Research Article

**Nova Biologica Reperta** 8(2): 130-141 (2021)
Print ISSN: 2423-6330/Online ISSN: 2476-7115
https://nbr.khu.ac.ir; Kharazmi University Press; DOI: 10.29252/nbr.8.2.130

مقاله پژوهشی
**یافته‌های نوین در علوم زیستی**
جلد ۸، شماره ۲، صفحات ۱۳۰ الی ۱۴۱ (۱۴۰۰)
انتشارات دانشگاه خوارزمی

# اثرات منیزیم بر رشد و ویژگی‌های فیزیولوژیک اسفندک در شرایط شوری

**لیلا زرندی میاندوآب، نادر چاپارزاده و حمید فکری شالی**
گروه زیست شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران
مسئول مکاتبات: لیلا زرندی میاندوآب، zarandi@azaruniv.ac.ir

**چکیده.** به منظور بررسی اثر متقابل شوری و منیزیم بر مولفه‌های رشدی، ویژگی‌های فیزیولوژیک و محتوای برخی متابولیت‌ها در گیاه اسفندک، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی طراحی و در پرلیت با استفاده از محلول هوگلند اجرا شد. تیمارها شامل دو سطح شوری (صفر و ۳۰۰ میلی‌مولار کلریدسدیم) و سه سطح از منیزیم شامل غلظت‌های صفر و ۲ و ۶ میلی‌مولار بیشتر از غلظت منیزیم موجود در محلول هوگلند (۲ میلی‌مولار) بودند. بر هم‌کنش شوری و منیزیم تاثیری بر وزن تر کل گیاه نداشت در حالی که موجب افزایش ۵۰ درصدی وزن خشک کل گیاه شد. شوری منجر به کاهش سطح برگ گیاه شد ولی حضور منیزیم باعث بهبود و افزایش سطح برگ گیاه گردید. تیمار منیزیم NAR را کاهش داد، در حالی‌که موجب افزایش LAR و RLGR شد. شوری منجر به کاهش RLGR گردید. در صورتی که برهم‌کنش شوری و منیزیم موجب افزایش و بهبود RGR، LWR، RLGR شد. شاخص بردباری در تیمارهای شوری به همراه منیزیم افزایش یافت ولی نسبت R/S فقط در تیمار شوری افزایش معنی‌دار نشان داد و حضور منیزیم موجب تعدیل آن گردید. شوری محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی را کاهش داد و منیزیم این کاهش را جبران نمود. بر هم‌کنش شوری و منیزیم قند کل برگ را افزایش و قند کل ریشه را کاهش داد. منیزیم و شوری محتوای پروتئین کل همه اندام های گیاه را کاهش داد. به‌طور کلی شوری اثر منفی بر پارامترهای فیزیولوژیک گیاه اسفندک داشت که کاربرد منیزیم تکمیلی موجب بهبود رشد و افزایش شاخص تحمل آن شد.

**واژه‌های کلیدی.** پروتئین، تیره قیچیان، قند، کلرید سدیم، منیزیم

# The effects of magnesium on the growth and physiological characteristics of Syrian bean-caper (*Zygophyllum fabago*) in saline conditions

**Leila Zarandi-Miandoab, Nader Chaparzadeh & Hamid Fekri-Shali**
Department of Biology, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran
Correspondent author: Leila Zarandi-Miandoab, zarandi@azaruniv.ac.ir

**Abstract.** In order to investigate the effects of salinity and magnesium (Mg) on the growth parameters, physiological characteristics and contents of some metabolites in Syrian bean-caper (*Zygophyllum fabago*) plants, a factorial experiment with completely randomized design was performed and carried out in perlite with Hoagland solution. The treatments were combinations of two levels of salinity (0 and 300 mM NaCl) and three levels of Mg concentration (0, 2 and 6 mM excess to the standard Mg content of Hoagland solution). Salinity did not change the fresh weight of the plants, but application of Mg in the growth medium of plants increased the dry weight significantly. Salinity reduced the leaf area, but the presence of Mg improved and even increased the leaf area of the plants. The Mg reduced NAR, while increased LAR and RLGR. Salinity decreased the RLGR. The interaction of salinity and Mg increased and improved RGR, LWR, RLGR. The tolerance index in salinity treatments increased with the presence of Mg. The R/S ratio showed a significant increase only in salinity condition, however, Mg moderated this ratio. Salinity reduced the photosynthetic pigments, however, application of Mg largely alleviated this decrease. The interaction of salinity and Mg increased the total sugar content of the leaves and reduced the total sugar content of the roots. Salinity and Mg reduced the total proteins content of all the organs of the plants. In general, salinity had a negative effect on the physiological parameters of the *Zygophyllum fabago* plants, while the application of supplementary Mg improved the growth indices and increased the plants tolerance against salinity.

**Key words.** magnesium, protein, sodium chloride, sugar, Zygophyllaceae

Received 02.11.2020/ Revised 16.12.2020/ Accepted 29.12.2020/ Published 01.07.2021
دریافت: ۱۳۹۹/۰۸/۱۲/ اصلاح: ۱۳۹۹/۰۹/۲۶/ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۰۹/ انتشار: ۱۴۰۰/۰۴/۱۰



[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28 ]
[ DOR: 20.1001.1.24236330.1400.8.2.5.6 ]
[ DOI: 10.52547/nbr.8.2.130 ]

## مقدمه

گیاهان در محیط زندگی خود با انواعی از تنش‌ها از جمله تنش شوری مواجه هستند. از مشکلات عمده تنش‌ها کاهش میزان تولید محصولات کشاورزی و زیان‌های اقتصادی است. به گزارش صفحه اطلاعات جمعیت جهان ( world population data sheet (PRB)) تا سال ۲۰۵۰ جمعیت کره زمین به ۹/۹ میلیارد نفر خواهد رسید. افزایش شهرنشینی، کاهش زمین‌های مرغوب (به دلیل شور شدن و کاهش مواد مغذی خاک‌ها)، تخریب و شورشدن زمین‌های زراعی (به دلیل حساسیت بالای مناطق خشک به تاثیرات ناشی از گرمایش زمین بر افزایش سرعت بیابان‌زایی) (Ghahremaninejad et al., 2021) و نامناسب شدن آب‌های مورد استفاده در کشاورزی (به دلیل کاهش سطح آب‌های زیرزمینی و نفوذ فاضلاب‌ها)، از دلایل لزوم تغییر بنیادی نگاه به کشاورزی برای تأمین امنیت غذایی ساکنان زمین است. امروزه عمده تلاش پژوهشگران معطوف به تولید گیاهانی است که بتوانند انواع تنش‌ها که آب‌وهوای در حال تغییر جهان در قرن آتی طیفی از تنش ها را برای گیاهان زراعی مهم به ارمغان می‌آورد را بدون کاهش عملکرد، تحمل کنند (Fedoroff et al., 2010; Parida & Das, 2005). اما نگاه دیگر، نگاهی است که در آن به جای "مجبور کردن" گیاهان زراعی برای تحمل تنش‌ها بویژه تنش شوری، بشر در جستجوی گیاهان شورپسند، به‌عنوان غذای انسان، علوفه حیوانات یا به‌منظور استخراج ترکیبات با ارزش باشد. گیاهانی که بتوانند جریان مواد مغذی را به طور کامل از گیاهان به دام و انسان برپایه آب شورتر برقرار سازند و یا ارزش اقتصادی برای استخراج ترکیبات شیمیایی دارویی- پزشکی داشته باشند ( Fedoroff et al., 2010).

اسفندک (*Zygophyllum fabago* L.)، گیاه علفی با پراکندگی بالا در اغلب مراتع و مناطق خشک، متحمل به شوری و مقاوم به خشکی، بومی آسیا و خاورمیانه و از تیره قیچیان (Zygophyllaceae) است (Khan et al., 2014). اسفندک از شورپسندهای بومی ایران است که پتانسیل لازم برای مطالعه جهت بهره‌برداری اقتصادی را دارد. ترکیبات شیمیایی دارویی و بسیار باارزش اسفندک مصارف مختلفی از جمله ضدالتهاب، خلط آور، ضدسرفه، ضددرد، ضدآسم و ضدروماتیسم دارند. همچنین عصاره اسفندک می‌تواند در درمان بیماری آلزایمر مؤثر باشد (Khan et al., 2014).

اکثر گیاهان این تیره قادر هستند غلظت بالای نمک را بسته به‌گونه و خصوصیات ژنتیکی خود بدون بروز علایم شوری و با حفظ فرایندهای فیزیولوژیک و بیوشیمیایی تحمل کنند و زنده بمانند. شوری آب و خاک منجر به عدم تعادل یونی، سمیت یونی، تنش اسمزی و تنش اکسیداتیو در اغلب گیاهان می‌شود (Parvaiz & Satyawati, 2008) ولی گیاهان متحمل به شوری علی‌رغم آثار منفی شوری بر عملکرد گیاه، در محیط شور پایدارند. در حقیقت این گیاهان از مکانیسم‌های متفاوتی به منظور دفع آثار منفی شوری استفاده می‌کنند که این مکانیسم‌ها از سطح سلول تا واکنش‌های کلی گیاه متفاوت است (Ehsanpour & Razavizadeh, 2005). گیاهان مقاوم به شوری با تنظیم اسمزی توانایی جذب آب خود را بالا برده و با بخش‌بندی یون‌های سمی در واکوئل‌ها یا دفع این یون‌ها به شوری مقاومت نشان می‌دهند. همچنین ایجاد تغییر در محتوای رنگدانه‌های دستگاه فتوسنتزی جهت حفظ ظرفیت فتوسنتز و به دنبال آن بیوسنتز قندها و پروتئین‌ها نیز راهکار دیگری در راستای بقای گیاه در شرایط شوری است. برخی از مکانیسم‌های مقاومتی گیاه شورپسند در ارتباط با تغذیه معدنی گیاه است. منیزیم یکی از عناصر پرمصرف برای رشد گیاه است که اصلی‌ترین نقش آن شرکت در ساختمان کلروفیل و مشارکت در سنتز ریبونوکلئیک اسیدها و در نتیجه پروتئین‌ها است.

غلظت کاتیون‌ها (منیزیم، کلسیم، پتاسیم و سدیم) و آنیون‌ها (کلر، سولفات و نیترات) در خاک مناطق خشک، دلیل اصلی پراکنش متفاوت گیاهان مقاوم به چنین محیط‌هایی است (Rabizadeh et al., 2019). به‌نظر می‌رسد بین منیزیم و برخی کاتیون‌های دیگر از جمله پتاسیم، آمونیوم و کلسیم در محل‌های جذب روی غشاهای ریشه رقابت وجود دارد و میزان جذب آن بوسیله این کاتیون‌ها بشدت کاهش می‌یابد. مطالعه در مورد آثار متقابل شوری و منیزیم محدود است ولی تجارب موجود، کاهش محتوای منیزیم گیاهان غیرشورپسند در شرایط شوری را نشان می‌دهد. برخی از پژوهشگران معتقدند که غلظت بالای منیزیم در خاک ممکن است با ایجاد کمبود کلسیم در گیاه سبب کاهش تحمل آن به شوری شود (Kobayashi et al., 2005). در عین حال برخی دیگر بر این باورند که استفاده از منیزیم مازاد بر نیاز گیاه می‌تواند در تحمل شرایط شور موثر باشد ( Mengutay et al., 2013). بنابراین در پژوهش حاضر اثرات متقابل شوری کلریدسدیم و منیزیم بر مولفه‌های رشدی نظیر میزان رشدنسبی (Relative Growth Rates /RGR)، میزان همگون‌سازی (Net Assimilation Rate / NAR)، نسبت سطح برگ ( Leaf Area Ratio / LAR)، سطح ویژه‌برگ ( Specific Leaf Area / SLA)، نسبت وزن برگ (Leaf Weight Ratio / LWR)، سرعت رشد نسبی برگ ( Relative Leaf Growth Rate / RLGR)، شاخص تحمل شاخساره ( Shoot Tolerance Index



[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28 ]
[ DOR: 20.1001.1.24236330.1400.8.2.5.6 ]
[ DOI: 10.52547/nbr.8.2.130 ]

TIshoot /)، شاخص تحمل ریشه ( / Root Tolerance Index TIroot)، شاخص تحمل کل (Tolerance Index/ TI)، نسبت ریشه به بخش هوایی (R/S Root - Shoot Ratio)، محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی، مقدار قندها و پروتئین‌های ریشه، برگ و ساقه اسفندک مورد بررسی قرار گرفت. بررسی اثرات برهمکنشی شوری و بیشبود منیزیم می‌تواند در تشخیص راهکار اسفندک جهت مقابله با شوری مفید واقع گردد.

## مواد و روش‌ها

### مواد گیاهی و شرایط کشت

بذرهای گیاه اسفندک در بهار سال ۱۳۹۴ از محوطه دانشگاه شهید مدنی آذربایجان واقع در منطقه آذرشهر در استان آذربایجان شرقی (عرض جغرافیایی ۳۷/۸۱، طول جغرافیایی ۴۵/۹۴ و ارتفاع ۱۳۴۰ متر از سطح دریا) جمع‌آوری شد. پس از جداسازی بذرهای سالم، با محلول هیپوکلریت ۱ درصد ضدعفونی و با آب مقطر شستشو شدند. جوانه‌زنی بذرها برروی کاغذ صافی مرطوب به مدت هفت روز صورت گرفت. سپس گیاهچه‌ها به گلدان‌های حاوی پرلیت انتقال یافته و به مدت ۷ روز در شرایط نوری تنظیم شده ۱۶ ساعت نور و ۸ ساعت تاریکی، رطوبت ۴۰-۳۰ درصد، دمای ۲۵ درجه سلسیوس و میانگین نور ۱۵۰ میکرومول‌فوتون برمترمربع درثانیه در آزمایشگاه نگهداری و به طور یک روز در میان تا روز ۲۵ با آب مقطر و محلول غذایی هوگلند (نیترات کلسیم ۴، نیترات پتاسیم ۶، مونوپتاسیم فسفات ۱، سولفات منیزیم ۲، اسید بوریک ۰/۰۴۶، کلرید منگنز ۰/۰۰۹، سولفات روی ۰/۰۰۰۸، سولفات مس ۰/۰۰۰۳، مولیبدات سدیم ۰/۰۰۰۱ و Fe-EDTA ۰/۰۳۵۸میلی‌مولار) تغذیه شدند. تیمارها شامل دو سطح شوری کلریدسدیم (صفر و۳۰۰ میلی‌مولار) و سه سطح از منیزیم شامل غلظت‌های صفر و ۲ و ۶ میلی‌مولار بیشتر از غلظت منیزیم موجود در محلول هوگلند (۲ میلی‌مولار)، بودند. انتخاب مقدار ۳۰۰ میلی مولار شوری با استفاده از نتایج پژوهش های قبلی نگارندگان بود (Chaparzadeh et al., 2017). تیمار منیزیم به مدت ۵ روز از روز ۲۵ تا روز ۳۰ به صورت افزودن به محلول غذایی اعمال شد. تیمارهای شوری از روز ۳۰ تا آخرین روز کشت اعمال و گیاهان در روز ۴۸ برداشت شدند. جهت اجتناب از انباشتگی نمک گلدان‌ها یک روز در میان با آب مقطر شستشو و بلافاصله محلول غذایی دارای شوری مورد نظر افزوده شد.

### سنجش پارامترهای رشد

برای هر تیمار ۴ گیاه از ۴ گلدان (تکرار) انتخاب و ریشه‌ها، برگ‌ها و ساقه‌های گیاهان پس از جداسازی برای حذف املاح از سطوح با آب مقطر شسته شدند. با استفاده از کاغذ جاذب رطوبت آب سطحی خشک و وزن تر اندام ها با ترازوی حساس تعیین شدند. سپس نمونه‌ها برای سنجش وزن خشک در آون به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۷۰ درجه سلسیوس قرار گرفتند. تعیین اندازه سیستم همگون‌ساز یا تعیین سطح برگ با استفاده از کاغذ میلی‌متری و پارامترهای رشد از روابط ۱ الی ۶ تعیین شدند. این عمل یک‌بار قبل از تیماردهی و بار دیگر پس از اتمام دوره تیماردهی صورت گرفت.

1) Relative Growth Rate (RGR) = (1/W) (dW/dt)
2) Net Assimilation Rate (NAR) = (1/LA) (dW/dt)
3) Leaf Area Ratio (LAR) = LA/W
4) Specific Leaf Area (SLA) = LA/LDW
5) Leaf Weight Ratio (LWR) = LDW/W
6) Relative Leaf Growth Rate (RLGR) = (1/LA) (d LA/dt)

LA = سطح برگ LDW= وزن خشک برگ، LFW=وزن تر برگW= وزن خشک گیاه

شاخص بردباری (TI) معیاری برای مقایسه وزن خشک کل، بخش هوایی و ریشه گیاهان تحت تنش با تیمار شاهد است که فاقد واحد و شامل دو بخش $TI_{root}$ و $TI_{shoot}$ است که به ترتیب نسبت وزن خشک ریشه گیاه تحت تنش با تیمار شاهد و نسبت وزن خشک بخش‌هوایی گیاه تحت تنش با تیمار شاهد است. نسبت ریشه به بخش هوایی (R/S) نیز از روی نسبت وزن خشک ریشه‌ها و بخش هوایی گیاهان محاسبه شد.

### سنجش محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی

۰/۲ گرم بافت برگی تر در ۱۰ میلی‌لیتر استون خالص همگن و به مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۳۵۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید. پس از جمع‌آوری محلول رویی، رسوب حاصل با ۵ میلی-لیتر دیگر از استون خالص شستشو و سانتریفیوژ شد. پس از ترکیب هر دو محلول رویی، به وسیله استون به حجم ۱۵ میلی-لیتر رسانده شد و میزان جذب نوری آن‌ها در طول موج‌های ۶۶۲، ۶۴۶ و ۴۷۰ نانومتر به وسیله اسپکتروفتومتر تعیین و میزان رنگدانه‌ها برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر گزارش شد (Lichtenthaler, 1987).

### سنجش محتوای قندهای محلول کل

به ترتیب برای سنجش مقدار قندهای محلول کل برگ‌ها، ریشه‌ها و ساقه‌ها ۰/۱، ۰/۰۵، ۰/۰۵ گرم بافت خشک مورد استفاده قرار گرفت. به طور مثال برای سنجش قند نمونه برگی ۰/۱ گرم بافت برگی خشک با ۱۰ میلی‌لیتر اتانول ۹۵ درصد همگن به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۳۵۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید. ۰/۱ میلی لیتر مایع رویی با ۳ میلی لیتر



[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28 ]
[ DOR: 20.1001.1.24236330.1400.8.2.5.6 ]
[ DOI: 10.52547/nbr.8.2.130 ]

محلول آنترون (۰/۱۵ گرم آنترون در ۱۰۰ میلی لیتر اسید سولفوریک ۷۲ درصد) مخلوط و به مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب جوش قرار گرفت. پس از توقف واکنش در آب یخ میزان جذب در طول موج ۶۲۵ نانومتر با اسپکتروفتومتر تعیین شد. مقدار قند هر نمونه با استفاده از منحنی استاندارد گلوکز خالص تعیین و محتوای قندهای محلول بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن خشک گزارش گردید (Leng et al., 2016).

**سنجش محتوای قندهای نامحلول کل**

رسوب حاصل از سنجش قندهای محلول با ۳ میلی‌لیتر HCl ۰/۵ نرمال مخلوط شد و به مدت ۲۴ساعت در محیط آزمایشگاه نگهداری شد (در این مدت چندین بار ورتکس انجام شد). سپس به مدت یک ساعت در حمام آب جوش قرار گرفت. سپس نمونه‌ها به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد و مایع رویی حاصل با سود خنثی گردید (اندازه گیری pH توسط دستگاه pH متر) در نهایت با آب مقطر به حجم ۱۰ میلی لیتر رسانده شد. جهت سنجش قندهای نامحلول کل ۰/۱ میلی لیتر از عصاره رویی با ۳ میلی لیتر محلول آنترون مخلوط و به مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب جوش قرار گرفت. پس از توقف واکنش در آب یخ میزان جذب در طول موج ۶۲۵ نانومتر با اسپکروفتومتر اندازه‌گیری شد مقدار قند هر نمونه با استفاده از منحنی استاندارد گلوکز خالص تعیین و محتوای قندهای محلول بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن خشک گزارش گردید (Leng et al., 2016).

**سنجش محتوای قندهای کل**

محتوای قندهای محلول کل برابر است با مجموع محتوای قند محلول و نامحلول.

**سنجش محتوای پروتئین‌های محلول کل برگ، ریشه و ساقه**

۰/۵ گرم از بافت برگی خشک در ۳ میلی‌لیتر بافر Tris-HCl (pH= ۶/۸ ) همگن و به مدت یک ساعت در یخچال نگهداری شد. سپس به مدت ۱۵ دقیقه، در ۱۳۰۰۰ دور سانتریفیوژ شد. سپس ۰/۱ میلی‌لیتر از مایع رویی با ۰/۹ میلی‌لیتر محلول برادفورد مخلوط و بعد از ۵ دقیقه نگهداری در دمای آزمایشگاه میزان جذب در طول موج ۵۹۵ نانومتر تعیین گردید. محتوای پروتئین‌ها با استفاده از منحنی استاندارد سرم آلبومن گاوی (BSA) تعیین شد و مقدار پروتئین‌های محلول کل بر اساس میلی‌گرم بر گرم وزن خشک گزارش شد (Bradford, 1976).

**آنالیز آماری و تحلیل داده‌ها**

این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار انجام شد. انجام آنالیزهای آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS 17 با تجزیه واریانس دوطرفه (ANOVA) انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵درصد انجام شد. از نرم افزار Excel برای ترسیم اشکال استفاده شد.

## نتایج

**وزن تر و خشک کل**

وزن تر و خشک کل در پایان دوره آزمایش اندازه‌گیری و به صورت میانگین ۳ تکرار در جدول ۱ گزارش شد. افزایش وزن تر کل فقط در تیمار ۲ میلی‌مولار منیزیم مشاهده شد در حالی‌که تیمار توام شوری و منیزیم ۶ میلی‌مولار بیشترین وزن خشک کل را به خود اختصاص داد.

**سطح برگ**

نتایج حاصل از اندازه‌گیری سطح برگ گیاهان تحت تیمار، افزایش معنی‌دار سطح برگ در تیمار منیزیم و کاهش معنی‌دار آن در تیمار شوری را نشان داد (جدول ۱).

**مولفه‌های آنالیز رشد**

تغییرات میزان رشدنسبی (RGR)، میزان همگون‌سازی (NAR)، نسبت سطح برگی (LAR)، سطح ویژه‌برگی (SLA)، نسبت وزن برگی (LWR)، میزان رشدنسبی برگ (RLGR) ، شاخص تحمل بخش هوایی ($TI_{shoot}$)، شاخص تحمل ریشه ($TI_{root}$)، شاخص تحمل کل (TI) و نسبت ریشه به بخش هوایی (R/S) در جدول ۱ ارائه شده است.

محاسبه مؤلفه $TI_{shoot}$ نشان داد که اختلاف معنی‌داری در شاخص بردباری بخش‌های هوایی گیاهان اسفندک بوجود آمده است، به‌طوری که شوری به تنهایی تأثیر منفی بر شاخص بردباری بخش هوایی نسبت به گیاه شاهد داشت این درحالی است که با افزودن منیزیم به شوری میزان این مؤلفه به‌طور معنی‌داری افزایش نشان داد.

محاسبه مؤلفه $TI_{root}$ نشان داد که افزایش معنی‌داری در شاخص بردباری ریشه گیاهان اسفندک بوجود آمده است، این درحالی است که منیزیم اختلاف معنی‌داری بر میزان شاخص بردباری ریشه نداشت.

محاسبه مؤلفه TI نشان داد که تغییرات معنی‌داری در شاخص بردباری گیاهان اسفندک بوجود آمده است. نتایج حاصل، افزایش معی‌دار شاخص بردباری اسفندک در تیمار شوری و منیزیم نشان داد، به‌طوری‌که بیشینه شاخص بردباری در تیمار شوری توأم با منیزیم ۶ میلی‌مولار مشاهده شد.

نتایج تجزیه واریانس داده‌های حاصل از اثر تیمارهای شوری، منیزیم و شوری توأم با منیزیم بر R/S اختلاف معنی‌داری نشان داد.



[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28 ]
[ DOR: 20.1001.1.24236330.1400.8.2.5.6 ]
[ DOI: 10.52547/nbr.8.2.130 ]

**جدول ۱**- تاثیر شوری و منیزیم بر وزن تر، وزن خشک، سطح برگ، محتوای کلروفیل کل برگ، محتوای کاروتنوئید کل برگ، مقادیر مولفه‌های رشد، شاخص تحمل و نسبت ریشه به بخش هوایی اسفندک (۴ تکرار ± SE). حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح P ۰/۰۵ ≥ است. * ، ** ، ***و ns : به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح احتمال ۵، ۱ ، ۰/۱ درصد و بی‌معنی هستند.

**Table 1.** The effect of salinity and Mg on fresh weight, dry weight, leaf area, total chlorophylls, total carotenoids, growth parameters, TI and R/S of *Z. fabago* (4 replicates ± SE). Similar letter are not significantly different at the 5% probability level. ns*, ** and***: non-significant and significant at 5, 1 and 0.1% probability level, respectively.

| Salinity (mM) | Mg (mM) | Fresh Weight (g/Plant) | Dry Weight (g/ Plant) | Leaf Area ($Cm^2$) | Total Chlorophylls (µg/g FW) | Total Carotenoids (µg/g FW) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 3.424±0.0976 b | 0.407±0.0374 cd | 3.84 ± 0.127 e | 36.357 ±0.314 a | 9.188 ±0.098 a |
| | 2 | 6.498±0. 2890 a | 0.460±0.0440 bc | 5.136 ±0.250 c | 32.004 ±0.254 b | 7.607 ±0.109 b |
| | 6 | 3.467±0.1287 b | 0.371±0.0088 d | 6.590 ±0.093a | 29.701 ±0.325 d | 6.110 ±0.092 c |
| 300 | 0 | 3.391±0.4497 b | 0.347±0.0195 d | 2.492 ±0.116f | 21.086 ±0.018 f | 5.512 ±0.095 d |
| | 2 | 3.180±0.4039 b | 0.529±0.0125 ab | 4.333 ±0.230d | 23.234 ±0.410 e | 5.548 ±0.123 d |
| | 6 | 3.936±0.2052 b | 0.604±0.0084 a | 6.067 ±0.165b | 30.977± 0.282 c | 7.340 ±0.0892 b |
| **Salinity (mM)** | **Mg (mM)** | **RGR (g/kg Day)** | **NAR ($g/m^2$ Day)** | **LAR ($m^2$/kg D.W)** | **SLA ($m^2$/kg)** | **LWR (kg/kg D.W)** |
| 0 | 0 | 0.072±0.0038 cd | 9.61±1.19 b | 7.63 ± 0.626 c | 31.62 ±8.17 a | 0.35 ±0.10 ns |
| | 2 | 0.077±0.0041 bc | 5.58±0.70 c | 14.04 ±1.182 a | 31.97 ±14.95 a | 1.85 ±1.33 ns |
| | 6 | 0.068±0.0009 d | 5.86±0.22 c | 11.71 ±0.281b | 33.00 ±2.33 a | 0.54 ±0.02 ns |
| 300 | 0 | 0.066±0.0022 d | 10.55±0.52 ab | 6.24 ±0.151c | 11.68 ±1.52 b | 0.64 ±0.09 ns |
| | 2 | 0.083±0.0010 ab | 12.01±0.73 a | 6.92 ±0.361c | 19.67 ±2.91 b | 0.45 ±0.10 ns |
| | 6 | 0.088±0.0006 a | 10.98±0.35 ab | 8.03 ±0.214c | 15.17± 0.97 b | 0.66 ±0.02 ns |
| **Salinity (mM)** | **Mg (mM)** | **RLGR ($cm^2/m^2$ Day)** | **TI (Shoot)** | **TI (Root)** | **TI** | **R/S** |
| 0 | 0 | 0.99±0.0013 d | 1.001±0.088 c | 1.000 ±0.117 b | 1.001 ±0.092 cd | 0.165 ±0.005 b |
| | 2 | 0.137±0.0010 a | 1.099 ±0.124 bc | 1.316 ±0.015 ab | 1.130 ±0.108 bc | 0.204 ±0.024 b |
| | 6 | 0.120±0.0006 b | 0.891 ±0.030 cd | 1.040 ±0.080 b | 0.912 ±0.022 d | 0.195 ±0.020 b |
| 300 | 0 | 0.081±0.0019 e | 0.740 ±0.053 d | 1.540 ±0.038 a | 0.854 ±0.048 d | 0.349 ±0.024 a |
| | 2 | 0.104±0.0021 c | 1.302 ±0.042 ab | 1.287 ±0.181 ab | 1.300 ±0.031 ab | 0.165 ±0.026 b |
| | 6 | 0.117±0.0011 b | 1.471 ±0.044 a | 1.569 ±0.139 a | 1.485 ±0.021 a | 0.178 ±0.021 b |

**رنگدانه‌های فتوسنتزی**

نتایج حاصل از اثرات شوری روی محتوای کلروفیل و کاروتنویید کل برگ اسفندک نشان داد که شوری موجب کاهش معنی‌دار محتوای رنگدانه‌ها نسبت به شاهد شد. تیمار منیزیم باعث کاهش معنی‌دار محتوای رنگدانه‌ها نسب به گیاه شاهد شد. رنگدانه‌ها در گیاه تیمار شده با شوری توام با منیزیم کاهش معنی‌داری نسبت به گیاه شاهد داشت ولی نسبت به شوری افزایش نشان داد (جدول ۱).

**محتوای قند محلول برگ‌ها، ساقه‌ها و ریشه‌ها**

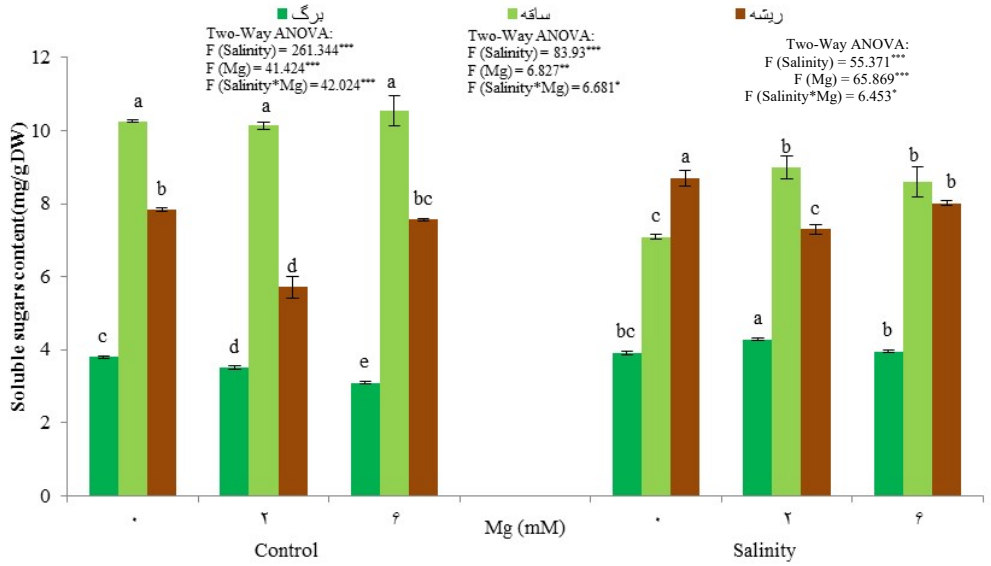
نتایج حاصل از اثرات شوری بر محتوای قند محلول برگ نشان داد که شوری موجب افزایش معنی‌دار قند محلول برگ‌ها شده است. تیمار منیزیم موجب کاهش معنی‌دار قند محلول برگی شد. محتوای قند محلول برگ در گیاه تیمار شده با شوری توأم با منیزیم افزایش معنی‌دار نسبت به گیاه شاهد نشان داد. نتایج حاصل از اثرات شوری بر محتوای قند محلول ساقه‌ها نشان داد که شوری موجب کاهش معنی‌دار محتوای قند محلول ساقه‌ها شد. تیمار همزمان منیزیم و شوری موجب بهبود اثرات منفی شوری و افزایش معنی‌دار قند محلول ساقه شد. همچنین نتایج حاصل از اثرات شوری بر محتوای قند محلول ریشه‌ها نشان داد که شوری موجب افزایش معنی‌دار محتوای قند محلول ساقه‌ها نسبت به شاهد شد. تیمار منیزیم باعث تغییرات معنی‌دار محتوای قند نامحلول ساقه‌ها نسبت به شاهد شد. برهم‌کنش شوری و منیزیم موجب افزایش معنی‌دار قند نامحلول ساقه گردید (شکل ۱).

**محتوای قند نامحلول برگ‌ها، ساقه‌ها و ریشه‌ها**

نتایج حاصل از اثرات شوری بر محتوای قند نامحلول برگ‌ها نشان داد که شوری موجب کاهش معنی‌دار محتوای قند



[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28 ]
[ DOR: 20.1001.1.24236330.1400.8.2.5.6 ]
[ DOI: 10.52547/nbr.8.2.130 ]




**شکل ۱**- تاثیر شوری و منیزیم بر محتوای قند محلول اسفندک (۴ تکرار ± SE). حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح P ≤ ۰/۰۵ است. * ، ** ، ***و ns : به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح احتمال ۵، ۱ ، ۰/۱ درصد و بی‌معنی هستند.

**Figure 1.** The effect of salinity and Mg on soluble sugar content of *Z. fabago* (4 replicates ± SE). Similar letter are not significantly different at the 5% probability level. ns,*, ** and***: non-significant and significant at 5, 1 and 0.1% probability level, respectively.

.

نامحلول برگ‌ها شد. تیمار منیزیم باعث افزایش معنی‌دار محتوای قند نامحلول برگ نسبت به شاهد گردید. محتوای قند نامحلول برگ در گیاه تیمار شده با شوری توأم با منیزیم (غلظت ۶ میلی‌مولار) افزایش معنی‌داری نسبت به گیاه شاهد نشان داد ولی با غلظت ۲میلی‌مولار منیزیم اختلاف معنی‌دار نشان نداد. نتایج حاصل از اثرات شوری بر محتوای قند نامحلول برگ‌ها اختلاف معنی‌داری نسبت به شاهد نشان نداد. تیمار منیزیم در غلظت ۲ میلی‌مولار افزایش معنی‌دار و در غلظت ۶ میلی‌مولار باعث کاهش معنی‌دار محتوای قند نامحلول ساقه‌ها نسبت به شاهد شد. محتوای قند نامحلول ساقه در گیاه تیمار شده با شوری توأم با منیزیم با غلظت ۶ میلی‌مولار افزایش معنی‌داری نسبت به گیاه شاهد نشان داد ولی با منیزیم با غلظت ۲ میلی‌مولار اختلاف معنی‌دار نشان نداد. قند نامحلول ریشه مشابه قند نامحلول ساقه تحت تأثیر تیمارهای اعمال شده قرار گرفت یعنی شوری اختلاف معنی‌داری در محتوای قند نامحلول ریشه را نشان نداد. تیمار منیزیم با غلظت ۶ کاهش معنی‌دار در محتوای قند نامحلول ریشه نسبت به شاهد نشان داد ولی در غلظت ۲ اختلاف معنی‌دار نشان نداد. محتوای قند نامحلول ریشه در گیاه تیمار شده با شوری توام با منیزیم با غلظت ۲ میلی‌مولار افزایش معنی‌دار ولی با غلظت ۶ میلی‌مولار کاهش معنی‌دار نسبت به شاهد نشان داد (شکل ۲).

**محتوای قند کل برگ‌ها، ساقه‌ها و ریشه‌ها**

نتایج حاصل از اثرات شوری و منیزیم بر محتوای قند کل برگ‌ها نشان داد که اثر اصلی شوری بر محتوای قند کل برگ‌ها بی‌معنی ولی اثر برهم‌کنش شوری و منیزیم بر قند کل برگ معنی‌دار است. تیمار هم‌زمان گیاهان با شوری و منیزیم موجب افزایش معنی‌دار محتوای قند کل برگ شده است. اثر اصلی شوری و برهم‌کنش شوری و منیزیم بر محتوای قند کل ساقه معنی‌دار است در حالیکه منیزیم قادر به ایجاد تغییرات معنی‌دار در محتوای قند کل ساقه نبوده است نتایج حاصل از اثرات شوری روی محتوای قند کل ساقه نشان داد که تیمار منیزیم با غلظت ۲ میلی‌مولار باعث افزایش معنی‌دار در محتوای قند کل ساقه شد. همچنین کاربرد مقدار بالای منیزیم در تیمار شوری موجب افزایش معنی‌دار در قند کل ساقه گردید.

شکل ۳ حاکی از تأثیرپذیری بالای محتوای قند کل ریشه در اثر تیمارهای شوری و منیزیم است. چنانچه از اطلاعات موجود در شکل ۳ مشخص است اثر اصلی شوری و منیزیم و اثر برهم‌کنش بین آن دو به شدت موجب تغییرات معنی‌دار محتوای قند کل ریشه شده‌اند. منیزیم و شوری به تنهایی قند ریشه را کاهش داده‌اند درحالی‌که کاربرد همزمان آن دو موجب بهبود و جبران کاهش قند شده است.

**محتوای پروتئین**

نتایج حاصل از اثرات شوری بر محتوای پروتئین کل برگ‌ها نشان داد که شوری و منیزیم موجب کاهش معنی‌دار محتوای پروتئین کل

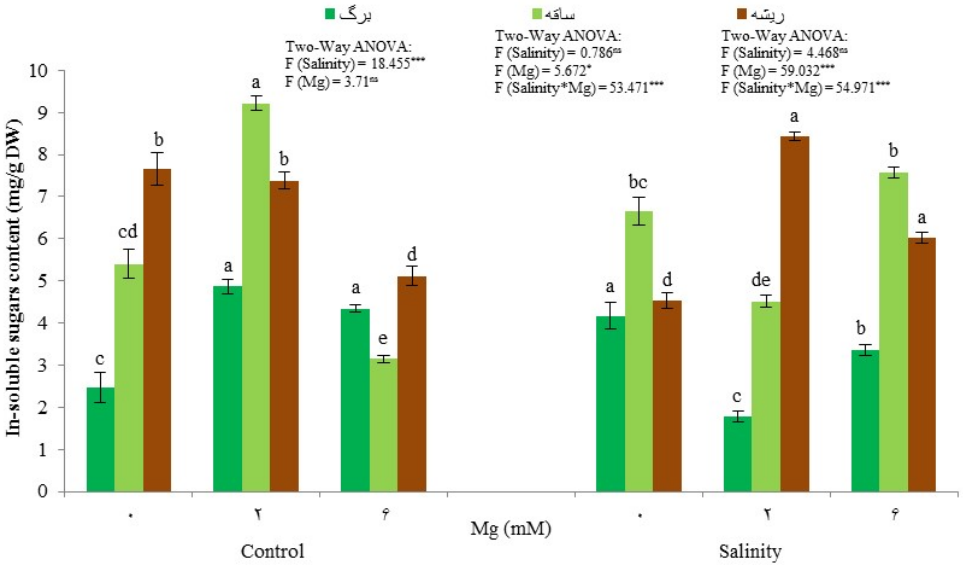


[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28 ]
[ DOR: 20.1001.1.24236330.1400.8.2.5.6 ]
[ DOI: 10.52547/nbr.8.2.130 ]

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

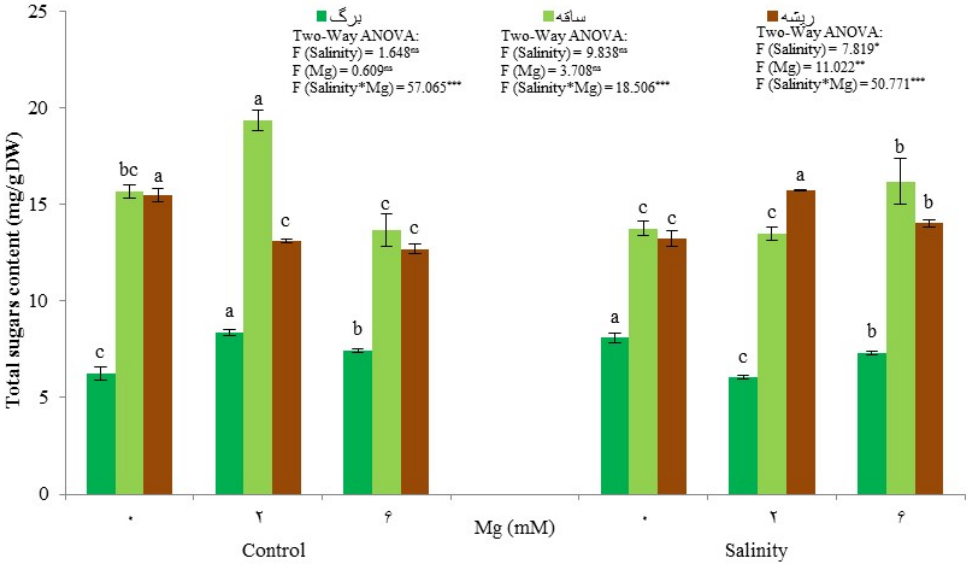
[ DOR: 20.1001.1.24236330.1400.8.2.5.6 ]

[ DOI: 10.52547/nbr.8.2.130 ]



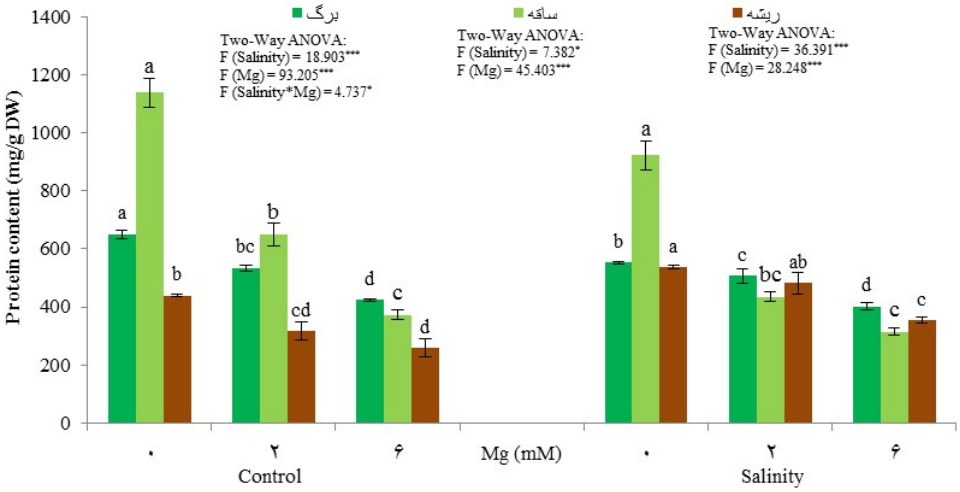

**شکل ۲**- تاثیر شوری و منیزیم بر محتوای قند نامحلول اسفندک (۴ تکرار ± SE). حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح P ≤ ۰/۰۵ است. * ، ** ، ***و ns : به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح احتمال ۵، ۱ ، ۰/۱ درصد و بی‌معنی هستند.

**Figure 2.** The effect of salinity and Mg on insoluble sugar content of *Z. fabago* (4 replicates ± SE). Similar letter are not significantly different at the 5% probability level. ns,*, ** and***: non-significant and significant at 5, 1 and 0.1% probability level, respectively.




**شکل ۳**- تاثیر شوری و منیزیم بر محتوای قند کل اسفندک (۴ تکرار ±SE). حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح P ≤ ۰/۰۵ است. * ، ** ، ***و ns : به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح احتمال ۵، ۱ ، ۰/۱ درصد و بی‌معنی هستند.

**Figure 3.** The effect of salinity and Mg on total sugar content of *Z. fabago* (4 replicates ± SE). Similar letter are not significantly different at the 5% probability level. ns,*, ** and***: non-significant and significant at 5, 1 and 0.1% probability level, respectively.




**شکل۴**- تاثیر شوری و منیزیم بر محتوای پروتئین اسفندک (۴ تکرار ± SE). حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح P ≤ ۰/۰۵ است. * ، ** ، ***و ns : به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح احتمال ۵، ۱ ، ۰/۱ درصد و بی‌معنی هستند.

**Figure 4.** The effect of salinity and Mg on protein content of *Z. fabago* (4 replicates ± SE). Similar letter are not significantly different at the 5% probability level. ns,*, ** and***: non-significant and significant at 5, 1 and 0.1% probability level, respectively.

برگ‌ها نسبت به شاهد شدند. محتوای پروتئین کل برگ‌ها در گیاه تیمار شده با شوری توام با منیزیم کاهش معنی‌داری نسبت به گیاه شاهد نشان داد. نتایج حاصل از اثرات شوری بر محتوای پروتئین کل ساقه‌ها نشان داد که شوری موجب کاهش معنی‌دار محتوای پروتئین کل ساقه‌ها نسبت به شاهد شده است. تیمار منیزیم نیز باعث کاهش معنی‌دار پروتئین کل ساقه‌ها نسبت به شاهد شد. کاهش محتوای پروتئین کل برگ‌ها در گیاه تیمار شده با شوری توام با منیزیم نسبت به گیاه شاهد قابل ملاحظه بود ولی اثر برهم‌کنش شوری و منیزیم بر پروتئین کل ساقه معنی‌دار نیست. نتایج حاصل از اثرات شوری بر محتوای پروتئین کل ریشه‌ها نشان داد که شوری موجب افزایش معنی‌دار محتوای پروتئین کل ریشه‌ها نسبت به شاهد شد. تیمار منیزیم نیز باعث کاهش معنی‌دار محتوای پروتئین کل ریشه‌ها نسبت به شاهد شد. محتوای پروتئین کل ریشه‌ها در گیاه تیمار شده با شوری توام با منیزیم با غلظت ۲میلی‌مولار کاهش معنی‌داری نسبت به گیاه شاهد نشان داد ولی با منیزیم با غلظت ۶ میلی‌مولار اختلاف معنی‌داری نشان نداد (شکل ۴).

## بحث

### رشد و مولفه‌های رشدی

با توجه به داده‌های جدول ۱ که حاکی از تغییرات منظم و افزایشی وزن خشک در حضور منیزیم در محیط شور اسفندک است، بنظر می‌رسد ماده‌سازی، رشد و بهره‌برداری از محصولات فتوسنتزی در شرایط شور را منیزیم بسیار بهبود بخشیده است. این نتیجه می‌تواند ناشی از تاثیر بسزای وضعیت منیزیم گیاه در حمل‌ونقل و بهره‌برداری از فتوسنتز باشد که در نتیجه تأثیر قابل توجهی بر تسهیم کربوهیدرات بین اندام منبع و مخزن گذارده است. به عبارت بهتر در صورت رفع نیاز تغذیه ای منیزیم، شوری و سدیم به‌صورت یک عامل مثبت در افزایش رشد گیاه نقش ایفا کرده است. با افزایش غلظت منیزیم در محیط غیرشور سطح برگ گیاه اسفندک افزایش منظم و معنی‌داری را نشان می‌دهد (جدول ۱). با توجه به تاثیر مثبت منیزیم بر بیوسنتز رنگدانه‌ها و ساختارهای فتوسنتزی این نتیجه منطقی بنظر می‌رسد و ظاهراً منیزیم توانسته‌است حتی در حضور ۳۰۰ میلی‌مول نمک کلریدسدیم نیز این تاثیر مثبت خود بر سیستم‌های فتوسنتزی و رشد و گسترش برگ اسفندک را حفظ نماید.

با توجه به تغییرات وزن و سطح برگ و همچنین نتایج ارائه شده در جدول ۱، تغییرات رشد نسبی RGR (اساسی‌ترین جزءآنالیز رشد) و میزان همگون‌سازی NAR در تیمارهای شوری که منیزیم نیز دریافت کرده‌اند، بیشینه مقدار را نشان می‌دهند. یعنی اسفندک گیاه شورپسندی است که با تامین مقادیر مناسبی از عناصر غذایی در شرایط شور (۳۰۰ میلی‌مول کلریدسدیم) توانایی همگون‌سازی و بهره‌برداری مناسب و بیشینه از فتوسنتز در راستای رشد بیشتر را دارد. زیرا RGR نشانگر



[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28 ]
[ DOR: 20.1001.1.24236330.1400.8.2.5.6 ]
[ DOI: 10.52547/nbr.8.2.130 ]

افزایش مقدار ماده تولید شده، و NAR نشانگر افزایش ماده در واحد سطح همگون ساز در واحد زمان است.

سطح ویژه برگی SLA در تیمارهای غیرشور دارای مقدار بیشینه است ولی همگون‌سازی در تیمارهای شور بیشتر صورت گرفته است (جدول ۱). از آنجاکه سطح ویژه برگی میزان سطح برگ بر اساس وزن خشک برگ‌ها را نشان می‌دهد، در یک گیاه تشکیل برگ‌های نازک موجب افزایش SLA ولی برگ‌های ضخیم موجب کاهش SLA خواهدشد. مشاهدات حین آزمایش نیز افزایش ضخامت برگ‌های اسفندک در شرایط شور را تایید می‌کند. به عبارت بهتر در شوری ضخامت برگ‌ها بیشتر از سطح آنها افزایش یافته‌است. ظاهراً افزایش ضخامت برگ اسفندک تاثیر بیشتر (افزایشی) بر فتوسنتز، تسهیم، رشد، ماده‌سازی و همگون‌سازی داشته است.

داده‌های مربوط به میزان رشدنسبی برگ (RLGR) نیز این موضوع را تایید می‌نماید. یعنی افزایش روزانه سطح برگ بر مبنای سطح برگ کل در تیمار غیرشور بیشتر بوده است که بر طبق مشاهده و تحلیل پژوهشگران، نتیجه آن وجود برگ‌های نازک در شرایط غیرشور است. چنانچه در جدول ۱ نیز مشهود است این مقدار در تیمارهای شوری به کمینه مقدار خود می‌رسد یعنی افزایش روزانه سطح برگ بسیار محدود بوده درحالی‌که وزن برگ افزایش یافته است و نتیجه آن تشکیل و وجود برگ-های ضخیم در شرایط شور بوده است.

داده‌های مربوط به شاخص تحمل ریشه، بخش هوایی و کل نیز نشان‌دهنده افزایش قابل‌توجه و معنی‌دار این شاخص‌ها در تیمارهای شوری و منیزیم است. به عبارت دیگر منیزیم توانسته است میزان بردباری و تحمل گیاه را در شوری به‌خوبی افزایش دهد. این نتیجه کاملاً با نتایج آنالیز رشد (افزایش رشد نسبی و همگون سازی) در توافق است.

افزایش نسبت وزن خشک ریشه به بخش هوایی R/S اسفندک در شوری نشانگر این است که این گیاه برای مقابله با اثرات شوری از راهکار افزایش رشد و گسترش و قوی‌تر کردن سیستم ریشه‌ای بهره برده است و در این امر بسیار موفق عمل نموده که نتیجه آن افزایش شاخص تحمل گیاه در شوری بوده است. با افزودن منیزیم به محیط شور به دلیل اینکه اثرات شوری بر گیاه تقلیل یافته بنابراین بخ‌کارگیری راهکار فوق نیز ضرورتی ندارد و R/S در تیمارهای شوری با منیزیم مشابه R/S در تیمارهای غیرشور شده است (جدول ۱). در شرایط کمبود منیزیم نتایج عکس مشاهده می‌شود.

با شروع تنش کمبود منیزیم تسهیم ماده خشک به ریشه کاهش می‌یابد، که منجر به افزایش مشخص در نسبت وزن خشک ساقه به ریشه می‌شود. کاهش رشد ریشه و افزایش نسبت وزن خشک ساقه به ریشه می‌تواند یکی از اولین واکنش‌های گیاه به کمبود منیزیم باشد. نتایج نشان می‌دهد رشد ریشه به کمبود منیزیم بسیار حساس است (Cakmak & Kirkby, 2008).

**رنگدانه‌های فتوسنتزی**

به‌طور کلی کلروفیل‌ها و کاروتنوئیدهای کل برگ‌ها تحت تنش کاهش می‌یابد. در تنش طولانی‌مدت قدیمی‌ترین برگ‌ها شروع به کلروز می‌کنند. Wang و Nil در ۲۰۰۰ گزارش کردند در گیاه تاج خروس طی تنش شوری با نمک کلریدسدیم محتوای کلروفیل، پروتوکلروفیل و کاروتنوئیدها به‌طور قابل توجهی کاهش داشت اما نرخ کاهش پروتوکلروفیل و کلروفیل *b* بیش از کلروفیل *a* و کاروتنوئید بود، از طرف دیگر رنگدانه‌های آنتوسیانین به‌طور قابل توجهی افزایش داشت (Wang & Nii, 2000). کاروتنوئیدها رنگیزه‌های چربی‌دوست موجود در غشای کلروپلاستی بوده که عملکردهای متعددی در متابولیسم گیاه دارند. علاوه‌بر جذب نور به‌عنوان رنگیزه‌های کمکی، دستگاه فتوسنتزی را از فوتون‌های اضافی و تنش اکسیداتیو به وسیله واکنش با کلروفیل برانگیخته شده یا سه‌تایی محافظت و از تشکیل ROS ممانعت می‌کنند (El-Tayeb et al., 2006). کاروتنوئیدها ترکیبات آنتی‌اکسیدان غیرآنزیمی موجود در کلروپلاست هستند که در شرایط تنشی افزایش یافته ( Nenova et al., 2009) و با استفاده از چرخه گزانتوفیل مصرف اکسیژن را کاهش و از کلروفیل در مقابل اکسیداسیون نوری محافظت می‌کنند. همچنین در چرخه گزانتوفیل، فرایند داپوکسیداسیون باعث افزایش مقدار زآگزانتین در گیاهان تحت تنش شده و با تاثیر مثبت روی سیالیت غشاهای تیلاکوییدی باعث کاهش نفوذپذیری غشاها در برابر ROS می‌شود، بنابراین سیستم‌های فتوسنتزی از آسیب‌های اکسیداتیو در امان می‌مانند (Chaparzadeh & Zarandi, 2011). در تأیید نتایج ما Parida و Das گزارش کردند که شوری مانع تشکیل کلروفیل و کاروتنوئیدها در برگ بسیاری از گونه‌های گیاهی می‌شود (Parida & Das, 2005).

**محتوای قند محلول، نامحلول و کل**

در گلیکوفیت‌ها تجمع کربوهیدرات‌های محلول در گیاهان در پاسخ به شوری یا خشکی در مقابل کاهش قابل توجه سرعت جذب $CO_2$ خالص گزارش شده است. کربوهیدرات‌ها از قبیل گلوکوز، فروکتوز و ساکارز، تحت شوری نقش برجسته‌ایی در محافظت از ساختار غشاها و پروتئین‌ها بازی می‌کنند. تنظیمات اسمزی به واسطه ذخیره کربن و مهار رادیکال‌ها، کاهش در محتوای نشاسته، افزایش در قندهای احیاکننده و غیر احیاکننده



[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28 ]
[ DOR: 20.1001.1.24236330.1400.8.2.5.6 ]
[ DOI: 10.52547/nbr.8.2.130 ]

و سطوح پلی‌فنول در برگ‌های *Bruguiera prviflora* گزارش شده است (Parida & Das, 2005). تره‌هالوز یک دی‌ساکارید است که تحت تنش غیرزیستی مختلف تجمع یافته و اثر بازدارندگی بر مرگ سلولی برنامه‌ریزی شده و نقش حفاظت از غشاها و پروتئین‌ها در سلول‌های در معرض تنش را دارد (Ashraf & Harris, 2004).

کربوهیدرات‌ها اعمال دوگانه‌ای را در سلول‌های گیاهی به عهده دارند. از یک طرف به‌عنوان یک عامل اسموتیکی عمل می‌کنند و با پایین آوردن پتانسیل اسمزی باعث حفظ حالت تورژسانس و شادابی سلول‌ها می‌گردد و از طرف دیگر با تأمین انرژی لازم و اسکلت کربنی مورد نیاز فرایندهای بیوسنتزی، باعث رشد و نمو سلول‌ها می‌شوند. کربوهیدرات‌ها مانند قندها (گلوکز، فروکتوز و ساکارز) و نشاسته تحت تنش تجمع یافته و نقش عمده‌ای در حفاظت و تنظیم اسمزی، ذخیره کربنی و پاکسازی رادیکال‌های آزاد بر عهده دارند (Parida & Das, 2005).

کربوهیدارت‌ها از جمله مهمترین ترکیبات تنظیم‌کننده اسمزی در گیاهان هستند. قندها همانند هورمون‌ها به‌عنوان پیامبرهای اولیه عمل نموده و علامت‌ها را تنظیم می‌کنند. در واقع مسیرهای علامتی قندها با مسیرهای تنشی به منظور تعدیل و تنظیم متابولیسم برهمکنش می‌کنند (Arakawa et al., 2010). نوسانات قندها می‌تواند به علت تغییرات در همگون‌سازی $CO_2$ و همچنین مربوط به فعال شدن پس‌ترجمه‌ای و افزایش بیان آنزیم‌های ساکارز سنتاز و مهار آنزیم‌های چرخه کالوین در شرایط تنش باشد. بجز کاهش که در محتوای قند محلول ساقه در تایید نتایج ما افزایش قندهای محلول در سویا طی تنش شوری گزارش شده است (Sheteawi, 2007). مهمترین اثر انباشتگی قندهای محلول در گیاهان تحت تنش منفی‌تر شدن پتانسیل اسمزی است که این فرایند منجربه حفظ محتوای آب در سلول‌های گیاه می‌گردد. نقش عمده قندها حفاظت یا تنظیم اسمزی است (Parida et al., 2002). افزایش در قندهای محلول در زمان تنش را می‌توان به علت توقف رشد یا سنتز این ترکیبات از مسیرهای غیرفتوسنتزی، همچنین عدم تبدیل این ترکیبات به محصولات دیگر و تخریب قندهای نامحلول که باعث افزایش قندهای محلول می‌شود دانست.

**محتوای پروتئین**

منیزیم فعال‌کننده چند آنزیم دخیل در متابولیسم کربوهیدرات و سنتز اسید نوکلییک است. در دسترس بودن منیزیم بسیار مهم است زیرا تنها فلز موجود در مولکول کلروفیل است. محتوای پتاسیم روی جذب منزیم اثر منفی می‌گذارد این دو کاتیون اثر آنتاگونیست بر هم دارند. منیزیم مازاد موجب افزایش مقدار اسید آمینه‌های آزاد و کاهش پروتئین می‌شود، که احتمالاً به دلیل اثر مستقیم منیزیم روی سنتز پروتئین و یا اثر غیر مستقیم از طریق کاهش پتاسیم است. کمبود پتاسیم موجب کاهش سنتز پلیمرها (پروتئین و قندهای نامحلول) به‌ویژه در برگ‌ها می‌شود. منیزیم غالب‌ترین کاتیون دو ظرفیتی در سلول‌های زنده است که نقش حیاتی در سنتز پروتئین از طریق نگهداری ساختار ریبوزوم و شرکت در بیوشیمی آغاز ترجمه و عمل کردن به‌عنوان یون همراه ATP بازی می‌کند. تعادل مناسب ATP و منیزیم برای بیوسنتز پروتئین ضروری است.

شوری با تغییر در ساختمان پروتئین‌ها موجب کاهش فعالیت بسیاری از آنزیم‌های موجود در گیاه می‌شود، به عنوان مثال کاهش فعالیت آنزیم روبیسکو (Parida & Das, 2005). رادیکال‌های آزاد تولید شده طی تنش شوری به‌دلیل میل ترکیبی زیادی که با پروتئین‌ها و لیپیدها دارند باعث تخریب غشای سلولی، اسیدهای نوکلییک و پروتئین‌های سلول می‌شوند. کاهش پروتئین در گیاهانی که تحت تنش شوری قرار گرفتند در کلزا (Dolatabadian et al., 2008) و جو (Khosravinejad et al., 2009) گزارش شده است.

تحت تنش‌های محیطی مانند شوری، شوک گرمایی (Cooper & Ho, 1983) و شرایط بی‌هوازی (Okimoto et al., 1980) در سنتز اغلب پروتئین‌های غشایی نیز تغییراتی رخ می‌دهد که از آن جمله به تغییر پروتئین‌های غشا پلاسمایی چاودار (Uemura & Yoshida, 1984) و توت سفید (Pinheiro et al., 2001) می‌توان اشاره کرد.

یک توجیه برای تغییرات مشاهده شده در سنتز پروتئین ناشی از کلریدسدیم ممکن است مهار یا تحریک ترجمه (mRNA) باشد. شواهد تجربی مربوط به اثرات یون‌های پتاسیم، سدیم و کلر و نیز مواد آلی محلول (پرولین و گلایسین- بتایین) روی ترجمه‌ی mRNAهای جدا شده از گیاهان حساس و مقاوم به نمک در شرایط رشد درون شیشه‌ای نشان می‌دهد که سنتز پروتئین با جانشینی سدیم به جای پتاسیم و یا جانشینی کلر به جای استات در تراکم‌های بالای ۸۰ میلی‌مولار از نمک مهار می‌شود (Gibson et al., 1984). وقتی که سدیم یا آمونیوم جانشین پتاسیم می‌شوند، سنتز برخی از پلی‌پپتیدها تغییر می‌کند. تحت تغییرات محیطی از قبیل گرما، شرایط بی‌هوازی و تنش اسمزی و جراحت، تعدادی پروتئین جدید به‌عنوان پاسخ سریع گیاه به تغییرات محیطی سنتز می‌شوند که پروتئین‌های تنشی نامیده می‌شوند. و تنها تعداد اندکی از این پروتئین‌ها در فرایندهای متابولیک یا فیزیولوژیک درگیر است (Hanson et



[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28 ]
[ DOR: 20.1001.1.24236330.1400.8.2.5.6 ]
[ DOI: 10.52547/nbr.8.2.130 ]

al., 1984; Okimoto et al., 1980). اینکه آیا این پروتئین‌ها با افزایش رشد و زنده ماندن گیاهان در محیط تغییریافته تحت تنش، مرتبط هستند یا نه، مورد شک و تردید است.

نتایج به‌دست آمده از مطالعات گوناگون در این زمینه نشان داده است که سنتز پروتئین در کل در پاسخ به شوری و کمبود آب کاهش می‌یابد همچنین سنتز پروتئین با سطوح بالای کلریدسدیم مهار می‌شود البته سنتز برخی از پلی‌پپتیدها نه تنها مهار نمی‌شود بلکه امکان دارد در حضور کلریدسدیم تحریک هم شود.

پروتئین‌ها تحت شرایط شور تجمع یافته و احتمالاً ذخیره‌ای از نیتروژن را فراهم می‌کنند که در تنظیمات اسمزی دخیل هستند. نتایج تحقیقات نشان می‌دهد، بسیاری از پروتئین‌هایی که در شوری القا می شوند سیتوپلاسمی هستند و هرکدام می‌توانند باعث تغییر در ویسکوزیته سیتوپلاسم سلول‌ها بشوند. احتمالاً دلیل افزایش پروتئین‌های ریشه‌ای در تحقیق ما همین موضوع باشد که منجر به تحمل بالای این گیاه نسبت به شوری شده است. حضور منیزیم به بیوسنتز پروتئین کمک می‌کند. در بسیاری از گیاهان حساس افزایش محتوای پروتئین در شوری پایین و کاهش آن در شوری بالا گزارش شده است (Parvaiz & Satyawati, 2008).

## نتیجه گیری

برخی گیاهان توانایی رویش در شرایط دشوار محیطی را دارند. مهمترین عامل این توانایی، پتانسیل ایجاد تعادل بین واکنش‌های وابسته به نور (تولید انرژی و نیروی احیایی طی زنجیره انتقال الکترون فتوسنتزی) و واکنش‌های مستقل از نور (تثبیت دی‌اکسیدکربن) است. تغییر غلظت عناصر غذایی مورد نیاز گیاه نحوه برخورد و رفتار گیاه در شرایط دشوار را تحت تاثیر قرار می دهد. آسیب‌های تغذیه‌ای در شرایط تنشی منجر به افزایش اثرات مخرب آسیب‌های اکسیداتیو به سیستم‌های فتوسنتز و متابولیسم گیاه می‌شود. از این رو استفاده از عناصر غذایی بویژه عناصر پرمصرف از جمله منیزیم می‌تواند به‌عنوان راهکاری در راستای افزایش بقا و کارایی گیاهان در معرض تنش باشد. بقای گیاهان در شرایط محیطی دشوار در گرو توانای گیاه در توسعه مکانیسم‌های سازشی برای اجتناب از تنش یا مقاومت به تنش است. بر اساس نتایج حاصل از پژوهش حاضر شوری ۳۰۰ میلی‌مولار کلریدسدیم اثر کاهشی بر رشد و بیوسنتز متابولیت‌های اولیه از جمله رنگدانه‌های فتوسنتزی، محتوای قند و پروتئین گیاه داشت که افزودن مقادیر مناسب از منیزیم مازاد این تغییرات را تعدیل نمود. به‌طور کلی شوری اثر منفی جزئی بر پارامترهای فیزیولوژیک گیاه اسفندک داشت که کاربرد منیزیم تکمیلی موجب بهبود رشد و افزایش شاخص تحمل آن شد.

## سپاسگزاری

نگارندگان از معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه شهیدمدنی آذربایجان بخاطر حمایت مالی سپاسگزاری می‌نمایند.

## REFERENCES

**Arakawa, M., Mita, T., Azuma, K., Ebato, C., Goto, H., Nomiyama, T., Fujitani, Y., Hirose, T., Kawamori, R., Watada, H. & Watada, H.** 2010. Inhibition of monocyte adhesion to endothelial cells and attenuation of atherosclerotic lesion by a glucagon-like peptide-1 receptor agonist, exendin-4. Diabetes 59: 1030-1037.

**Ashraf, M. & Harris, P.** 2004. Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. Plant Science 166: 3-16.

**Bradford, M.M.** 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical Biochemistry 72: 248-254.

**Cakmak, I. & Kirkby, E.A.** 2008. Role of magnesium in carbon partitioning and alleviating photooxidative damage. Physiologia Plantarum 133: 692-704.

**Chaparzadeh, N. & Zarandi-Miandoab, L.** 2011. The effects of salinity on pigments content and growth of two canola (*Brassica napus*) cultivars. Journal of Plant Biology 9: 13-25 .

**Chaparzadeh, N., Saeedifar, R., Zarandi-Miandoab L. & Pazhang, M.** 2017. Effect of nitric oxide on antioxidative responses under salinity conditions in *Zygophyllum fabago* L. (Zygophyllaceae). Nova Biologica Reperta 4: 155-165.

**Cooper, P. & Ho, T.H.D.** 1983. Heat shock proteins in maize. Plant Physiology 71: 215-222.

**Dolatabadian, A., Sanavy, S.M. & Chashmi, N.** 2008. The effects of foliar application of ascorbic acid (vitamin C) on antioxidant enzymes activities, lipid peroxidation and proline accumulation of canola (*Brassica napus* L.) under conditions of salt stress. Journal of Agronomy and Crop Science 194: 206-213.

**Ehsanpour, A.A. & Razavizadeh, R.** 2005. Effect of UV-C on drought tolerance of alfalfa (*Medicago sativa*) callus. American Journal of Biochemistry and Biotechnology 1: 107-110.

**El-Tayeb, M., El-Enany, A. & Ahmed, N.** 2006. Salicylic acid-induced adaptive response to copper stress in sunflower (*Helianthus annuus* L.). Plant Growth Regulation 50: 191-199.

**Fedoroff, N.V., Battisti, D.S., Beachy, R.N., Cooper, P.J.M., Fischhoff, D.A., Hodges, C.N., Knauf, V.C., Lobell, D., Mazur, B.J., Molden, D., Reynolds, M.P., Ronald, P.C., Rosegrant, M.W., Sanchez, P.A., Vonshak, A. & Zhu, J.K.** 2010. Radically rethinking agriculture for the 21st century. Science 327: 833-834.

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

[ DOR: 20.1001.1.24236330.1400.8.2.5.6 ]

[ DOI: 10.52547/nbr.8.2.130 ]

**Gibson, T., Speirs, J. & Brady, C.** 1984. Salt-tolerance in plants. II. In vitro translation of m-RNAs from salt-tolerant and salt-sensitive plants on wheat germ ribosomes. Responses to ions and compatible organic solutes. Plant, Cell & Environment 7: 579-587.

**Ghahremaninejad, F., Hoseini, E. & Fereidounfar, S.** 2021. Cities in drylands as artificial protected areas for plants. Biodiversity and Conservation 30: 243-248.

**Hanson, A.D., Jacobsen, J.V. & Zwar, J.A.** 1984. Regulated expression of three alcohol dehydrogenase genes in barley aleurone layers. Plant Physiology 75: 573-581.

**Khan, S.S., Khan, A., Khan, A., Wadood, A., Farooq, U., Ahmed, A., Zahoor, A., Ahmad, V.U., Sener, B. & Erdemoglu, N.** 2014. Urease inhibitory activity of ursane type sulfated saponins from the aerial parts of *Zygophyllum fabago* L. Phytomedicine 21: 379-382.

**Khosravinejad, F., Heydari, R. & Farboodnia, T.** 2009. Effect of salinity on organic solutes contents in barley. Pakistan Journal of Biological Sciences 12: 158-162.

**Kobayashi, H., Masaoka, Y. & Sato, S.** 2005. Effects of excess magnesium on the growth and mineral content of rice and Echinochloa. Plant Production Science 8: 38-43.

**Leng, F., Sun, S., Jing, Y., Wang, F., Wei, Q., Wang, X. & Zhu, X.** 2016. A rapid and sensitive method for determination of trace amounts of glucose by anthrone-sulfuric acid method. Bulgarian Chemical Communications 48: 109-113.

**Lichtenthaler, H.K.** 1987. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. Methods in Enzymology 148: 350-382.

**Mengutay, M., Ceylan, Y., Kutman, U.B. & Cakmak, I.** 2013. Adequate magnesium nutrition mitigates adverse effects of heat stress on maize and wheat. Plant and Soil 368: 57-72.

**Nenova, V., Merakchiyska, M., Ganeva, G., Zozikova, E. & Landjeva, S.** 2009. Physiological responses of wheat (*Triticum aestivum* L.)-*Aegilops sharonensis* introgression lines to excess copper. Journal of Agronomy and Crop Science 195: 197-203.

**Okimoto, R., Sachs, M.M., Porter, E.K. & Freeling, M.** 1980. Patterns of polypeptide synthesis in various maize organs under anaerobiosis. Planta 150: 89-94.

**Parida, A.K, Das, A.B. & Das, P.** 2002. NaCl stress causes changes in photosynthetic pigments, proteins, and other metabolic components in the leaves of a true mangrove, *Bruguiera parviflora*, in hydroponic cultures. Journal of Plant Biology 45: 28-36.

**Parida, A.K. & Das, A.B.** 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. Ecotoxicology and Environmental Safety 60: 324-349.

**Parvaiz, A. & Satyawati, S.** 2008. Salt stress and phyto-biochemical responses of plants-a review. Plant Soil and Environment 54: 89-99.

**Pinheiro, C., Chaves, M.M. & Ricardo, C.P.** 2001. Alterations in carbon and nitrogen metabolism induced by water deficit in the stems and leaves of *Lupinus albus* L. Journal of Experimental Botany 52: 1063-1070.

**Rabizadeh, F., Zare-Maivan, H. & Kazempour, Sh.** 2019. Ecological-anatomical comparative adaptability of two gypsophylic *Astragalus* species of gypsum soils. Nova Biologica Reperta 6 : 241-253.

**Sheteawi, S. A.** 2007. Improving growth and yield of salt-stressed soybean by exogenous application of jasmonic acid and ascobin. International Journal of Agriculture and Biology 9: 473-478.

**Uemura, M. & Yoshida, S.** 1984. Involvement of plasma membrane alterations in cold acclimation of winter rye seedlings (*Secale cereale* L. cv *Puma*). Plant Physiology 75: 818-826.

**Wang, Y. & Nii, N. 2000.** Changes in chlorophyll, ribulose bisphosphate carboxylase-oxygenase, glycine betaine content, photosynthesis and transpiration in *Amaranthus tricolor* leaves during salt stress. The Journal of Horticultural Science and Biotechnology 75: 623-627.

*****

**How to cite this article:**

**Zarandi-Miandoab, L., Chaparzadeh, N. & Fekri-Shali, H.** 2021. The effects of magnesium on Syrian bean-caper (*Zygophyllum fabago*) growth and physiological characteristics in saline conditions Nova Biologica Reperta 8: 130-141. (In Persian).

**زرندی میاندوآب، ل.، چاپارزاده، ن. و فکری شالی، ح.** ۱۳۹۹. اثرات منیزیم بر رشد و ویژگی‌های فیزیولوژیک اسفندک در شرایط شوری. یافته‌های نوین در علوم زیستی ۸: ۱۴۱-۱۳۰.

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

[ DOR: 20.1001.1.24236330.1400.8.2.5.6 ]

[ DOI: 10.52547/nbr.8.2.130 ]