



## Evaluation the effect of copper metal toxicity on growth, physiological and morphological characteristics of wild wheat of *Aegilops tauschii*

Vida Moradi<sup>1</sup>, Naser Karimi<sup>2</sup> & Mehran Falaknaz<sup>3</sup>✉

<sup>1</sup> Ms.C Graduated in Plant Physiology, Faculty of Science, Razi University, Kermanshah. E-mail: [moradivida730@yahoo.com](mailto:moradivida730@yahoo.com)

<sup>2</sup> Professor, Biology Department, Faculty of Science, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: [nkarimie@yahoo.com](mailto:nkarimie@yahoo.com)

<sup>3</sup>✉ Ph.D. in Plant Breeding, Department of Agriculture and Plant Breeding, Guilan University. E-mail: [mehranfalaknaz@gmail.com](mailto:mehranfalaknaz@gmail.com)

### ABSTRACT

**Introduction:** Heavy metals refer to a group of metals or semi-metals whose atomic density is greater than 4 or 5 grams per cubic centimeter. What has caused concern about environmental pollution today is the accumulation of the chemical waste in the soil. Although copper is a micro-element for plants, it is toxic at high concentrations. This element causes structural, morphological, physiological, and biochemical changes in plants. Today, the phytoremediation technique is used as a suitable method for cleaning and removing water, soil, and air pollution. More than 400 species of overgrown plants have been identified. Studies have shown that *Aegilops tauschii* is a drought-resistant plant. Since, the stress of heavy metals can cause secondary drought stress.

**Materials and methods:** This research was performed to investigate the effect of the heavy metal copper on some physiological, morphological, and biochemical parameters of *Aegilops tauschii*. Therefore, the effect of different concentrations of copper (zero, 5, 25, and 125 micromolar) was studied on the physiological, biochemical, and morphological characteristics of 37 genotypes of *Aegilops tauschii* in the greenhouse condition.

**Results:** The results showed that increasing copper concentrations decreased the amount of chlorophyll b, carotenoid, cell membrane stability, seed diameter, relative leaf water content, leaf retained water and single plant yield; while total chlorophyll, chlorophyll a, carbohydrate, proline, relative leaf water loss, root length, and root weight increased significantly. In terms of biochemical parameters, Genotypes 11, 58, and 85 with the highest values of morphological, physiological, and biochemical indices were resistant to copper. Among the mentioned genotypes, Genotype 58 with the highest yield as a resistant genotype, and Genotype 23, 28, 30, 52, 99 and 123 were subjected to copper stress more than other genotypes based on the morphological, physiological and biochemical indicators, among which Genotype 99 with the lowest yield could be introduced as the most sensitive genotype.

**Conclusion:** According to the results, it seems that some genotypes of *Aegilops tauschii* were resistant to the heavy metal copper. Resistant genotypes could be recommended for phytoremediation in copper-contaminated areas.

**Keywords:** *Aegilops tauschii*, Overcrowding, Phytoremediation, Copper.

**Article Type:** Research Article

**Article history:** Received: 11/08/2022, Revised: 31/08/2022, Accepted: 26/09/2022, Published online: 29/09/2022

**Cite this article:** Moradi, V., Karimi, N. & Falaknaz, M. (2022). Evaluation the effect of copper metal toxicity on growth, physiological and morphological characteristics of wild wheat of *Aegilops tauschii*. *Cereal Biotechnology and Biochemistry*. 1 (3). 335-357. DOI: [10.22126/cbb.2022.8296.1018](https://doi.org/10.22126/cbb.2022.8296.1018)



© The Author(s).

[10.22126/cbb.2022.8296.1018](https://doi.org/10.22126/cbb.2022.8296.1018)

**Publisher:** Razi University



# بیوتکنولوژی و بیوشیمی غلات

شاپا الکترونیکی: ۵۱۷۰-۲۷۸۳



بیوتکنولوژی و بیوشیمی غلات

Homepage: <https://cbb.razi.ac.ir>

## بررسی اثر سمیت فلز مس بر خصوصیات رشدی، فیزیولوژیک و مورفولوژیک گندم نیای وحشی (*Aegilops tauschii*) آزیلوپس تائوشی

ویدا مرادی<sup>۱</sup>، ناصر کریمی<sup>۲</sup> و مهران فلک‌ناز<sup>۳</sup> ✉

<sup>۱</sup> دانش آموخته کارشناسی ارشد فیزیولوژی گیاهی، دانشکده علوم، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: [moradivida730@yahoo.com](mailto:moradivida730@yahoo.com)

<sup>۲</sup> استاد گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: [nkarimie@yahoo.com](mailto:nkarimie@yahoo.com)

<sup>۳</sup> ✉ دانش آموخته دکتری اصلاح نباتات، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه گیلان، رشت، ایران. رایانامه: [mehranfalaknaz@gmail.com](mailto:mehranfalaknaz@gmail.com)

### چکیده

**مقدمه:** فلزات سنگین به گروهی از فلزات یا شبه فلزات اطلاق می‌شود که چگالی اتمی آن‌ها بیشتر از ۴ یا ۵ گرم بر سانتیمتر مکعب است. آنچه که امروزه باعث نگرانی در مورد آلودگی‌های محیط زیست شده است، تجمع مواد زائد شیمیایی در خاک می‌باشد. مس اگرچه یک عنصر ریزمغذی برای گیاهان محسوب می‌شود، اما در غلظت‌های بالا سمی است. این عنصر باعث تأثیر بر خصوصیات ساختاری، مورفولوژیک، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی در گیاهان می‌گردد. امروزه از تکنیک گیاه‌پالایی به‌عنوان یک روش مناسب برای پاک‌سازی و زدودن آلودگی‌های آب، خاک و هوا استفاده می‌کنند. بیش از ۴۰۰ گونه گیاه بیش‌انباشتگر، شناسایی شده است.

**مواد و روش‌ها:** در این پژوهش به‌منظور بررسی اثر فلز سنگین مس بر برخی از پارامترهای فیزیولوژیک، مورفولوژیک و بیوشیمیایی گیاه آزیلوپس تائوشی، اثر غلظت‌های مختلف مس (صفر، ۵، ۲۵ و ۱۲۵ میکرومولار) بر ۳۷ ژنوتیپ آزیلوپس تائوشی در قالب طرح آگمنت در گلخانه دانشکده علوم دانشگاه رازی مورد بررسی قرار گرفت.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد که با افزایش غلظت مس، میزان کلروفیل b، کاروتنوئید، پایداری غشاء سلول، قطر دانه، محتوای نسبی آب برگ، آب حفظ‌شده برگ و عملکرد تک بوته کاهش پیدا کردند؛ درحالی‌که کلروفیل کل، کلروفیل a، کربوهیدرات، پرولین، تلفات نسبی آب برگ، طول ریشه و وزن ریشه به‌طور معنی‌دار افزایش یافتند. از نظر پارامترهای بیوشیمیایی، ژنوتیپ‌های ۱۱، ۵۸ و ۸۵ با داشتن بیشترین مقادیر شاخص‌های مورفولوژیک، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی مقاوم به فلز مس بودند که در بین آنها ژنوتیپ ۵۸ با بیشترین میزان عملکرد به‌عنوان ژنوتیپ مقاوم شناخته شد. ژنوتیپ‌های ۲۳، ۲۸، ۳۰، ۵۲، ۹۹ و ۱۲۳ بیشتر از بقیه ژنوتیپ‌ها تحت تنش مس قرار گرفتند، که در بین آنها ژنوتیپ ۹۹ با کمترین عملکرد به‌عنوان حساسترین ژنوتیپ معرفی می‌گردد. **نتیجه‌گیری:** با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، به‌نظر می‌رسد که برخی ژنوتیپ‌های گیاه آزیلوپس تائوشی مقاوم به فلز سنگین مس بوده و می‌توان آن‌ها را جهت گیاه‌پالایی در مناطق آلوده به مس توصیه نمود.

**واژه‌های کلیدی:** آزیلوپس تائوشی، بیش‌انباشتگر، گیاه‌پالایی، مس

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

نوع مقاله: دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۲۰ اصلاح: ۱۴۰۱/۰۶/۰۹ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۰۴، انتشار آنلاین: ۱۴۰۱/۰۷/۰۷

استناد: مرادی، و.، کریمی، ن. و فلک‌ناز، م. (۱۴۰۱). بررسی اثر سمیت فلز مس بر خصوصیات رشدی، فیزیولوژیک و مورفولوژیک گندم نیای وحشی

آزیلوپس تائوشی (*Aegilops tauschii*). بیوتکنولوژی و بیوشیمی غلات. ۱ (۳). ۳۳۵-۳۵۷. DOI: [10.22126/cbb.2022.8296.1018](https://doi.org/10.22126/cbb.2022.8296.1018)



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه رازی

## مقدمه

می‌شود (Menon *et al.*, 2007). گیاه‌پالایی روشی است که در آن با استفاده از گیاهان، تغییراتی در شکل و تجمع آلاینده‌ها به وجود می‌آید و بدین گونه میزان آن‌ها در آب و خاک کم می‌شود (Ghosh & Singh, 2005). آزیلپوس تائوشی (*Aegilops tauschii*) گیاهی دیپلوئید با تعداد کروموزوم‌ها برابر ۱۴ ( $2n=14$ ) و وحشی است. این گیاه در ترکیه، ایران، پاکستان، هند، چین و افغانستان رویش دارد (Gambin & Borrás, 2007). از نظر گیاه‌شناسی، گیاهی یک‌ساله با شاخه‌های انبوه، ریشک‌ها گاهی خمیده و از نظر زیستگاه، در شیب‌های استپی اُلف‌دار، صحرای شنی، زمین‌های بایر و دایر رشد می‌کند. زیرگونه تائوشی شامل سه وارسته تیپیکا، مایری و آناترا می‌باشد (Dvorak *et al.*, 1998). هدف از این پژوهش بررسی اثر غلظت‌های مختلف مس بر برخی از پارامترهای فیزیولوژیکی، مورفولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه آزیلپوس تائوشی در شرایط نیمه کنترل شده بود.

## مواد و روش‌ها

در این تحقیق از ۳۷ ژنوتیپ آزیلپوس تائوشی که از بانک بذر غلات دانشگاه ایلام و بانک بذر مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر دریافت شدند مورد مطالعه قرار گرفتند (جدول ۱). بذرها در گلخانه تحقیقاتی گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم دانشگاه رازی در محدوده دمای ۱۸ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد (شب و روز)، رطوبت نسبی ۴۵ درصد،

فلزات سنگین به گروهی از فلزات یا شبه فلزات اطلاق می‌شود که چگالی اتمی آن‌ها بیشتر از ۴ یا ۵ گرم بر سانتیمتر مکعب باشد (Nriagu, 1989). تجمع مواد زائد شیمیایی در خاک، یکی از نگرانی‌های امروزه در مورد آلودگی‌های محیط زیست شده است. فلزات سنگین در مقادیر کم نیز بسیار با اهمیت می‌باشد؛ چرا که می‌تواند اثرات مخربی بر موجودات زنده داشته باشد (Barzin *et al.*, 2015). مس (Cu) به‌عنوان یک ریزمغذی، هم برای گیاهان و هم جانوران دارای اهمیت است. سطح مس در خاک متغیر است و به نوع خاک و ساختار خاک شامل اسیدیته، مواد آلی، توانایی مبادله کاتیون‌ها و پتانسیل اکسیداسیون احیا بستگی دارد. میانگین غلظت مناسب مس به‌عنوان ماده مغذی برای گیاهان بین ۱ و ۵۰ میکروگرم بر گرم است. مس جزئی از ساختار پلاستوسیانین است که در زنجیره انتقال الکترون در فتوسنتز نقش دارد (Brini *et al.*, 2007). مس کوفاکتور سوپر اکسید دی‌سموتاز و پلی فنل اکسیداز است و در واکنش‌های پاسخ به تنش اکسیداتیو و فسفوریلاسیون اکسیداتیو شرکت می‌کند و نقش مهمی در باردهی گیاهان ایفا می‌کند (Fageria, 2001). توقف رشد ریشه، کاهش پنجه‌زنی در غلات و رنگ سبز تیره برگ از علائم مسمومیت با مس است. غلظت بالای مس باعث کاهش وزن خشک ریشه، کاهش سطح برگ، کاهش وزن کل، کاهش گل‌دهی و کاهش باردهی محصولات

$$RWC^1 = \{(FW-DW) / (TW-DW)\} \times 100$$

در رابطه فوق FW: وزن برگ تازه، DW: وزن برگ خشک شده و TW: وزن برگ اشباع می‌باشد.

### آب حفظ‌شده برگ

برای اندازه‌گیری این صفت تعداد پنج برگ از هر ردیف کشت در زمان پر شدن دانه انتخاب شد و برای محاسبه از رابطه شماره ۲ استفاده شد:

رابطه شماره ۲

$$ELWR^2 = \{1 - (FW - ADW) / FW\} \times 100$$

که در آن FW و ADW به ترتیب معادل وزن تازه و وزن پژمرده برگ می‌باشد (Clarke, 1982).

### تلفات نسبی آب برگ

پس از اعمال تنش در زمان پر شدن دانه از هر ردیف سه نمونه برگ جدا شد و سریعاً در آزمایشگاه با ترازوی دقیق وزن شد (FW). برگ‌ها به مدت پنج ساعت در شرایط آزمایشگاه نگهداری و سپس وزن شدند (Clarke, 1982). میزان تلفات نسبی آب برگ (RWL) از طریق رابطه شماره ۳ محاسبه شد:

رابطه شماره ۳

شدت نور ۱۵۰ میکرومولار فوتون در مترمربع و تناوب نوری ۱۴ ساعت تاریکی و ۱۰ ساعت روشنایی کشت شدند. این آزمایش در قالب طرح آگمنت با ۵ ژنوتیپ شاهد (ژنوتیپ‌هایی که تعداد بذر بیشتری از آنها در اختیار بود) در ۳ تکرار اجرا و در هر بلوک چهار سطح تیماری در نظر گرفته شد. سطح شاهد توسط آب مقطر آبیاری شد. کشت نمونه‌ها در گلدان‌های پلاستیکی به ارتفاع ۱۲ سانتیمتر و قطر ۱۵ سانتی‌متری محتوی خاک انجام شد. در هر گلدان چهار عدد بذر کاشته شد و سپس گلدان‌ها آبیاری شدند و جوانه‌زنی در محیط خاک انجام شد. پس از رسیدن گیاهان به مرحله دو برگگی، با توجه به ظرفیت زراعی خاک مورد استفاده، تیمار مس در غلظت‌های صفر، ۵، ۲۵ و ۱۲۵ میکرومولار به خاک گلدان‌ها اضافه شد و این تیماردهی به مدت دو ماه متوالی و هفته‌ای دو بار انجام شد. مبارزه با علف‌های هرز و آفات به صورت دستی و بدون استفاده از سموم شیمیایی انجام گرفت. صفات ارزیابی شده به شرح زیر بودند:

### محتوی نسبی آب برگ

پس از اعمال تنش، تعداد ۱۰ نمونه برگ از هر ژنوتیپ به طور تصادفی انتخاب شد. در آزمایشگاه وزن تر، وزن اشباع و وزن خشک برگ‌ها ثبت شد (Bajji et al., 2001). از طریق رابطه شماره ۱ میزان RWC محاسبه می‌شود:

رابطه شماره ۱

<sup>1</sup> Relative Water Content

<sup>2</sup> Excised Leaf Water Retention

محلول صاف شد. سپس ۱ میلی‌لیتر ناین-هیدرین و ۱ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال به آن اضافه شد. محلول برای ۶۰ دقیقه در حمام آب گرم قرار گرفت و پس از سرد شدن، ۲ میلی‌لیتر تولوئن به آن اضافه گردید. فاز بالایی محلول جدا شد و توسط دستگاه اسپکتوفوتومتر در طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت شد. در نهایت میزان پرولین با استفاده از منحنی استاندارد به دست آمد (Bates *et al.*, 1973).

#### استخراج قند از بافت گیاهی

به منظور استخراج قند، ابتدا بافت گیاهی مورد نظر به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۰-۸۰ درجه سانتی‌گراد در داخل آون خشک شد و سپس یک گرم از بافت خشک شده با ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر گرم در هاون سائیده و با کمک کاغذ صافی صاف شد. در مرحله بعد، ۵۰ میکرولیتر فنل ۸۰٪ به ۲ میلی‌لیتر از محلول صاف شده اضافه و مخلوط گردید. در مرحله بعد میزان پنج میلی‌لیتر اسید سولفوریک به آن اضافه شد. سپس به مدت ۱۵ دقیقه در دمای محیط و بعد ۱۰ دقیقه در حمام آب گرم ۳۰ درجه قرار داده شد و سپس توسط اسپکتوفوتومتر در طول موج ۴۹۰ نانومتر قرائت گردید. در انتها میزان قند هر نمونه با استفاده از منحنی استاندارد گلوکز محاسبه شد (Dubois *et al.*, 1956).

$$RWL^3 = [(FW - WT) / FW] \times 100$$

#### شاخص پایداری غشاء

برای برآورد میزان شاخص پایداری غشا پس از اعمال تنش و در زمان پر شدن دانه از هر ژنوتیپ چند برگ جوان انتخاب شد، سپس میزان ۰/۱ گرم برگ به همراه ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر دوبار تفتیر شده داخل دو سری لوله آزمایش قرار داده شد. در مرحله بعد، یک سری از نمونه‌ها در حمام آب گرم در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد و سری دیگر در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. سپس میزان هدایت الکتریکی هر کدام اندازه‌گیری گردید. در نهایت شاخص پایداری غشاء از رابطه شماره ۴ به دست آمد (Azizpour *et al.*, 2010).

رابطه شماره ۴

$$MSI^4 = [1 - (C1/C2)] \times 100$$

در این رابطه C1: هدایت الکتریکی در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد و C2: هدایت الکتریکی در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشند.

#### اندازه‌گیری میزان پرولین

برای اندازه‌گیری این صفت پس از اعمال تنش، ۰/۱ گرم از نمونه برگی هر ژنوتیپ داخل ۱۰ میلی‌لیتر سولفوسالیسیلیک اسید ۳٪ قرار گرفت و بعد از ۴۸ ساعت

<sup>3</sup> Relative Water Lose

<sup>4</sup> Membrane Stability Index

جدول ۱- ژنوتیپ‌های آژیلوپس تائوشی مورد بررسی در این پژوهش

Table 1. The genotypes of *Aegilops tauschii* used in this study

ردیف	کد بانک ژن	منشاء	ردیف	کد بانک ژن	منشاء
No	Accession number	Origin	No	Accession number	Origin
1	IUGB-00157	Iran/sadrodin village	20	IUGB-00362	Armenia
2	IUGB-00196	Iran/Ramsar	21	IUGB-00365	Iran/Amol
3	IUGB-00198	Iran/Zanjan	22	IUGB-00366	Iran/Lahijan
4	IUGB-00223	Iran/Salmanshahr	23	IUGB-00367	Iran/Caliber
5	IUGB-00224	Iran/Kochesfahan	24	IUGB-00374	Iran/Astaneh
6	IUGB-00249	Iran/Salmanshahr	25	IUGB-00375	Iran/Moghan
7	IUGB-00260	Iran/Gilan	26	IUGB-00396	Iran/Noshahr
8	IUGB-00261	Iran/Chaloos	27	TN-01-0312	Iran/Orumieh
9	IUGB-00263	Iran/Amol	28	TN-01-0569	Iran/Gilan
10	IUGB-00269	Iran/Rasht	29	TN-01-0699	Iran/golestan
11	IUGB-00276	Iran/Behshahr	30	IUGB-02054	Iran/Rasht
12	IUGB-00289	Afghanistan	31	IUGB-02055	Iran/Rasht
13	IUGB-00293	Japan	32	IUGB-02065	Iran/Astara
14	IUGB-00295	Turkey	33	IUGB-00205	Iran/Ardebil
15	IUGB-00296	Armenia	34	IUGB-00205	Iran/golestan
16	IUGB-00299	Afghanistan	35	IUGB-00205	Iran/Ardebil
17	IUGB-00308	Azarbaijan	36	IUGB-00205	Iran/Astara
18	IUGB-00311	Sweden	37	IUGB-00205	Iran/Harsin
19	IUGB-00314	Azarbaijan			

## اندازه‌گیری محتوی کلروفیل و کاروتنوئید گیاه

جذب به‌طور جداگانه در طول موج‌های ۶۶۳ نانومتر برای

برای اندازه‌گیری غلظت کاروتنوئید و کلروفیل، پس از اعمال

کلروفیل a، ۶۴۵ نانومتر برای کلروفیل b و ۴۷۰ نانومتر

تنش مقدار ۰/۱ گرم از ماده تر گیاهی با استفاده از ۱۰

برای کاروتنوئید، توسط اسپکتروفوتومتر قرائت شد. در نهایت

میلی‌لیتر استون ۸۰٪ له شد. در مرحله بعد با استفاده از

با استفاده از روابط ۵ تا ۸ میزان کلروفیل a، b، کلروفیل کل

کاغذ صافی، محلول را صاف کرده سپس محلول حاصل به

و کاروتنوئید برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر نمونه محاسبه

مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد و در ۴۰۰۰

شد (Arnon, 1949).

دور سانتریفیوژ شد. قسمت شفاف بالایی جدا گردید و مقدار

$$\text{رابطه شماره ۵} = \left[ \left( \frac{2}{69} \times \text{جذب } 645 \right) - \left( \frac{12}{7} \times \text{جذب } 663 \right) \right] \text{ (میلی‌لیتر استون / میلی‌گرم بافت) کلروفیل a}$$

$$\text{رابطه شماره ۶} = \left[ \left( \frac{2}{6} \times \text{جذب } 663 \right) - \left( \frac{22}{9} \times \text{جذب } 645 \right) \right] \text{ (میلی‌لیتر استون / میلی‌گرم بافت) کلروفیل b}$$

$$\text{رابطه شماره ۷} = \text{کلروفیل b} + \text{کلروفیل a} = \text{کلروفیل کل}$$

$$\text{رابطه شماره ۸} = \left[ \text{میزان کلروفیل (b)} - 85 \right] - \left[ \frac{1}{8} \text{ (میزان کلروفیل a)} \right] - \left[ \text{جذب } 470 \text{ (نانومتر)} \times 100 \right] = \text{کاروتنوئید}$$

افزایش و تجمع میزان پرولین می‌باشد که افزایش پرولین یکی از واکنش‌های مقاومت در گیاهان می‌باشد (Theriappan *et al.*, 2011). افزایش تجمع پرولین همچنین ممکن است به دلیل کاهش صادرات آن از طریق آوند آبکش باشد (Bajji *et al.*, 2001). لذا افزایش تولید پرولین و کربوهیدرات با افزایش سطوح مس در این تحقیق، می‌تواند یک راهکار مقاومتی ژنوتیپ‌های گیاه آژیلوپس تائوشی باشد. در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، ژنوتیپ‌های ۳۴، ۳۶، ۵۸ و ۶۲ بیشترین محتوای پرولین و ژنوتیپ‌های ۳۹، ۴۹، ۵۶ و ۱۲۳ کمترین محتوای پرولین را داشتند (جدول ۶).

#### اثر سطوح مختلف مس بر صفات فیزیولوژیک گیاه آژیلوپس تائوشی

نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد، اثر تنش سمیت مس، ژنوتیپ و اثر متقابل مس و ژنوتیپ در سطح احتمال یک درصد بر محتوای کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، کاروتنوئید، آب حفظ‌شده برگ، محتوای نسبی آب برگ، پایداری غشای سلول و تلفات نسبی آب برگ معنی‌دار بود. با افزایش غلظت مس، میزان کلروفیل a افزایش پیدا کرد؛ به طوری که بیشترین میزان انباشت کلروفیل a در گیاه آژیلوپس تائوشی در تیمار ۱۲۵ میکرومولار مس و کمترین در سطح شاهد مشاهده شد (شکل ۳). محتوای کلروفیل a در ۱۲۵ میکرومولار مس، به میزان ۶۲/۷۸ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت (شکل ۳).

صفات مورفولوژیک شامل عملکرد تک بوته، قطر دانه، طول ریشه و وزن ریشه بودند.

تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از این تحقیق با استفاده از نرم‌افزارهای آماری SAS و SPSS انجام شد. برای انجام مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن استفاده شد و نمودارها توسط نرم‌افزار Excel ترسیم شدند.

#### نتایج و بحث

##### اثر غلظت‌های مختلف مس بر صفات بیوشیمیایی

با توجه به نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) اثر تنش سمیت مس، ژنوتیپ و همچنین اثر متقابل آن‌ها بر محتوای کربوهیدرات و پرولین در گیاه آژیلوپس تائوشی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. میزان پرولین و کربوهیدرات با افزایش غلظت مس، روند افزایشی نشان داد (شکل ۱ و ۲). در گیاهان یکی از نشانه‌های کاهش میزان آب در سلول افزایش قندها و کربوهیدرات‌ها می‌باشد که در نهایت منجر به کاهش رشد گیاهان می‌شود (Noorani & Taghizadeh, 2011). تقی‌زاده و همکاران (Mohtadi & Taghizadeh, 2017) گزارش کردند که با افزایش غلظت مس، میزان کربوهیدرات در گیاه علف چشمه افزایش یافت که با نتایج این تحقیق هماهنگ است. در این پژوهش در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، بیشترین میزان تجمع کربوهیدرات مربوط به ژنوتیپ‌های ۱۱، ۵۷، ۵۸ و ۸۵ و کمترین میزان تجمع کربوهیدرات مربوط به ژنوتیپ‌های ۲۱، ۲۲، ۲۳ و ۵۵ بود (جدول ۶). در گیاهان یکی از علائم تنش،

میزان کلروفیل کل هم با افزایش غلظت مس روند افزایشی نشان داد (شکل ۴).

جدول ۲- آنالیز واریانس اثر غلظت‌های مختلف مس بر برخی از صفات بیوشیمیایی گیاه آزیلوپس تائوشی

Table 2. Analysis of variance of the effect of different concentrations of copper on some biochemical traits of *Aegilops tauschii*

میانگین مربعات MS		درجه آزادی		منابع تغییرات	
پرولین Proline	کربوهیدرات Carbohydrate	df		SV	
1832.04**	4.29**	3	Stress		تنش
43.15**	3.029**	36	Genotype		ژنوتیپ
8.87**	2.07**	108	Sress*Genotype		تنش × ژنوتیپ
2.57	1.3	32	Error		خطای کل
18.8	19.6			CV%	

\*\* : معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد.

\*\* : significant at 1% probability level.

جدول ۳- آنالیز واریانس اثر غلظت‌های مختلف مس بر برخی صفات فیزیولوژیکی گیاه آزیلوپس تائوشی

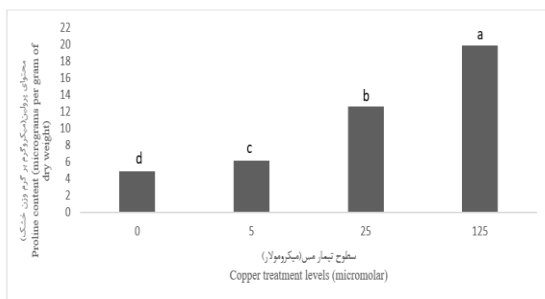
Table 3. Analysis of variance of the effect of different concentrations of copper on some physiological traits of *Aegilops tauschii*

میانگین مربعات MS								درجه آزادی		منابع تغییرات	
تلفات نسبی آب برگ RWL	شاخص پایداری غشاء MSI	محتوی نسبی آب برگ RWC	آب حفظ شده برگ ELWR	کاروتنوئید Carotenoid	کلروفیل کل Chlorophyll	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل a Chlorophyll a	df	SV		
4454.7**	1773.05**	133.5**	582.2**	2573490.5**	1019.4**	278.9۹**	2251.3**	3	Stress		تنش
9808.5**	933.9**	45.84**	201.03**	3382977.4**	481.9**	403.08**	450.6**	36	Genotype		ژنوتیپ
9556.9**	604.8**	67.72**	97.04**	1710833.5**	364.8**	198.5**	163.9**	108	Sress*Genotype		تنش × ژنوتیپ
1.02	4.89	1.26	5.35	6934.2	1.26	7.79	4.781	32	Error		خطای کل
17.3	14.1	15.13	14.18	23.32	16.18	22.2	19.12		CV%		

\*\* : معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد.

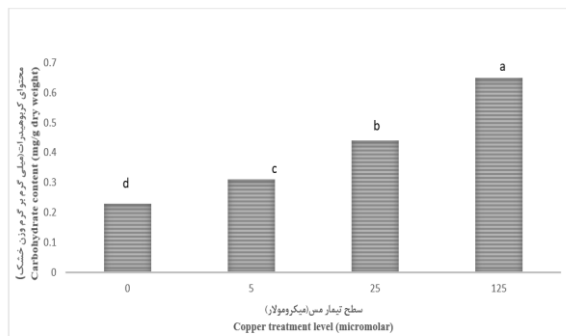
\*\* : significant at 1% probability level.





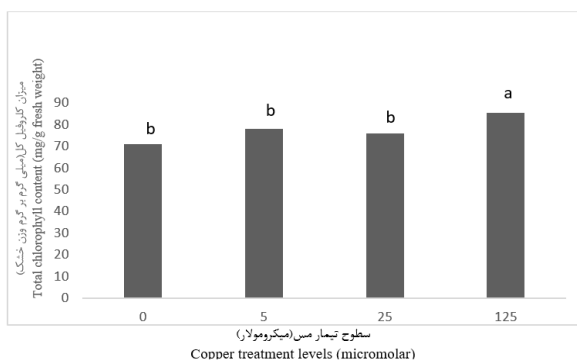
شکل ۲- اثر غلظت‌های مختلف مس بر محتوی پرولین در آژیلوپس تائوشی

Figure 2. The effect of different concentrations of copper on proline content in *Aegilops tauschii*



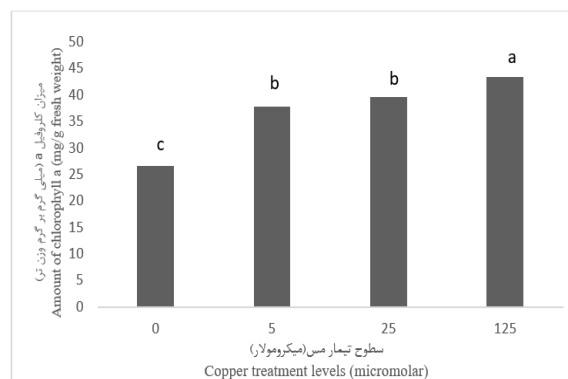
شکل ۱- اثر غلظت‌های مختلف مس بر میزان کربوهیدرات در آژیلوپس تائوشی

Figure 1. Effect of different concentrations of copper on carbohydrate content in *Aegilops tauschii*



شکل ۴- اثر غلظت‌های مختلف مس بر میزان کلروفیل کل در آژیلوپس تائوشی

Figure 4. The effect of different concentrations of copper on total chlorophyll content in *Aegilops tauschii*



شکل ۳- اثر غلظت‌های مختلف مس بر میزان کلروفیل a در آژیلوپس تائوشی

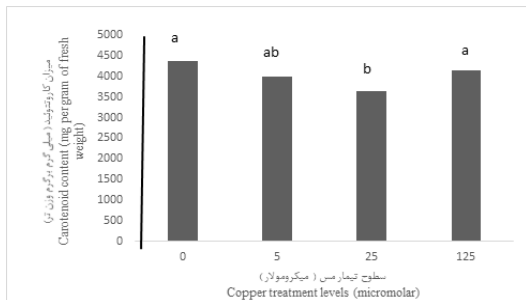
Figure 3. The effect of different concentrations of copper on the amount of chlorophyll a in *Aegilops tauschii*

میکرومولار مس، به صورت معنی داری افزایش یافت (شکل ۴). تیمار ۲۵ میکرومولار مس کاهش ۱۶/۹۱ درصدی را نسبت به تیمار شاهد نشان داد. محتوی نسبی آب برگ (شکل ۷) و آب حفظ شده برگ (شکل ۸) نیز با افزایش غلظت مس روندی کاهشی نشان دادند. افزایش میزان مس،

در غلظت‌های پایین، میزان کلروفیل b نسبت به شاهد کاهش یافت ولی با افزایش سطح تنش در تیمار ۱۲۵ میکرومولار مس، میزان کلروفیل b افزایش یافت (شکل ۵). همچنین با افزایش سطوح تنش از ۵ تا ۲۵ میکرومولار، میزان کاروتنوئید کاهش غیرمعنی دار ولی در تیمار ۱۲۵

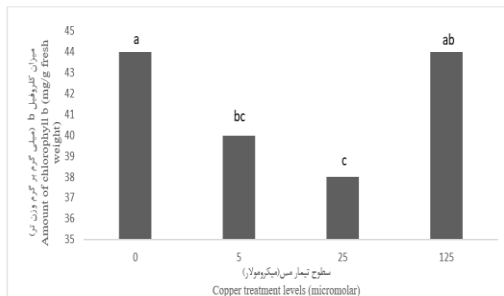
علت مهار شدن مراحل مختلف سنتز کلروفیل کاهش می‌یابد، فلزات سنگین بر واکنش‌های نوری فتوسنتز اثر مستقیم و غیرمستقیم دارند که اثر مستقیم شامل اثر بر احیا NADP و فسفریلاسیون نوری می‌باشد و اثرات غیرمستقیم شامل تأثیر بر فرآیند سنتز و تجزیه کلروفیل، تغییر در نسبت کلروفیل a به b و رقابت با سایر فلزات ضروری است (Aggarwal *et al.*, 2012). کاهش کلروفیل پس از اعمال تیمارهای مس ممکن است مربوط به توقف عمل آنزیم‌های دخیل در سنتز کلروفیل و یا تجزیه کلروفیل باشد. با افزایش غلظت مس در خاک، محتوی کلروفیل در گیاه کلم چینی افزایش یافت که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد (Xiong & Wang, 2005). رستمی و همکاران (Rostami *et al.*, 2015) نشان دادند که غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم کربنات مس و نیترات روی سبب افزایش محتوی کلروفیل کل و کلروفیل a در برگ زعفران نسبت به شاهد شد که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد. افزایش میزان کلروفیل کل و کلروفیل a با افزایش سطوح مس می‌تواند یک راهکار مقاومتی برای ژنوتیپ‌های گیاه آژیلوپس تائوشی باشد که این امر در ژنوتیپ‌های ۱۱، ۳۰، ۵۶ و ۵۸ برای کلروفیل کل و ۱۷، ۶۲، ۸۵ و ۱۲۰ برای کلروفیل a بسیار بارز بود. در این پژوهش میزان کلروفیل b با افزایش غلظت مس کاهش یافت که کمترین میزان کاهش در ژنوتیپ‌های ۱۱، ۵۷، ۵۸ و ۱۲۲ مشاهده شد.

روند مشابه از نظر میزان تلفات نسبی آب برگ (شکل ۹) نداشت؛ طوری که غلظت ۵ میکرومولار مس باعث کاهش میزان تلفات نسبی آب برگ نسبت به شاهد ولی غلظت‌های ۲۵ و ۱۲۵ میکرومولار مس نسبت به شاهد روندی افزایشی را در گیاه آژیلوپس تائوشی نشان دادند. کمترین تلفات نسبی آب برگ در غلظت ۵ و بیشترین تلفات آب نسبی برگ در غلظت ۱۲۵ میکرومولار مس مشاهده شد. غلظت ۱۲۵ میکرومولار مس افزایش ۴۶/۵۹ درصدی نسبت به سطح شاهد و غلظت ۵ میکرومولار مس کاهش ۱۱/۴۵ درصدی نسبت به سطح شاهد نشان داد (شکل ۹). همان‌طور که شکل ۱۰ نشان می‌دهد، در این رابطه می‌توان احتمال داد که در سطح تیمار ۱۲۵ میکرومولار مس، گیاه آژیلوپس تائوشی توانسته از مکانیسم‌های استفاده از پروتئین‌های دیواره سلولی مانند پروتئین‌های LEA که در اواخر دوران جنینی تولید می‌شوند و باعث استحکام دیواره سلولی می‌گردند، از نشت یونی جلوگیری کند. با افزایش غلظت مس تا ۲۵ میکرومولار، میزان آسیب به غشای سلولی افزایش یافت و از تیمار ۲۵ به ۱۲۵ میکرومولار مس کاهش ناچیزی نشان داد و اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای مس و شاهد وجود داشت؛ به طوری که کمترین آسیب به غشای سلولی نسبت به سطح شاهد در غلظت ۵ میکرومولار و بیشترین آسیب در غلظت ۲۵ میکرومولار مس مشاهده شد (شکل ۱۰). کلروفیل در گیاهان تحت تنش فلزات سنگین به



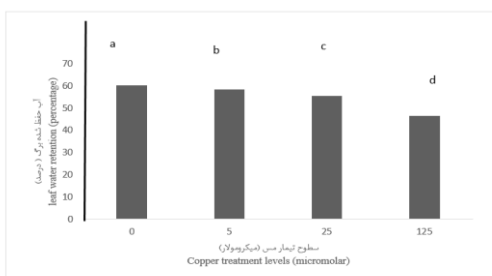
شکل ۶- اثر غلظت‌های مختلف مس بر میزان کاروتنوئید در آژیلوپس تائوشی

Figure 6. Effect of different concentrations of copper on carotenoid content in *Aegilops tauschii*



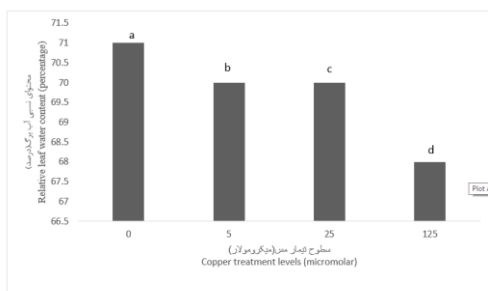
شکل ۵- اثر غلظت‌های مختلف مس بر میزان کلروفیل b در آژیلوپس تائوشی

Figure 5. The effect of different concentrations of copper on chlorophyll b content in *Aegilops tauschii*



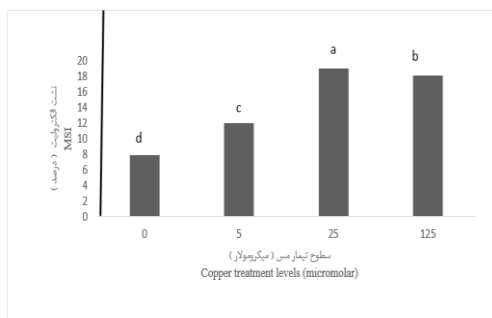
شکل ۸- اثر غلظت‌های مختلف مس بر میزان آب حفظ شده برگ در آژیلوپس تائوشی

Figure 8. The effect of different concentrations of copper on the amount of water retained in leaves in *Aegilops tauschii*



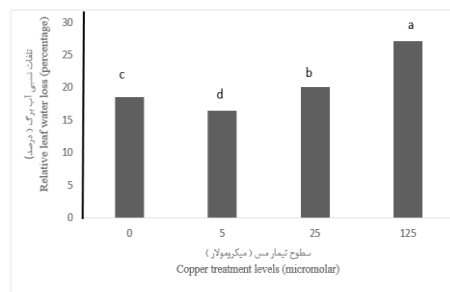
شکل ۷- اثر غلظت‌های مختلف مس بر محتوای نسبی آب برگ در آژیلوپس تائوشی

Figure 7. Effect of different concentrations of copper on the relative water content of leaves in Taoshi agilops



شکل ۱۰- اثر غلظت‌های مختلف مس بر شاخص پایداری غشا در آژیلوپس تائوشی

Figure 10. Effect of different concentrations of copper on membrane stability index in *Aegilops tauschii*



شکل ۹- اثر غلظت‌های مختلف مس بر تلفات نسبی آب برگ در آژیلوپس تائوشی

Figure 9. Effect of Different Concentrations of Copper on Relative Leaf Water Loss in *Aegilops tauschii*

میزان کاهش در ژنوتیپ‌های ۱۶، ۶۳، ۸۳ و ۱۲۰ مشاهده شد. میزان تلفات نسبی آب برگ در این تحقیق با افزایش سطوح مس افزایش داشت که بیشترین افزایش در ژنوتیپ‌های ۱۴، ۴۹، ۱۲۳ و ۱۲۴ و کمترین آن در ژنوتیپ‌های ۱۱، ۵۸، ۱۰۰ و ۱۲۲ مشاهده شد. همچنین آب حفظ شده برگ در این تحقیق روندی کاهشی داشت که کمترین کاهش در ژنوتیپ‌های ۴۶، ۵۵، ۵۸ و ۸۳ بارز بود. شاخص پایداری غشاء به‌عنوان شاخصی برای ارزیابی تحمل گونه‌های مختلف گیاهی به تنش به کار می‌رود و برآوردی از نشت الکترولیت است (Sudhakar *et al.*, 2001). از دیگر اثرات مخرب فلزات سنگین تخریب غشا سلولی می‌باشد، که این عمل از طریق فعال شدن و تجمع رادیکال‌های آزاد و به دنبال آن تنش اکسیداتیو می‌باشد (Kitahata *et al.*, 2006). یکی از دلایل اصلی کاهش تورژانس سلولی در گیاهان تحت تنش فلزات سنگین، خروج ترکیبات محلول به‌ویژه پتاسیم از سلول به‌واسطه آسیب‌های غشایی می‌باشد (Wainwright & Woolhouse, 1997). با افزایش غلظت مس میزان نشت الکترولیت و نفوذپذیری غشا در ذرت افزایش یافت و پایداری غشاء کاهش یافت که با نتایج این پژوهش همسو است (Liu *et al.*, 2003). هدایت نسبی و نشت الکترولیتی در گیاه کلم چینی با افزایش مس افزایش یافت که با نتایج این تحقیق همسو است (Xiong & Wang, 2005). مس در گندم باعث آسیب به غشای سلول می‌شود و نشت غشایی ایجاد می‌کند که با نتایج این پژوهش

کاروتنوئیدها نوعی از رنگیزه‌های فتوسنتزی در گیاهان هستند که در حفاظت نوری گیاه در مقابل انواع گونه‌های فعال اکسیژن در طی فتوسنتز و در پایداری غشا نقش دارند (Lobato *et al.*, 2009). کاروتنوئیدها نقش مهمی در مقابله با تنش‌های اکسیداتیو دارند؛ به‌طوری‌که با جمع کردن رادیکال‌های آزاد موجب حفاظت گیاه در برابر تنش اکسیداتیو می‌شوند (Behera *et al.*, 2002). تجزیه بتاکاروتن و تشکیل زنازاترین در چرخه گزانتوفیل در گیاهان باعث کاهش مقدار کاروتنوئید در شرایط تنش می‌گردد (Sultana *et al.*, 1999). در برگ‌های گیاه جو سمیت فلز مس از تشکیل کلروفیل جلوگیری کرده و موجب افزایش تخریب کاروتنوئید شده است که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد (Luna *et al.*, 1994). میزان کاروتنوئید در این تحقیق روندی کاهشی داشت. کمترین میزان کاهش در ژنوتیپ‌های ۱۱، ۵۷، ۵۸ و ۸۵ بود. افزایش غلظت فلزات سنگین در گیاهان باعث کاهش جذب آب به‌وسیله سلول‌های ریشه و یا کاهش انتقال آب به بخش‌های هوایی می‌شود (Zaier *et al.*, 2010). خاوری نژاد و همکاران (Khaveri Nejad *et al.*, 2010) گزارش کردند که با افزایش غلظت مس محتوی نسبی آب برگ در گیاه لوبیا کاهش یافت که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد. کاهش کشسانی دیواره سلول از علل مهم کاهش محتوی نسبی آب برگ است (Becerril *et al.*, 1998). محتوی نسبی آب برگ در این تحقیق روند کاهشی داشت و کمترین

تائوشی کاهش معنی‌داری نشان داد. همچنین تنها اختلاف معنی‌دار نسبت به سطح شاهد در غلظت ۱۲۵ میکرومولار مس مشاهده شد که کاهش ۱۴/۳۸ درصدی را نسبت به شاهد نشان می‌دهد. در این پژوهش بیشترین اندازه قطر دانه در ژنوتیپ‌های ۳۹، ۴۹، ۸۵ و ۱۲۳ مشاهده شد و همچنین کمترین اندازه قطر دانه در ژنوتیپ‌های ۲۳، ۲۸، ۳۰ و ۸۳ در گیاه آزیلوپس تائوشی مشاهده شد. بر اساس شکل ۱۳ با افزایش غلظت مس در محیط، وزن ریشه روندی افزایشی داشت و بیشترین افزایش وزن ریشه در غلظت ۱۲۵ میکرومولار مس و کمترین افزایش وزن ریشه در غلظت ۵ میکرومولار مس نسبت به شاهد مشاهده شد. وزن ریشه در ژنوتیپ‌های ۱۱، ۱۶، ۳۴ و ۳۹ بیشترین مقدار و در ژنوتیپ‌های ۱۴، ۵۷، ۱۲۳ و ۱۲۴ کمترین مقدار را داشت. با توجه به شکل ۱۴ در بین غلظت‌های شاهد، ۵ و ۲۵ میکرومولار مس و همچنین در بین غلظت‌های ۲۵ و ۱۲۵ میکرومولار مس اختلاف معنی‌داری وجود نداشت اما در بین تیمارهای ۱۲۵ و ۵ میکرومولار مس و همچنین در بین تیمارهای ۱۲۵ میکرومولار و شاهد اختلاف معنی‌داری مشاهده شد. مس در غلظت ۱۲۵ میکرومولار باعث افزایش طول ریشه شد به طوری که طول ریشه در غلظت ۱۲۵ میکرومولار ۱۷/۸۴ درصد بیشتر از شاهد بود.

همخوانی دارد (Quartacci *et al.*, 2001). در این تحقیق با افزایش سطوح مس میزان نشت الکترولیت افزایش یافت و پایداری غشاء سلول کاهش یافت که کمترین میزان آسیب به غشای سلولی در ژنوتیپ‌های ۱۱، ۵۵، ۶۶ و ۸۳ مشاهده شد (جدول ۶).

### اثر سطوح مختلف مس بر صفات مورفولوژیک گیاه آزیلوپس تائوشی

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از تجزیه واریانس (جدول ۵) اثر تنش مس و ژنوتیپ و اثر متقابل آن‌ها بر عملکرد تک بوته، قطر دانه، طول ریشه و وزن خشک ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. برای صفت عملکرد تک بوته بیشترین اختلاف معنی‌دار با شاهد در تیمار ۱۲۵ میکرومولار مس و کمترین اختلاف معنی‌دار در تیمار ۲۵ میکرومولار مشاهده شد (شکل ۱۱). تیمار ۱۲۵ میکرومولار مس کاهش ۱۸/۶۶ درصدی و تیمارهای ۲۵ و ۵ میکرومولار مس به ترتیب کاهش ۱۶/۰۲ درصدی و ۱۴/۵۹ درصدی را نسبت به سطح شاهد نشان دادند. در بررسی میزان عملکرد تک بوته تحت اثر غلظت‌های مختلف مس در گیاه آزیلوپس تائوشی، بیشترین میزان عملکرد تک بوته مربوط به ژنوتیپ‌های ۱۱، ۵۸، ۶۳ و ۹۹ و کمترین میزان آن مربوط به ژنوتیپ‌های ۲۳، ۲۸، ۳۰ و ۱۲۳ بود. با توجه به شکل ۱۲ با افزایش غلظت مس، قطر دانه در گیاه آزیلوپس

جدول ۵- آنالیز واریانس اثر غلظت‌های مختلف مس بر برخی از صفات مورفولوژیکی گیاه آژیلوپس تائوشی  
**Table 5. Analysis of variance of the effect of different concentrations of copper on some morphological traits of *Aegilops tauschii***

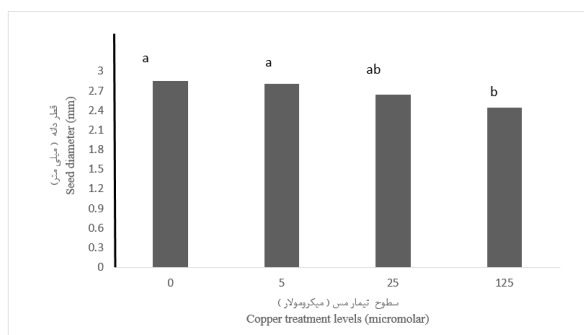
میانگین مربعات MS					
وزن ریشه Root weight	طول ریشه Root length	قطر دانه Grain diameter	عملکرد تک بوته Yeild	درجه آزادی df	منابع تغییرات SV
8.5**	144.3**	3.49**	32.48**	3	تنش Stress
7.8**	17.63**	5.21**	28.3**	36	ژنوتیپ Genotype
6.7**	10.48**	3.834**	18.9**	108	تنش × ژنوتیپ Stress*Genotype
1.25	4.3	1.9	10.85	32	خطای کل Error
22.7	19.6	24.35	23.2		CV%

\*\* : معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد.

\*\* : significant at 1 % probability level.

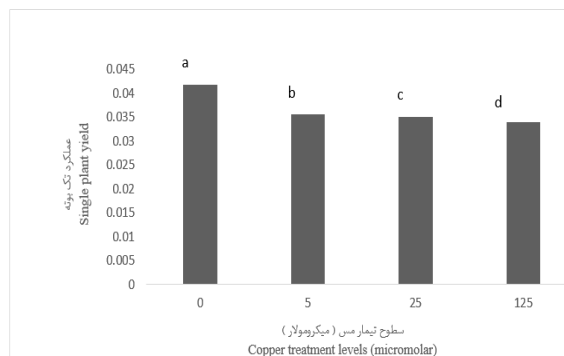
فتوسنتزی منتقل شده می‌شود و در صورت هرگونه تنش که باعث کم شدن منبع گردد، وزن دانه و عملکرد خوشه کاهش پیدا می‌کند. عملکرد دانه به ذخایر قبل از مرحله‌ی زایشی بستگی دارد که به‌وسیله فرآیند انتقال مجدد به دانه‌ها منتقل می‌شود (Gambin & Borrás, 2007).

در این پژوهش ژنوتیپ‌های ۱۶، ۳۰، ۳۹ و ۶۳ بیشترین طول ریشه و ژنوتیپ‌های ۱۴، ۵۷، ۹۹ و ۱۲۳ کمترین مقدار را در غلظت‌های مختلف مس داشتند. وزن دانه در گیاهان تحت تاثیر مستقیم انتقال مواد فتوسنتزی می‌باشد، لذا افزایش در تعداد پنجه‌های بارور باعث افزایش حجم مواد



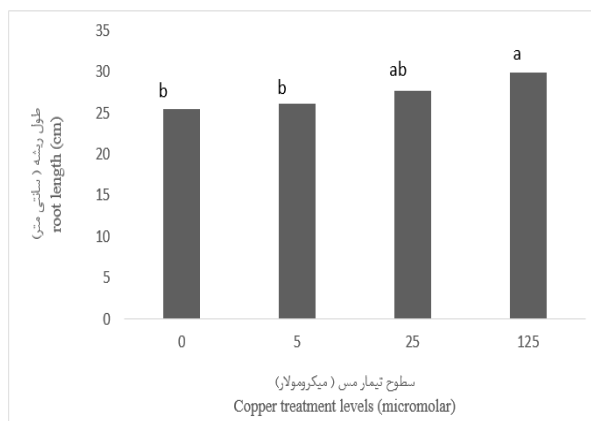
شکل ۱۲- اثر غلظت‌های مختلف مس بر قطر دانه در آژیلوپس تائوشی

Figure 12. Effect of different concentrations of copper on grain diameter in *Aegilops tauschii*



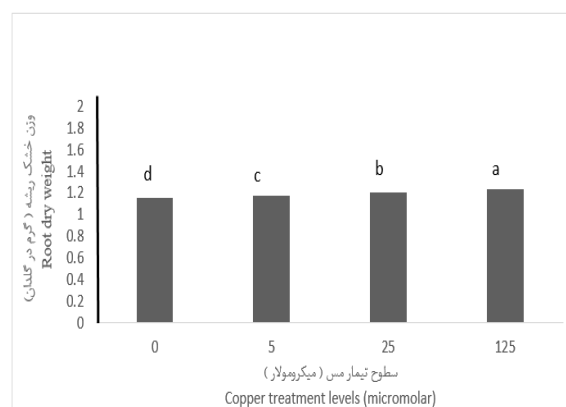
شکل ۱۱- اثر غلظت‌های مختلف مس بر عملکرد تک بوته در آژیلوپس تائوشی

Figure 11. The effect of different concentrations of copper on single plant yield in *Aegilops tauschii*



شکل ۱۴- اثر غلظت‌های مختلف مس بر طول ریشه در آژیلوپس تائوشی

Figure 14. Effect of different concentrations of copper on root length in *Aegilops tauschii*



شکل ۱۳- اثر غلظت‌های مختلف مس بر وزن ریشه در آژیلوپس تائوشی

Figure 13. Effect of different concentrations of copper on root weight in *Aegilops tauschii*

### نتیجه‌گیری نهایی

بر اساس نتایج این پژوهش، از میان ۳۷ ژنوتیپ گیاه آژیلوپس تائوشی، ژنوتیپ‌های ۱۱، ۵۸ و ۸۵ با داشتن بیشترین مقادیر شاخص‌های مورفولوژیک، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی، مقاوم به فلز مس بودند که در بین آنها ژنوتیپ ۵۸ با بیشترین میزان عملکرد به‌عنوان ژنوتیپ مقاوم و ژنوتیپ‌های ۲۳، ۲۸، ۳۰، ۵۲، ۹۹ و ۱۲۳ به‌عنوان ژنوتیپ‌های حساس شناخته شدند، که در بین آنها ژنوتیپ ۹۹ با کمترین عملکرد به‌عنوان حساسترین ژنوتیپ معرفی می‌گردد. به‌طور کلی می‌توان نتیجه‌گیری کرد که گیاه آژیلوپس تائوشی گیاهی مقاوم به تنش فلز سنگین مس و خشکی می‌باشد. نتایج این پژوهش می‌تواند زمینه ساز شناسایی ژن‌های مقاوم به سمیت فلزات سنگین در گندم‌های وحشی آژیلوپس تائوشی باشد که با شناسایی این ژن‌ها و انتقال آن‌ها به گونه‌های زراعی باعث افزایش مقاومت

کاهش رشد ریشه ممکن است به‌دلیل لیگنیت شدن دیواره سلولی تحت تنش فلز سنگین باشد (Almeida *et al.*, 2007) فلزات سنگین بر گیاهان اثر منفی دارند و باعث کاهش حجم و وزن ریشه گیاهان می‌شوند (Menon *et al.*, 2007). اثر سمیت مس بر روی ساختار ریشه شبیه اثر سمیت آلومینیوم بوده و باعث می‌شود تا رشد، تکثیر و تعداد تارهای کشنده کاهش پیدا کند (Quartacci *et al.*, 2001). در مطالعات اثرات سمی فلزات طول ریشه یکی از صفات مهم می‌باشد چراکه ریشه گیاهان به سمیت فلزات بسیار حساس می‌باشد (Shulan *et al.*, 2010). در واقع فلزات سنگین با تأثیر بر فعالیت میتوزی، روی رشد ریشه و در نهایت با کاهش رشد ریشه، بر رشد اندام هوایی تأثیر می‌گذارند (Shulan *et al.*, 2010). بنابراین افزایش طول ریشه با افزایش سطوح مس در این تحقیق می‌تواند یک راهکار مقاومتی ژنوتیپ‌های گیاه آژیلوپس تائوشی باشد.

گونه‌های زراعی گندم به فلزات سنگین شده و امکان کشت آنها در خاک‌های با درصد بالای عناصر سنگین فراهم می‌گردد.

### **تشکر و قدردانی**

از دانشکده علوم دانشگاه رازی به جهت فراهم کردن امکانات لازم برای اجرای این تحقیق تشکر و قدردانی می‌شود.



## جدول شماره ۶- میانگین صفات مورد مطالعه در ژنوتیپ های آجیلوپس

Table No. 6 - Mean of studied traits in *Aegilops* genotypes

کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کاروتنوئید	پروлін	کربوهیدرات	ژنوتیپ
Chlorophyll a	Chlorophyll b	Chlorophyll	Carotenoid	Prolin	Carbohydrate	Genotype
55.70	31.58	71.8	3192.5	12.96	0.385	17
28.07	41.92	70.3	4171.2	9.10	0.408	46
30.88	38.93	78.8	3808.3	11.05	0.383	55
22.41	52.46	84.8	5130.6	9.25	0.478	57
29.6	41.52	80.03	4154.1	7.19	0.416	123
43.66	35.35	81.4	3539.2	11.30	0.403	35
28.64	55.87	98.05	5445.5	16.46	0.464	58
54.95	24.4	64.76	2614.8	9.05	0.444	99
33.49	64	102.7	6134.02	11.80	0.478	11
24.82	33.9	70.21	3466.7	10.96	0.425	25
27.32	33.51	76.68	3377.2	14.72	0.423	34
30.58	48.32	73.04	4673.3	10.67	0.417	16
34.35	33.5	89.2	3374.4	1.85	0.427	56
37.10	43.74	71.8	4317.3	9.54	0.203	21
55.12	51.09	81.98	5002.2	11.8	0.465	85
32.88	25.74	48.16	2550.05	11.01	0.456	52
33.96	50.36	79.96	4941.7	10.21	0.42	66
29.94	38.57	82.01	3769.8	8.01	0.01	22
31.40	51.35	80	4977.3	10.87	0.418	122
35.77	24.32	79.35	2512.04	9.13	0.461	121
37.41	46.62	80.12	4498.3	9.74	0.415	83
34.18	39.39	64.22	4025.7	10.20	0.350	23
61.54	40.39	67.72	4931.7	12.58	0.442	120
37.54	43.09	73.67	4203.9	7.97	0.433	24
30.88	46.76	79.64	4626.6	11.05	0.383	124
22.41	46.99	80.96	4631.03	9.25	0.442	100
29.6	45.74	75.68	4375.1	7.19	0.416	39
43.44	37.41	68.81	3717.7	11.3	0.403	63

## ادامه جدول ۶

Table 6. Continued

کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کاروتنوئید	پرولین	کربوهیدرات	ژنوتیپ
Chlorophyll a	Chlorophyll b	Chlorophyll	Carotenoid	Prolin	Carbohydrate	Genotype
۲۸,۶۴	32.73	68.50	3331.7	12.96	0.433	14
54.95	45.34	82.75	4464.8	9.05	0.444	79
33.49	45.65	79.84	4518.4	7.12	0.442	49
24.82	43.14	104.6	4171.8	10.96	0.425	30
27.32	34.82	72.36	3442.7	14.72	0.423	110
30.58	29.15	74.03	2972.1	10.67	0.417	28
44.87	44.17	78.52	4293.1	15.26	0.458	36
55.7	37.28	74.39	3740.6	16.46	0.385	62
28.07	33.22	88.34	3387.05	9.1	0.408	15

## ادامه جدول ۶

Table 6. Continued

عملکرد تک بوته (کیلوگرم) Yeild (kg)	طول ریشه (سانتیمتر) Root length (cm)	وزن ریشه (گرم) Root weight (g)	ژنوتیپ Gynotype	عملکرد تک بوته (کیلوگرم) Yeild(kg)	طول ریشه (سانتیمتر) Root length (cm)	وزن ریشه (گرم) Root weight (g)	ژنوتیپ Genotype
0.004	0.793	27.2	122	0.045	3.17	27.32	36
0.053	2.97	26.64	121	0.05	3.00	27.12	62
0.007	0.772	28.07	83	0.052	2.78	27.1	15
0.004	0.001	27.5	23	0.03	3.2	27.01	124
0.047	3.17	27.01	120	0.038	3.22	26.25	100
0.008	3.00	26.87	24	0.017	4.06	29.7	39
0.046	3.27	26.87	17	0.108	2.98	28.75	63
0.019	3.09	27.00	46	0.028	2.38	25.25	14
0.009	3.32	26.25	55	0.027	2.65	28.62	79
0.059	2.67	25.57	57	0.075	3.71	28.07	49
0.053	3.48	25.56	123	0.001	0.001	28.87	30
0.007	2.89	26.00	35	0.057	3.01	28.12	110
0.124	2.95	26.00	58	0.001	0.001	28.7	28
0.101	3.26	25.75	99	0.038	2.52	27.75	56
0.078	3.00	28.62	11	0.049	3.04	28.45	21
0.062	2.74	28.12	25	0.034	3.73	28.00	85
0.034	2.94	28.62	34	0.014	2.1	27.62	52
0.035	2.64	28.7	16	0.027	3.3	27.62	66
				0.031	3.41	28.07	22

## ادامه جدول ۶

Table 6. Continued

محتوای نسبی آب برگ RWC	تلفات نسبی آب برگ RWL	آب حفظ شده برگ ELWR	شاخص پایداری غشا MSI	ژنوتیپ Genotype	محتوای نسبی آب برگ RWC	تلفات نسبی آب برگ RWL	آب حفظ شده برگ ELWR	شاخص پایداری غشا MSI	ژنوتیپ Genotype
69.57	17.20	28.42	16.74	121	75.24	22.21	58.9	18.75	63
69.25	22.18	60.19	25.74	62	74.29	20.29	57.95	-21.25	83
69.12	18.25	57.62	42.22	52	73.75	21.09	50.41	13.15	120
69.00	18.34	54.97	15.81	15	73.64	20.87	58.7	-9.26	16
68.92	15.63	62.53	15.41	122	60.54	18.07	65.29	22.4	46
68.75	21.26	62.37	-20.35	66	72.23	22.38	54.65	23.29	17
68.56	20.30	63.23	22.27	39	72.13	21.8	40.25	22.15	56
68.54	18.61	61.73	11.12	24	71.00	19.5	58.1	8.49	25
68.21	19.86	62.61	19.63	34	70.79	20.26	58.61	17.39	85
67.75	25.33	57.99	7.78	123	63.32	21.09	53.76	20.05	35
67.54	17.4	45.48	12.13	21	70.78	22.09	50.26	12.28	28
67.20	23.63	52.91	6.8	124	65.01	26.11	62.1	24.95	14
66.95	20.36	56.37	1.32	57	64.61	22.29	56.04	44.14	110
66.89	21.29	67.07	-17.37	55	63.94	18.25	49.31	4.05	79
66.61	25.38	58.16	2.00	49	63.48	16.91	69.61	22.1	100
66.18	21.6	55.49	19.39	22	72.51	15.55	54.07	-13.54	11
66.16	18.25	63.82	28.51	23	69.95	19.75	52.21	39.45	30
65.86	19.62	45.16	26.89	99	69.93	15.37	64.45	11.86	58
					69.62	19.34	55.05	22.29	36

## References

- Agrawal, A., Sharma, I., Tripathi, B. N., Munjal, A. K., Baunthiyal, M. and Sharma, V. 2012. Metal toxicity and photosynthesis. In: Photosynthes: Overview on rescent progress and future perspectives (eds.) Shigeru, I., Mohanty, P. Guruprasad, K. pp. 229-236. International Publisher, New Delhi.
- Almeida, A. A. F. D., Valle, R. R., Mielke, M. S., & Gomes, F. P. 2007. Tolerance and prospection of phytoremediator woody species of Cd, Pb, Cu and Cr. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 19 (2), 83-98.
- Arnon, D. I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, 24 (1): 1-16.
- Azizpour, K., Shakiba, M., Khosh, Kholgh. Sima, N., Alyari, H., Moghadam M., Esfandiari, E. & Pessarakli M. 2010. Physiological response of spring durum wheat genotypes to salinity. *Journal of Plant Nutrition*, 33 (6): 859-873.
- Bajji, M., Lutts, S. J., & Kinet, M. 2001. Water deficit effects on solute ontribution to osmotic adjustment as function of leaf ageing in three durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars performing differently in arid conditions. *Plant Science*, 160 (4): 669–681.
- Barzin, M., Kheirabadi, H., & Afyuni, M. 2015. An investigation into pollution of selected heavy metals of surface, water and soil science. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 19 (72): 69-79 (In Persian).
- Bates, I. S. R. P., Waldern. & Teare, I. D. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil*, 39: 205-207.
- Becerril, J. M., González-Murua, C., Muñoz-Rueda, A., De, M. R., Becerril, J. M., González-Murua, C. & Muñoz-Rueda, A. 1998. Changes induced by cadmium and lead in gas exchange and water relations. *Plant Physiology and Biochemistry*, 27 (6): 913- 918.
- Behera, R. K., Mishra, P. C. & Choudhury, N. K. 2002. High irradiance and water stress induce alterations in pigment composition and chloroplast activities of primary wheat leaves. *Journal of Plant Physiology*, 159 (9): 967-973.
- Brini, F., Hanin, M., Lumbreras, V., Amara, I., Khoudi, H., Hassairi, A. & Masmoudi, K. 2007. Overexpression of wheat dehydrin DHN-5 enhances tolerance to salt and osmotic stress in *Arabidopsis thaliana*. *Plant cell reports*, 26 (11): 2017-2026.
- Clarke, G. 1982. Excised leaf water retention capacity as an indicator of drought resistance of *Triticum* genotypes. *Canadian Journal of Plant Science*, 62 (3): 571-576.

- Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Fischer, A., Kwapuliński, J., Wiechula, D., Fischer, T. & Loska, M. 1956. The occurrence of copper in deciduous teeth of girls and boys living in Upper Silesian Industry Region (Southern Poland), *Science of the total environment. Analytical Chemistry*, 28 (2-3): 350-356.
- Dvorak, J., Luo, M. C., Yang, Z. L. & Zhang, H. B. 1998. The structure of the *Aegilops tauschii* gene pool and the evolution of hexaploid wheat. *Theoretical and Applied Genetics*, 97 (4): 657-670.
- Fageria, N. K. 2001. Adequate and toxic levels of copper and manganese in upland rice, common bean, corn, soybean, and wheat grown on an oxisol. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 32 (9-10): 1659-1676.
- Gambin, B. L. & Borrás, L. 2007. Plasticity of sorghum kernel weight to increase assimilate availability. *Field Crops*, 100 (2): 272-284.
- Ghosh, M. & Singh, S. P. 2005. A review on phytoremediation of heavy metals and utilization of it's by products. *Asian J Energy Environ*, 6 (4) 214-231.
- Khaveri Nejad, R. A., Najafi, F., & Babri Bonab, R. 2010. Effects of different concentration of copper sulfat ( $\text{CuSO}_4$ ) on certain physiological parameters of Bean (*Phaseolus vulgaris* L.), *Quartely Journal of biological Science*, 4 (11): 77-85. (In Farsi with English abstract)
- Kitahata, N., Han, S. Y., Noji, N., Saito, T., Kobayashi, M., Nakano, T., & Tsujimoto, M. 2006. A 9-cis-epoxycarotenoid dioxygenase inhibitor for use in the elucidation of abscisic acid action mechanisms. *Bioorganic and medicinal chemistry*, 14 (16): 5555-5561.
- Liu, D., Jiang, W. & Gao, X. 2003. Effects of cadmium on root growth, cell division and nucleoli in root tip cells of garlic. *Biologia plantarum*, 47 (1): 79-83.
- Lobato, A. K. S., Costa, R. C. L., Neto, M. A. M., Oliveira, N., Santos, F., Alves, G. A. R. & Coimbra, G. K. 2009. Responses of the photosynthetic pigments and carbon metabolism in *Vigna unguiculata* cultivars submitted to water deficit. *Research Journal of Biological Sciences*, 4 (5): 593-598.
- Luna, C. M., González, C. A. & Trippi, V. S. 1994. Oxidative damage caused by an excess of copper in oat leaves, *Plant and Cell Physiology*. 35 (1): 11-15.
- Menon, M., Hermle, S., Günthardt-Goerg, M. S. & Schulin, R. 2007. Effects of heavy metal soil pollution and acid rain on growth and water use efficiency of a young model forest ecosystem. *Plant and soil*, 297 (1): 171-183.
- Noorani, A. H., & Kafilzadeh, F. 2011. The effect of cadmium toxicity on growth, soluble sugars, photosynthetic pigments and some of enzymes in safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Iranian Journal of Biology*, 24 (6): 857-867.
- Nriagu, J. O. 1989. A global assessment of natural sources of atmospheric trace metals, *Nature*, 338: 47-49.

- Quartacci, M. F., Cosi, E., & Navari-Izzo, F. 2001. Lipids and NADPH-dependent superoxide production in plasma membrane vesicles from roots of wheat grown under copper deficiency or excess. *Journal of Experimental Botany*, 52 (354): 77-84.
- Rostami, M., Karamian, R., & Joulaei, Z. 2015. Effect of different heavy metals on physiological traits of saffron (*Crocus sativus* L.). *Saffron Agronomy and Technology*, 3(2): 83-96 (In Persian).
- Shulan, Z., Qing, L., Yanting, Q., & Lian, D. 2010. Responses of root growth and protective enzymes to copper stress in turfgrass. *Acta Biologica Cracoviencia Series Botanica*, 52 (2): 7-11.
- Sudhakar, C., Lakshmi, A., & Giridarakumar, S. 2001. Changes in the antioxidant enzyme efficacy in two high yielding genotypes of mulberry (*Morus alba* L.) under NaCl salinity. *Plant Science*, 161 (3): 613-619.
- Sultana, N., Ikeda, T., & Itoh, R. 1999. Effect of NaCl salinity on photosynthesis and dry matter accumulation in developing rice grains. *Environmental and Experimental Botany*, 42 (3): 211-220.
- Taghizadeh, M., & Mohtadi, A., A., T. 2017. Investigating of copper effect on growth and physiological characteristics of *Nasturtium officinale*. *Journal of Plant Productions (Agronomy, Breeding and Horticulture)*, 39(4):101-114 (In Persian).
- Theriappan, P., Gupta, A. K., & Dhasarrathan, P. 2011. Accumulation of proline under salinity and heavy metal stress in cauliflower seedlings. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 15 (2): 251-255.
- Wainwright, S. J., & Woolhouse, H. W. 1997. Some physiological aspects of copper and zinc tolerance in *Agrotis tenuis* sibth: cell elongation and membrane damage. *Journal of Experimental Botany*, 28 (4):1029-1036.
- Xiong, Z. T., & Wang, H. 2005. Copper toxicity and bioaccumulation in Chinese cabbage (*Brassica pekinensis* Rupr.). *Environmental Toxicology. An International Journal*, 20 (2): 188-194.
- Zaier, H., Ghnaya T., Lakhdar, A., Baioui, R., Ghabriche, R., Mnasri, M., Sghair, S., Lutts, S., & Abdelly, C. 2010. Comparative study of pb- phytoextraction potential in *Sesuvium portulacastrum* and *Brassica juncea*: tolerance and accumulation. *Journal of Hazardous Materials*, 138 (1-3): 609-615.