

## 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، دانشکده علوم زیستی، دانشگاه خوارزمی، تهران

\*مسئول مکاتبات: glarekhu@yahoo.com

**چکیده.** باران اسیدی که شکل مرطوب آلاینده‌های گازی تلقی می‌شود، در اثر ترکیب آلاینده‌هایی مانند  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}_2$  و  $\text{NO}_2$  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 نتیجه آن اعمال اثرات منفی بر گیاهان است. در مطالعه 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، درحالی که 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 تیمار شده 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، خشک شدن رأس و کناره‌های برگ نیز مشاهده شد.

**واژه های کلیدی.** pH، شاخص‌های رشدی و فیزیولوژیکی، آسیب برگ

## 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  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{CO}_2$  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

## مقدمه

pH باران معمولی تقریباً ۵/۵ است (Kumari & Tomar, 2009). اما افزایش میزان آلاینده‌هایی مثل SO<sub>2</sub> و NO<sub>2</sub> که با تشکیل اسیدهای سولفوریک و نیتریک همراه هستند، سبب کاهش اسیدیته باران می‌شود، که اثر مضر 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 در خاک زیاد می‌شود و به گیاهان آسیب می‌رساند (Verma *et al.*, 2010). افزایش اثرات باران اسیدی با افزایش دوره در معرض بودن، 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. اسیدی شدن خاک موجب کاهش رشد ریشه می‌شود و سمیت آلومینیم سبب کاهش فسفر (بیشترین عنصر پرمصرف مهم برای رشد گیاه) می‌شود. اثر باران اسیدی بر خاک در راه‌های گوناگون است شامل کاهش در تعداد میکروارگانیسم‌های مفید. بنابراین کاهش در بیومس و رشد محصول، زدایش تدریجی پتاسیم (ماده غذایی گیاه) و انباشتگی عنصر سمی روی از طریق 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 آستانه 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 pH WTW 320 با الکتروود شیشه‌ای، باران اسیدی با pH های ۲/۵ و ۳/۵ و ۴/۵ و ۵/۶ تهیه شد و بذره‌های گندم از ابتدای کشت در پرلیت، تحت آبیاری و اسپری برگ‌ها با باران اسیدی در pH های 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 خشک برگ 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 به ترتیب تصویر گیاهان شاهد و گیاهان تحت تیمار باران اسیدی با pH های 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.



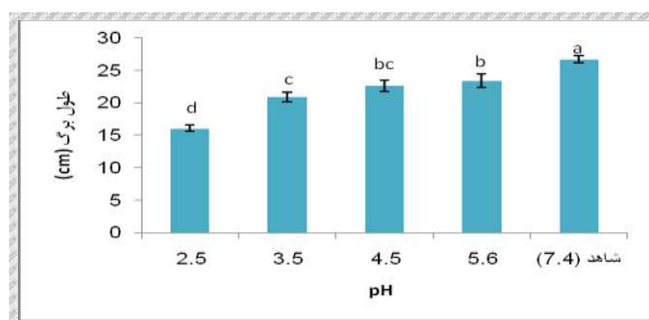
شکل ۲- تصویر گیاهان تیمار باران اسیدی با pH های مختلف.

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



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

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



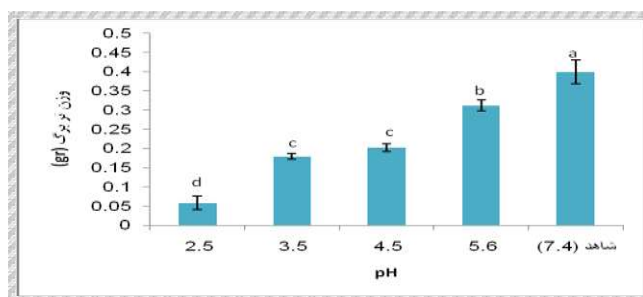
شکل ۴- طول برگ گیاهان شاهد و تحت تیمار باران اسیدی.

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

## نتایج

بیشترین طول برگ را دارد. همچنین دو تیمار  $\text{pH} = 4/5$  و  $\text{pH} = 5/6$  باران اسیدی به لحاظ طول برگ نسبت به سایر تیمارها مشابه هستند.

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  $\text{pH} = 2/5$  کمترین طول را دارند و پس از آن به ترتیب از گیاهان تحت تیمار  $\text{pH} = 3/5$  تا تیمار  $\text{pH} = 5/6$  طول برگ در حال افزایش است. به نحوی که تیمار  $\text{pH} = 5/6$  بعد از شاهد



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

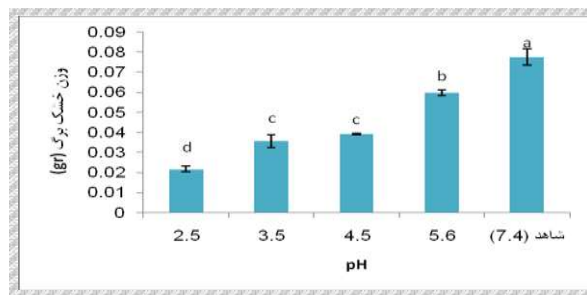
Fig. 5. Leaf fresh weight of control plants and acid rain treated plants.

بعد از شاهد به ترتیب تیمارهای  $\text{pH} = 5/6$ ،  $\text{pH} = 4/5$  و  $\text{pH} = 3/5$  باران اسیدی بیشترین وزن تر برگ را

بر اساس شکل ۵ مشخص است که گیاهان شاهد، بیشترین وزن تر برگ را در بین سایر تیمارها داراست و

دارند. گیاهان تیمار  $pH=2/5$  باران اسیدی نیز کمترین

وزن تر برگ را دارند، در بین تیمارها دو تیمار  $pH=3/5$  و  $pH=4/5$  مشابه هستند.

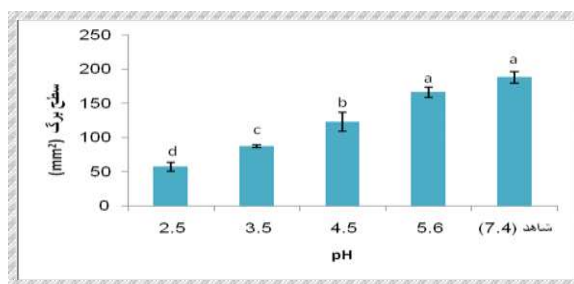


شکل ۶- وزن خشک برگ گیاهان شاهد و تحت تیمار باران اسیدی.

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

طبق شکل ۶ گیاهان شاهد دارای بیشترین وزن خشک برگ در بین سایر تیمارها هستند و سپس به ترتیب تیمارهای  $pH=5/6$ ،  $pH=4/5$  و  $pH=3/5$  بیشترین وزن خشک برگ را دارند.

گیاهان تحت تیمار  $pH=2/5$  باران اسیدی نیز کمترین وزن خشک برگ را دارند، در بین تیمارها دو تیمار  $pH=3/5$  و  $pH=4/5$  مشابه هستند.

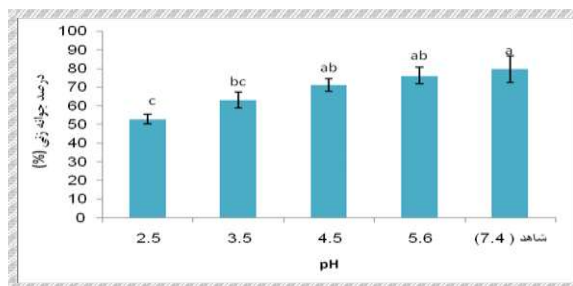


شکل ۷- سطح برگ گیاهان شاهد و تحت تیمار باران اسیدی.

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

تیمارهای باران اسیدی به ترتیب تیمار  $pH=5/6$  بیشترین و تیمار  $pH=2/5$  کمترین سطح برگ را دارا هستند.

طبق شکل ۷ گیاهان شاهد دارای سطح برگ بیشتری در مقایسه با تیمارهای باران اسیدی هستند و بین

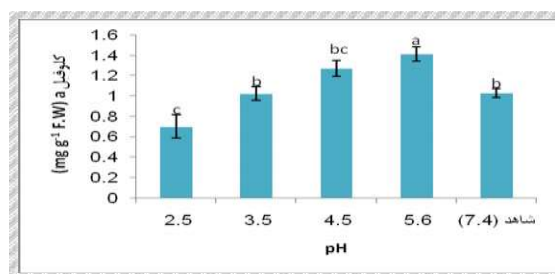


شکل ۸- درصد جوانه زنی در گیاهان شاهد و تحت تیمار باران اسیدی.

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

تعیین درصد جوانه زنی در گیاهان شاهد و تیمارهای باران اسیدی در شکل ۸ نشان می دهد که گیاهان شاهد و تحت تیمار  $pH= 2/5$  به ترتیب بیشترین و کمترین درصد جوانه زنی را دارند، درصد جوانه زنی از تیمار  $pH= 3/5$  تا تیمار  $pH= 5/6$  روبه افزایش است و دو تیمار  $pH= 4/5$  و  $pH= 5/6$  در درصد جوانه زنی مشابه هستند.

تعیین درصد جوانه زنی در گیاهان شاهد و تیمارهای باران اسیدی در شکل ۸ نشان می دهد که گیاهان شاهد و تحت تیمار  $pH= 2/5$  به ترتیب بیشترین و کمترین درصد جوانه زنی را دارند، درصد جوانه زنی از تیمار  $pH= 3/5$  تا تیمار  $pH= 5/6$  روبه افزایش است و دو تیمار  $pH= 4/5$  و  $pH= 5/6$  در درصد جوانه زنی مشابه هستند.

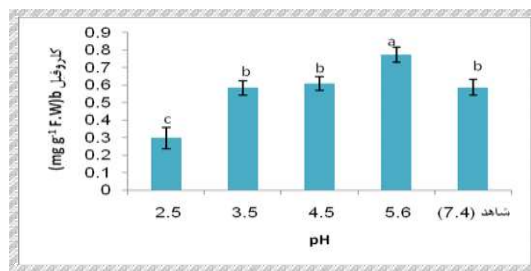


شکل ۹- محتوای کلروفیل a در گیاهان شاهد و تحت تیمار باران اسیدی.

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

با توجه به نمودار ۶ تیمارهای باران اسیدی با  $pH$  های ۴/۵ و ۵/۶ به ترتیب بیشترین میزان این رنگیزه را دارند، درحالی که تیمار  $pH= 2/5$  دارای کمترین محتوای کلروفیل a است. گیاهان شاهد و تیمار  $pH= 3/5$  باران اسیدی است. هم شبیه هستند، با توجه به این که کلروفیل a در گیاهان شاهد کمی بیشتر از تیمار  $pH= 3/5$  باران اسیدی است.

با توجه به نمودار ۶ تیمارهای باران اسیدی با  $pH$  های ۴/۵ و ۵/۶ به ترتیب بیشترین میزان این رنگیزه را دارند، درحالی که تیمار  $pH= 2/5$  دارای کمترین محتوای کلروفیل a است. گیاهان شاهد و تیمار  $pH= 3/5$  باران اسیدی است.

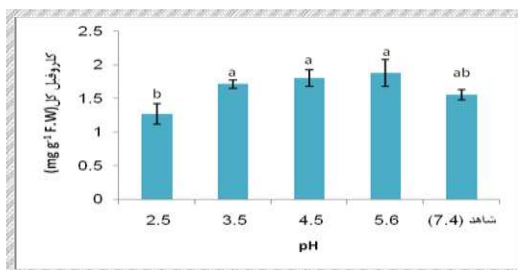


شکل ۱۰- میزان کلروفیل b در گیاهان شاهد و تحت تیمار باران اسیدی.

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

به تیمارهای دیگر کلروفیل b بالاتری دارند. در تیمار  $\text{pH} = 2/5$  نیز کمترین میزان از این رنگیزه دیده می-شود.

با توجه به شکل ۱۰ در تیمار باران اسیدی با  $\text{pH} = 3/5$  بیشترین میزان کلروفیل b دیده می شود، و بعد از آن به ترتیب تیمارهای  $\text{pH} = 4/5$  و شاهد نسبت

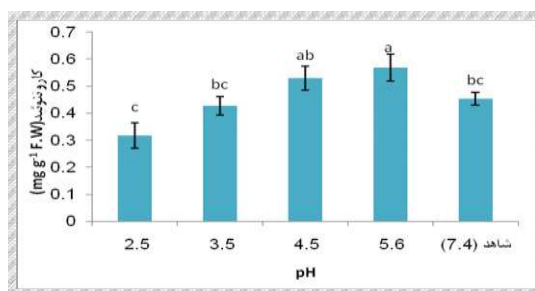


شکل ۱۱- محتوای کلروفیل کل در گیاهان شاهد و تحت تیمار باران اسیدی.

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

محتوای این رنگیزه در تیمار باران اسیدی با  $\text{pH} = 2/5$  دیده می شود. تیمارهای مشابه نیز  $\text{pH} = 4/5$  و  $\text{pH} = 3/5$  هستند.

با توجه به شکل ۱۱ محتوای کلروفیل کل در گیاهان تیمار  $\text{pH} = 5/6$  باران اسیدی بالاتر از دیگر تیمارهاست و پس از آن به ترتیب تیمارهای  $\text{pH} = 4/5$  و  $\text{pH} = 3/5$  باران اسیدی کلروفیل کل بیشتری از بقیه تیمارها دارند. بین دو تیمار شاهد و  $\text{pH} = 2/5$  اسیدی نیز کمترین

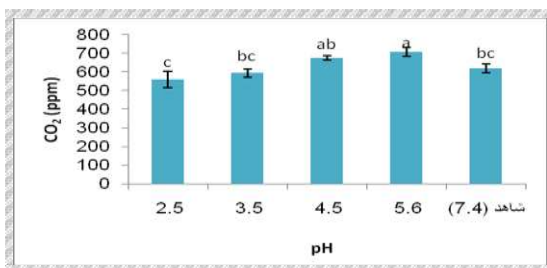


شکل ۱۲- محتوای کاروتنوئید در گیاهان شاهد و تحت تیمار باران اسیدی.

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

محتوای این رنگیزه در تیمار  $\text{pH} = 2/5$  باران اسیدی دیده می شود. تیمارهای مشابه نیز شاهد و  $\text{pH} = 3/5$  هستند، گرچه محتوای کاروتنوئید در گیاهان شاهد کمی بیشتر از تیمار  $\text{pH} = 3/5$  است.

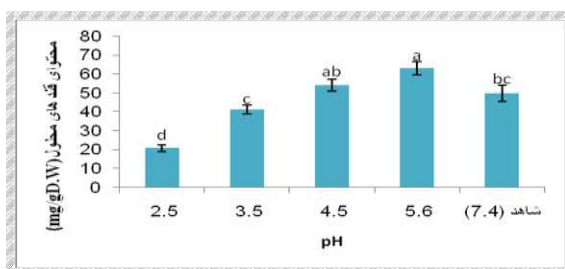
طبق شکل ۱۲ محتوای کاروتنوئید در گیاهان تیمار  $\text{pH} = 5/6$  باران اسیدی بیشتر از دیگر گیاهان است و پس از آن به ترتیب تیمارهای  $\text{pH} = 4/5$  و قرار دارند. بین دو تیمار  $\text{pH} = 3/5$  و  $\text{pH} = 2/5$  نیز کمترین



شکل ۱۳- شدت فتوسنتز گیاهان شاهد و تحت تیمار باران اسیدی برحسب (μmol CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/s).  
 Fig. 13. Photosynthetic rate of control plants and acid rain treatment plants.

اسیدی نیز کمترین شدت فتوسنتز را در بین تمام تیمارها دارند. دو تیمار مشابه از لحاظ شدت فتوسنتز شاهد و ۳/۵ pH= باران اسیدی هستند که شدت فتوسنتز در شاهد کمی بیشتر از تیمار pH= ۳/۵ باران اسیدی است.

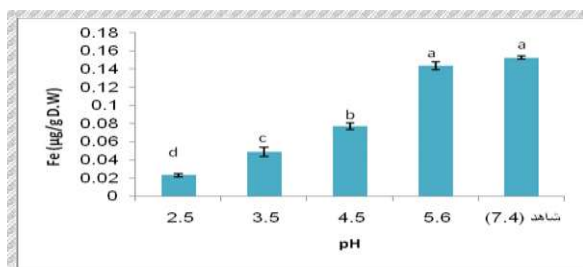
شکل ۱۳ شدت فتوسنتز برحسب CO<sub>2</sub> متصاعد شده از گیاهان در طی تنفس را نشان می دهد؛ بعد از گیاهان تیمار pH= ۵/۶ باران اسیدی بیشترین شدت فتوسنتز به ترتیب در تیمارهای pH= ۴/۵ و شاهد و سپس در تیمار pH= ۳/۵ دیده می شود. دو تیمار pH= ۲/۵ باران



شکل ۱۴- محتوای قندهای محلول در گیاهان شاهد و تحت تیمار باران اسیدی.  
 Fig. 14. Soluble sugars content of control plants and acid rain treated plants.

قرار دارند. پایین ترین محتوای قند محلول در گیاهان تیمار باران اسیدی با pH= ۲/۵ دیده می شود.

با توجه به شکل ۱۴ محتوای قندهای محلول در گیاهان تیمار pH= ۵/۶ بیشتر از سایر گیاهان است و بعد از آن به ترتیب تیمارهای pH= ۴/۵، شاهد و pH= ۳/۵

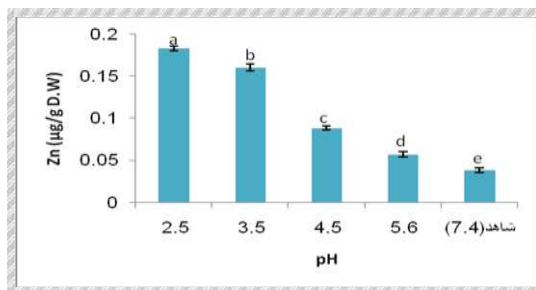


شکل ۱۵- محتوای فلز آهن در برگ گیاهان شاهد و تحت تیمار باران اسیدی.  
 Fig. 15. Iron content of control plants and acid rain treated plants.



تیمار  $\text{pH}= ۲/۵$  کمترین محتوای آهن را دارند. تیمارهای  $\text{pH}= ۳/۵$  و  $\text{pH}= ۴/۵$  از نظر محتوای پایین آهن مشابه و دو تیمار شاهد و  $\text{pH}= ۵/۶$  نیز با محتوای بالای آهن به هم نزدیک هستند.

با توجه به شکل ۱۵ محتوای فلز آهن در گیاهان شاهد کمی بیشتر از گیاهان تیمار  $\text{pH}= ۵/۶$  باران اسیدی است و با کاهش  $\text{pH}$  در گیاهان تیمار باران اسیدی محتوای فلز آهن کاهش یافت. گیاهان شاهد بیشترین و

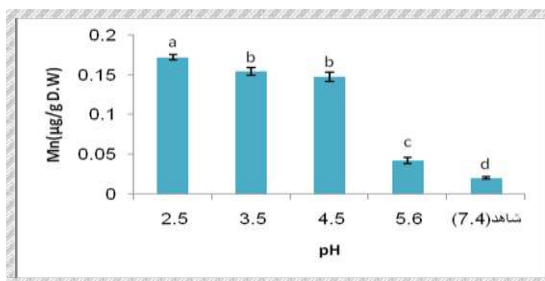


شکل ۱۶- محتوای فلز روی در برگ گیاهان شاهد و تحت تیمار باران اسیدی.

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

محتوای منگنز پایین تری نسبت به تیمارهای دیگر دارند و کمترین محتوای فلز منگنز در گیاهان شاهد دیده می شود.

با توجه به شکل ۱۶ گیاهان تیمار  $\text{pH}= ۲/۵$  دارای بیشترین محتوای فلز روی هستند و بعد از این گیاهان تیمار  $\text{pH}= ۳/۵$  قرار دارد، تیمار  $\text{pH}= ۵/۶$  و شاهد



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

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

### بحث

باران اسیدی بر محتوای کلروفیل و اسیدآسکوربیک برگ ها در  $\text{pH}$  های  $۲/۵$  و  $۳/۵$  اثرات منفی اعمال می کند که این اثرات با کاهش  $\text{pH}$  و دوره تیمار تشدید می شوند (Kumari & Tomar, 2009).  
 $\text{pH}$  های  $۳$  و  $۴$  باران اسیدی سبب کاهش کلیه شاخص ها در گندم شامل میزان محصول، رنگیزه های

مطابق شکل ۱۷ گیاهان تیمار  $\text{pH}= ۲/۵$  دارای بیشترین محتوای فلز منگنز هستند و سپس به ترتیب تیمارهای  $\text{pH}= ۳/۵$  و  $\text{pH}= ۴/۵$  قرار دارند، تیمار  $\text{pH}= ۵/۶$  و سپس شاهد محتوای منگنز پایین تری نسبت به تیمارهای دیگر دارند.

متلاشی‌شدن سلول‌های اپیدرم و مزوفیل، هیپرتروفی سلول‌های پارانشیم اسفنجی، انباشتگی ترکیبات فنولیک و مشاهده دانه‌های نشاسته در برگ‌های در معرض 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 درخوردگی، توجه سنتز رنگیزه‌ها، وزن خشک ساقه و ریشه، میزان محصول و کاهش در قندهای غیر کاهنده به‌ویژه در pH=۳ شد. کاهش در قندهای غیر کاهنده 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 نتیجه 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 جوانه‌زنی 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

فتوسنتزی، قندهای محلول، پروتئین دانه و ویژگی‌های اپیدرمی برگ می‌شوند (Kausar & Khan, 2009). باران اسیدی با اسیدیته ۳ و ۴ بر فرآیندهای فیزیولوژیکی (رشد جوانه‌زنی) و بیوشیمیایی (رنگیزه‌ها، پراکسیداز و کاتالاز) در گیاه *Lolium perenne* L. از تیره گندمیان نسبت به باران اسیدی با pH=۵/۷ اثرات منفی اعمال می‌کند. درباره دو آنزیم پراکسیداز و کاتالاز به دلیل نقش حفاظتی آنها در برابر تنش‌های اکسیداتیو باران اسیدی موجب افزایش فعالیت می‌شود که در باب پراکسیداز بیش‌تر است، زیرا این آنزیم نسبت به تنش باران اسیدی حساس‌تر از کاتالاز است (Simona *et al.*, 2009). 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). باران اسیدی در گیاه *Ocimum sanctum* L. موجب کاهش در تعداد سنبله، وزن دانه، کل محصول و میزان قند نواحی برگ‌گی به ویژه در pH=۲/۵ می‌شود و در گیاه *Mentha pipierita* سبب کاهش کلروفیل و اسید آسکوربیک برگ‌ها در pHهای ۲/۵ و ۳/۵ می‌شود (Kumari & Tomar, 2009). کاربرد برگ‌گی 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، کاهش رشد و ازدست‌رفتن محصول در مرحله 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 ریزمغذی‌ها به مثابه کاهش‌دهنده 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،

مثبتی بر رشد اعمال کنند که بستگی به وضعیت عناصر غذایی خاک، ظرفیت بافری، شرایط رشد و نیاز غذایی گیاه دارد (Gibbons, 1984). در این تحقیق مشخص شد با کاهش pH باران اسیدی گیاهان گندم تحت تنش قرار می گیرند و نیز به علت زدایش کاتیون های مغذی از پرلیت آبیاری شده 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 جوانه زنی کاهش می یابند که در شکل ها مشخص است. همچنین کاهش در فرایندهای بیوشیمیایی مانند سنتز قندهای محلول در گیاه نیز به علت کاهش در محتوای رنگیزه های فتوسنتزی، شدت فتوسنتز و نیز کاهش محتوای فلز آهن است.

### تشکر و قدردانی

مقاله حاضر نتیجه پروژه ای است که با حمایت دانشکده علوم زیستی دانشگاه خوارزمی انجام گردید که بدینوسیله تشکر و قدردانی می گردد.

### 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.

خاک تأثیرگذار است. افزایش باران اسیدی سبب تغییر در ویژگی های شیمیایی خاک می شود. در کنار باران اسیدی حاصل از فعالیت میکروبی نیز موجب پیش برد تولید اسید کربنیک می شود که نتیجه آن هم کاهش pH خاک است (Susilawati *et al.*, 2011). خاک در شرایط اسیدی شروع به آزادسازی آلومینیم می کند که علاوه بر سمی بودن برای ریشه گیاه مزاحم دریافت عناصر غذایی به ویژه پتاسیم و فسفر می شود. رسوب اسید سبب زدایش عناصر غذایی ضروری مانند کلسیم و منیزیم از خاک ها و نیز آزادسازی فلزات سمی مانند آلومینیم می شود که در نهایت به کاهش محصول و آسیب به محصول آن می انجامند. رسوب اسیدهای نیتریک و سولفوریک علاوه بر تغییر در خاک جنگل ها، عناصر غذایی ضروری را برای گیاه فراهم می کند. 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 خاک های اسیدی، از دست رفتن عناصر غذایی خاک و کانوپی گیاه، نیز تجزیه مواد گیاهی است. آسیب بافتی به رویش انواع گونه های گیاهی در آستانه pH بین ۲ تا ۳/۶ رخ می دهد. نیتروژن و گوگرد باران ممکن است اثرات

**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* (Peppermint). – Agric. Sci. Digest. 29: 1-6.

**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 (*Lycopersicon 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.I., Azira, S., Ahmed, O.H. and Majid, N.M.** 2011. Upmeanet acid deposition project: soil and plant responses simulated acid rain treatments. – Rehabilitation of Tropical Rainforest Ecosystems. 24-25 October. Kuala Lumpur.

**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.