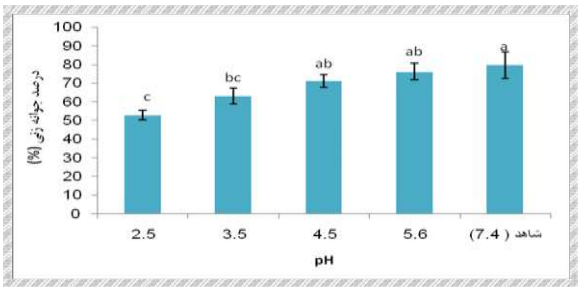


شکل ۷- سطح‌برگ گیاهان شاهد و تحت تیمار باران اسیدی.

Fig. 7. Leaf surface area of control plants and acid rain treatmented plants.

طبق شکل ۷ گیاهان شاهد دارای سطح برگ بیشتری در مقایسه با تیمارهای باران اسیدی هستند و بین تیمارهای باران اسیدی به‌ترتیب تیمارpH=۵/۶ بیشترین و تیمار pH= ۲/۵ کمترین سطح برگ را دارا هستند.

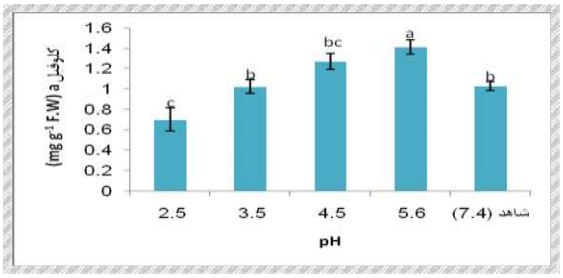
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1393.1.1.7.7]
[DOI: 10.29252/nbr.1.1.70]



شکل ۸- درصدجوانه‌زنی در گیاهان شاهد و تحت تیمار باران اسیدی.

Fig. 8. The percentage of germination in control plants and acid rain treatmented plants.

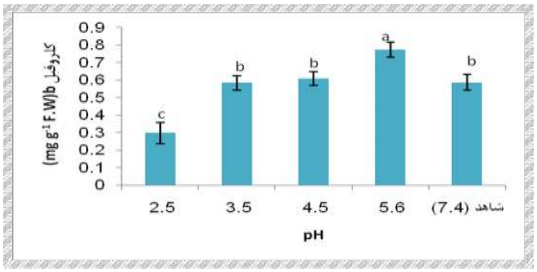
تعیین درصد جوانه‌زنی در گیاهان شاهد و تیمارهای باران اسیدی در شکل ۸ نشان می‌دهد که گیاهان شاهد و تحت تیمار pH= ۲/۵ به ترتیب بیشترین و کمترین درصد جوانه‌زنی را دارند، درصد جوانه‌زنی از تیمار pH= ۳/۵ تا تیمار pH= ۵/۶ روبه افزایش است و دو تیمار pH= ۴/۵ و pH= ۵/۶ در درصد جوانه‌زنی مشابه هستند.



شکل ۹- محتوای کلروفیل a در گیاهان شاهد و تحت تیمار باران اسیدی.

Fig. 9. Chlorophyll a content of control plants and acid rain treatmented plants.

با توجه به نمودار ۶ تیمارهای باران اسیدی با pH های ۵/۶ و ۴/۵ به‌ترتیب بیشترین میزان این رنگیزه را دارند، درحالی‌که تیمار pH= ۲/۵ دارای کمترین محتوای کلروفیل a است. گیاهان شاهد و تیمار pH= ۳/۵ باران اسیدی نیز ازنظر محتوای کلروفیل a به هم شبیه هستند، با توجه به این‌که کلروفیل a در گیاهان شاهد کمی بیشتر از تیمار pH= ۳/۵ باران اسیدی است.

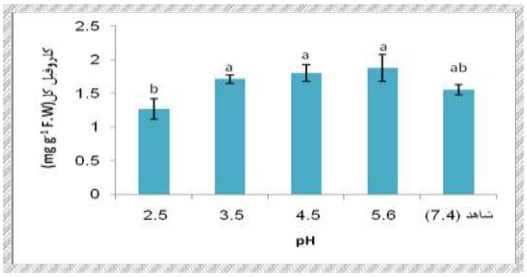


شکل ۱۰- میزان کلروفیل b در گیاهان شاهد و تحت تیمار باران اسیدی.

Fig. 10. Chlorophyll b content of control plants and acid rain treatmented plants.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1393.1.1.7.7]
[DOI: 10.29252/nbr.1.1.70]

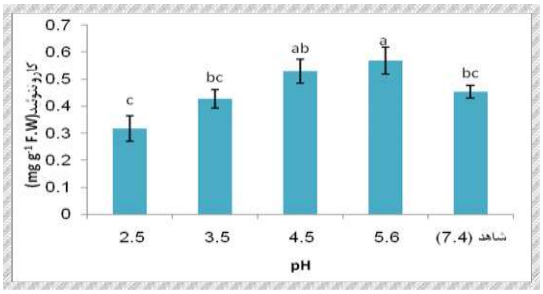
با توجه به شکل ۱۰ در تیمار باران اسیدی با pH= ۳/۵ بیشترین میزان کلروفیل b دیده می‌شود، و بعد از آن به‌ترتیب تیمارهای pH= ۴/۵ و شاهد نسبت به تیمارهای دیگر کلروفیل b بالاتری دارند. در تیمار pH= ۲/۵ نیز کمترین میزان از این رنگیزه دیده می-شود.



شکل ۱۱- محتوای کلروفیل کل در گیاهان شاهد و تحت تیمار باران اسیدی.

Fig. 11. Total Chlorophyll content of control plants and acid rain treatmented plants.

با توجه به شکل ۱۱ محتوای کلروفیل کل در گیاهان تیمار۵/۶ =pH باران اسیدی بالاتر از دیگر تیمارهاست و پس از آن به‌ترتیب تیمارهای pH= ۴/۵ و pH= ۳/۵ باران اسیدی کلروفیل‌کل بیشتری از بقیهٔ تیمارها دارند. بین دو تیمار شاهد و pH= ۲/۵ اسیدی نیز کمترین محتوای این رنگیزه در تیمار باران اسیدی با pH= ۲/۵ دیده می‌شود. تیمارهای مشابه نیز pH= ۴/۵ و pH= ۳/۵ هستند.

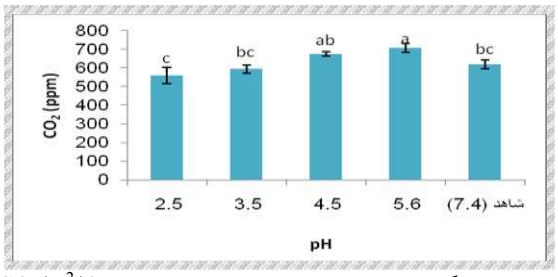


شکل ۱۲- محتوای کاروتنوئید در گیاهان شاهد و تحت تیمار باران اسیدی.

Fig. 12. Carotenoid content of control plants and acid rain treatmented plants.

طبق شکل ۱۲ محتوای کاروتنوئید در گیاهان تیمار pH= ۵/۶ باران اسیدی بیشتر از دیگر گیاهان است و پس از آن به ترتیب تیمارهای pH= ۴/۵ و قرار دارند. بین دو تیمار pH= ۳/۵ و pH= ۲/۵ نیز کمترین محتوای این رنگیزه در تیمار pH= ۲/۵ باران اسیدی دیده می‌شود. تیمارهای مشابه نیز شاهد و pH= ۳/۵ هستند، گرچه محتوای کاروتنوئید در گیاهان شاهد کمی بیشتر از تیمار pH= ۳/۵ است.

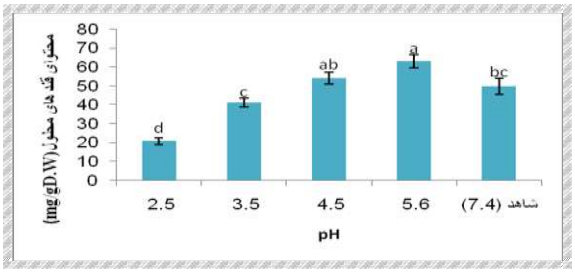
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1393.1.1.7.7]
[DOI: 10.29252/nbr.1.1.70]



شکل ۱۳- شدت‌فتوسنتز گیاهان شاهد و تحت تیمار باران اسیدی برحسب ($\mu mol\ CO_2/m^2/s$).

Fig. 13. Photosynthetic rate of control plants and acid rain treatment plants.

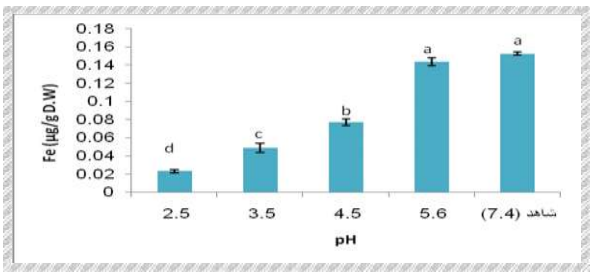
شکل ۱۳ شدت فتوسنتز برحسب CO_2 متصاعدشده از گیاهان در طی تنفس را نشان می‌دهد؛ بعد از گیاهان تیمار ۵/۶ =pH باران اسیدی بیشترین شدت فتوسنتز به‌ترتیب در تیمارهای ۴/۵ =pH و شاهد و سپس در تیمار ۳/۵ =pH دیده می‌شود. دو تیمار ۲/۵ =pH باران اسیدی نیز کمترین شدت فتوسنتز را در بین تمام تیمارها دارند. دو تیمار مشابه ازلحاظ شدت فتوسنتز شاهد و ۳/۵ =pH باران اسیدی هستند که شدت فتوسنتز در شاهد کمی بیشتر از تیمار ۳/۵ =pH باران اسیدی است.



شکل ۱۴- محتوای قندهای محلول در گیاهان شاهد و تحت تیمار باران اسیدی.

Fig. 14. Soluble sugars content of control plants and acid rain treatmented plants.

با توجه به شکل ۱۴ محتوای قندهای محلول در گیاهان تیمار۵/۶ =pH بیشتر از سایر گیاهان است و بعد از آن به‌ترتیب تیمارهای ۴/۵ =pH، شاهد و ۳/۵ =pH قرار دارند. پایین‌ترین محتوای قند محلول در گیاهان تیمار باران اسیدی با ۲/۵ =pH دیده می‌شود.

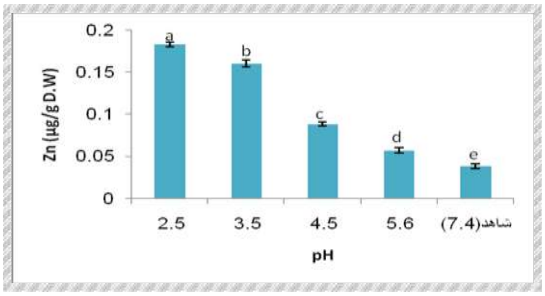


شکل ۱۵- محتوای فلز آهن در برگ گیاهان شاهد و تحت تیمار باران اسیدی.

Fig. 15. Iron content of control plants and acid rain treatmented plants.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1393.1.1.7.7]
[DOI: 10.29252/nbr.1.1.70]

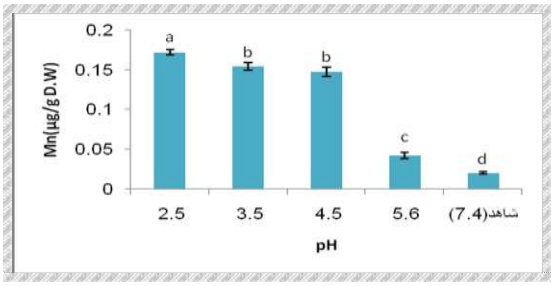
با توجه به شکل ۱۵ محتوای فلز آهن در گیاهان شاهد کمی بیشتر از گیاهان تیمار۵/۶ =pH باران اسیدی است و با کاهش pH در گیاهان تیمار باران اسیدی محتوای فلز آهن کاهش یافت. گیاهان شاهد بیشترین و تیمار ۲/۵ =pH کمترین محتوای آهن را دارند. تیمارهای ۳/۵ =pH و ۴/۵ =pH از نظر محتوای پایین آهن مشابه و دو تیمار شاهد و ۵/۶ =pH نیز با محتوای بالای آهن به هم نزدیک هستند.



شکل ۱۶- محتوای فلز روی در برگ گیاهان شاهد و تحت تیمار باران اسیدی.

Fig. 16. Zinc content of control plants and acid rain treatmented plants.

با توجه به شکل ۱۶ گیاهان تیمار ۲/ ۵ =pH دارای بیشترین محتوای فلز روی هستند و بعد از این گیاهان تیمار ۳/۵ =pH قرار دارد، تیمار۵/۶ =pH و شاهد محتوای منگنز پایین‌تری نسبت به تیمارهای دیگر دارند و کمترین محتوای فلز منگنز در گیاهان شاهد دیده می‌شود.



شکل ۱۷- محتوای فلز منگنز در برگ گیاهان شاهد و تحت تیمار باران اسیدی.

Fig. 17. Manganese content of control plants and acid rain treatmented plants.

مطابق شکل ۱۷ گیاهان تیمار ۲/۵ =pH دارای بیشترین محتوای فلز منگنز هستند و سپس به‌ترتیب تیمارهای ۳/۵ =pH و ۴/۵ =pH قرار دارند، تیمار ۵/۶ =pH و سپس شاهد محتوای منگنز پایین‌تری نسبت به تیمارهای دیگر دارند.

بحث

باران اسیدی بر محتوای کلروفیل و اسیدآسکوربیک برگ‌ها در pH های ۲/۵ و ۳/۵ اثرات منفی اعمال می کند که این اثرات با کاهش pH و دورهٔ تیمار تشدید می‌شوند (Kumari & Tomar, 2009).

pHهای ۳ و ۴ باران اسیدی سبب کاهش کلیهٔ شاخص‌ها در گندم شامل میزان محصول، رنگیزه‌های

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1393.1.1.7.7]
[DOI: 10.29252/nbr.1.1.70]

فتوسنتزی، قندهای محلول، پروتئین دانه و ویژگی‌های اپیدرمی برگ می‌شوند (Kausar & Khan, 2009). باران اسیدی با اسیدیتهٔ ۳ و ۴ بر فرآیندهای فیزیولوژیکی (رشد جوانه‌زنی) و بیوشیمیایی (رنگیزه‌ها، پراکسیداز و کاتالاز) در گیاه *Lolium perenne* L. از تیرهٔ گندمیان نسبت به باران اسیدی با pH= ۵/۷ اثرات منفی اعمال می‌کند. دربارهٔ دو آنزیم پراکسیداز و کاتالاز به دلیل نقش حفاظتی آنها دربرابر تنش‌های اکسیداتیو باران اسیدی موجب افزایش فعالیت می‌شود که درباب پراکسیداز بیش‌تر است، زیرا این آنزیم نسبت به تنش باران اسیدی حساس‌تر از کاتالاز است (Simona *et al.*, 2009). باران اسیدی با اسیدیتهٔ ۳/۵ در برنج در مقایسه با باران معمولی موجب کاهش در شاخص‌هایی مانند طول‌گیاه، درصد جوانه‌زنی، تعداد جوانه و برگ می‌شود (Zabawi *et al.*, 2008). باران اسیدی در گیاه *Ocimum sanctum* L. موجب کاهش در تعداد سنبله، وزن دانه، کل محصول و میزان قند نواحی برگی به ویژه در pH= ۲/۵ می‌شود و در گیاه *Mentha pipierita* سبب کاهش کلروفیل و اسید آسکوربیک برگ‌ها در pH های ۲/۵ و ۳/۵ می شود (Kumari & Tomar, 2009). کاربرد برگی باران اسیدی با اسیدیتهٔ ۳/۵ در فلفل موجب کاهش در وزن خشک ساقه و برگ، وزن تر میوه، تعداد میوه و نیز توسعهٔ نشانه‌های بیماری، کاهش رشد و ازدست‌رفتن محصول در مرحلهٔ رشد میوه و دانه‌رست در مقایسه با گیاهان شاهد تحت باران با pH= ۵/۵ شد (Choi *et al.*, 2010). باران اسیدی بر شاخص‌های فیزیولوژیکی، مورفولوژیکی و میزان محصول گندم اثرات منفی اعمال می‌کند و ریزمغذّی‌ها به مثابهٔ کاهش‌دهندهٔ اثر باران اسیدی در گیاه گندم عمل می‌کنند (Sabir *et al.*, 2012). نتایج حاصل از اعمال باران اسیدی بر آناتومی و میکرومورفولوژی برگ گیاه *Genipa americana* L. از تیره روناس شامل نقاط نکروزی بین رگبرگ، متلاشی‌شدن سلول‌های اپیدرم و مزوفیل، هیپرتروفی سلول‌های پارانشیم اسفنجی، انباشتگی ترکیبات فنولیک و مشاهده دانه‌های نشاسته در برگ‌های درمعرض باران اسیدی است (Bruno *et al.*, 2006). باران اسیدی با pHهای ۳ و ۴ در گیاه گوجه‌فرنگی موجب ایجاد خال‌های سفید 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 غیرکاهنده به‌ویژه در pH= ۳ شد. کاهش در قندهای غیرکاهنده بیشتر از کاهش در قندهای کاهنده بود؛ همچنین باران اسیدی موجب انباشتگی فنول‌های محلول به‌عنوان سازوکار القایی در برابر تنش باران اسیدی شد (Shaukat & Alikhan, 2008). در این مطالعه تیمار باران اسیدی به‌ویژه در pHهای پایین (۲/۵ و ۳/۵) به کاهش تمامی فاکتورهای بیوشیمیایی، فیزیولوژیکی و رشد گیاه گندم منجر شد که با توجه به نمودارها کاهش در طول برگ، وزن تر برگ، وزن خشک برگ، درصد جوانه‌زنی، محتوای رنگیزه‌ها، شدت فتوسنتز و محتوای فلزات سنگین مشاهده شد و نیز موجب آسیب‌هایی به پهنک برگ شد؛ از جمله کلروزیز و نکروزیز که علت این مسئله زدایش عناصر غذایی از خاک، کاهش حاصل‌خیزی خاک و انباشتگی عناصر سمی در خاک است. این عوامل با اختلال در فرایندهای فیزیولوژیکی گیاه به کاهش فتوسنتز در گیاه می‌انجامد که نتیجهٔ آن کاهش رشد گیاه از جمله در طول و وزن، سپس کاهش در فعالیت‌های بیوشیمیایی گیاه مانند محتوای رنگیزه‌ها، شدت فتوسنتز، جذب فلزات سنگین و نیز درصد جوانه-زنی است.

نتیجه‌گیری

باران اسیدی یکی از مشکلات محیطی در برخی کشورها است که موجب کاهش محصول، آسیب به برگ و سمیت آلومینیم می‌شود و نیز بر کلسیم قابل تعویض

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1393.1.1.7.7]
[DOI: 10.29252/nbr.1.1.70]

خاک تأثیرگذار است. افزایش باران اسیدی سبب تغییر در ویژگی‌های شیمیایی خاک می‌شود. درکنار باران اسیدی CO_2 حاصل از فعالیت میکروبی نیز موجب پیش‌برد تولید اسیدکربنیک می‌شود که نتیجهٔ آن هم کاهش pH خاک است (Susilawati *et al.,* 2011). خاک در شرایط اسیدی شروع به آزادسازی آلومینیم می‌کند که علاوه بر سمی‌بودن برای ریشهٔ گیاه مزاحم دریافت عناصرغذایی به‌ویژه پتاسیم و فسفر می‌شود. رسوب اسید سبب زدایش عناصر غذایی ضروری مانند کلسیم و منیزیم از خاک‌ها و نیز آزادسازی فلزات سمی مانند آلومینیم می‌شود که درنهایت به کاهش محصول و آسیب به محصول آن می‌انجامند. رسوب اسیدهای نیتریک و سولفوریک علاوه بر تغییر در خاک جنگل‌ها، عناصر غذایی ضروری را برای گیاه فراهم می‌کند. اما دو خطر بزرگ رسوب اسید تحرک فلزات سمی مانند آلومینیم و زدایش کلسیم، منیزیم و عناصر غذایی دیگر ضروری برای رشد گیاه از خاک است. مشکل خاک‌های اسیدی، از-دست‌رفتن عناصر غذایی خاک و کانوپی گیاه، نیز تجزیه مواد گیاهی است. آسیب بافتی به رویش انواع گونه‌های گیاهی در آستانهٔ pH بین ۲ تا ۳/۶ رخ می‌دهد. نیتروژن و گوگرد باران ممکن است اثرات مثبتی بررشد اعمال کنند که بستگی به وضعیت عناصر غذایی خاک، ظرفیت‌بافری، شرایط رشد و نیاز غذایی گیاه دارد (Gibbons, 1984). در این تحقیق مشخص شد با کاهش pH باران اسیدی گیاهان گندم تحت تنش قرار می‌گیرند و نیز به علت زدایش کاتیون‌های مغذی از پرلیت آبیاری‌شده با محلول غذایی هویت در اثر باران اسیدی کلیه فاکتورهای رشد از جمله طول برگ، وزن - تر برگ، وزن خشک برگ، سطح برگ و نیز درصد جوانه‌زنی کاهش می‌یابند که در شکل‌ها مشخص است. همچنین کاهش در فرایندهای بیوشیمیایی مانند سنتز قندهای محلول در گیاه نیز به علت کاهش در محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی، شدت فتوسنتز و نیز کاهش محتوای فلز آهن است.

تشکر و قدردانی

مقاله حاضر نتیجه پروژه‌ای است که با حمایت دانشکده علوم زیستی دانشگاه خوارزمی انجام گردید که بدینوسیله تشکر و قدردانی می‌گردد.

References

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

Choi, E.U., Moon, J.H., Lee, W., Son, S.H., Lee, S.G. and 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.

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

Kausar, S. and Khan, A.A. 2009. Interaction of simulated acid rain and seed gall nematode *Anguina tritici* on wheat. – Biology and Medicine 1: 100-106.

Kumari, P. and 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.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1393.1.1.7.7]
[DOI: 10.29252/nbr.1.1.70]

Sabir, S.R., Hussain, M. and Aqeel, M. 2012. – Morpho physiological responses of wheat (*Triticum aestivum* L.) to stimulated acid rain and micronutrients. Department of Botany, Uni. of Agriculture, Faisalabad.

Shaukat, S.S. and 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.

Simona, I., Eugenia, G. and Laslo, V. 2009. The effects of stimulated acid rain on growth and biochemistry. Process in grass. – Lucrari Scientific 52: 277-283.

Susilawati, K., Hilimi, M.l., Azira, S., Ahmed, O.H. and Majid, N.M. 2011. Upmeanet acid deposition project: soil and plant responses simulated acid rain treatments. – Rehabiliation of Tropical Rainforest Ecosystems. 24-25 October. Kuala Lampur.

Verma, A., Tewari, A. and 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.

Zabawi, A.G., Moh Esa, S. and 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.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.24236330.1393.1.1.7.7]

[DOI: 10.29252/nbr.1.1.70]