

## Effect of rootstock and magnetized water on the morphological, physiological, and biochemical characteristics of apple sapling (*Malus domestica*) under salinity stress conditions

DOI: [10.22055/ppd.2024.46457.2154](https://doi.org/10.22055/ppd.2024.46457.2154)

Zahra Esmailou<sup>\*1</sup>, Mohammadreza Asghari<sup>1</sup>, Fariborz Zaare-Nahandi<sup>2</sup>, Ebrahim Sepehr<sup>3</sup>

1- \*Corresponding Author: Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran. (z.esmaillou@urmia.ac.ir)

2- Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

3- Department of Soil Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran

### Extended abstract

#### Introduction

Salinity poses a significant challenge to plant growth and can lead to adverse physiological and metabolic alterations. The selection of tolerant rootstocks offers a promising solution to mitigate this issue. Magnetized water technology has emerged as an innovative approach to alleviate the negative impact of salinity on water quality. In this greenhouse study, we aimed to explore the synergistic effects of rootstock selection and magnetized water treatment under salinity stress conditions on the growth of apple saplings. By examining these combined factors, we seek to understand their potential in enhancing plant resilience to salinity-induced stress. This research contributes to the ongoing efforts to develop sustainable strategies for managing salinity stress in agricultural settings, with implications for improving crop productivity and resilience in saline environments.

#### Materials and Methods

The factorial experiment was conducted using a randomized complete block design with four replications from 2019 to 2020 at the University of Urmia, Iran. The factors examined included two rootstocks (M7 and MM106), three levels of magnetized water (0, 0.1, and 0.2 Tesla), and three levels of salinity stress (0, 40, and 80 mM). To evaluate the investigated factors, leaf thickness, leaf temperature, leaf area, internode length, rootstock diameter, branch growth, greenness index (SPAD), relative water content (RWC), total phenol, antioxidant capacity and phenylalanine ammonia-lyase (PAL) enzyme were measured. Statistical analysis was done with SAS software (version 9.4). GLM procedure was used for the analysis of variance. Means were compared with the least significant difference (LSD) test.

#### Results

The three-way interactions of rootstock  $\times$  magnetized water  $\times$  salinity stress significantly influenced total phenol and PAL enzyme activity. Additionally, the main effects of rootstock, magnetized water and salinity stress on leaf thickness, root diameter, RWC and, SPAD were significant. Increasing salinity levels reduced rootstock diameter, shoot growth, leaf water content, SPAD, and leaf area. However, salinity treatment increased leaf thickness, leaf temperature, phenolic compound concentration, antioxidant capacity, and PAL activity compared to control. The highest internode (17.58 cm) and rootstock diameter (2.18 mm) were obtained with 0.1 Tesla magnetized water treatment. Conversely, increasing salinity stress reduced internode length in both M7 and MM106 rootstocks, and the maximum internode length was produced in M7 under non-saline conditions (19.35 cm). Also, the highest rootstock diameter (19.83 mm) was observed in MM106 under non-saline conditions. Moreover, leaf RWC was higher in M7 (82.70%) compared to MM106. The highest PAL enzyme activity (62.77 nmol g<sup>-1</sup>F.W.<sup>-1</sup>) was recorded under 80 mM salinity, 1.0 Tesla magnetic water, and M7 rootstock.

#### Conclusion

The utilization of magnetized water resulted in enhancements across various parameters including rootstock diameter, shoot growth, leaf water content, surface area, phenolic compounds, and PAL enzyme activity, surpassing the control group. Combining magnetic water treatment with M7 rootstock demonstrated significant mitigation of salinity-induced effects on apple saplings. Thus, the joint application of M7 rootstock and magnetic water is advocated for both saline and non-saline environments. This research underscores the importance of employing sustainable approaches to combat salinity stress in apple orchards, offering insights into effective management strategies for enhancing crop resilience in challenging agricultural conditions.

**Keywords:** DPPH, Magnetized water, PAL enzyme, Rootstock, Total phenol.

## تأثیر پایه‌های رویشی و آب مغناطیسی روی صفات مورفولوژیک، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی نهال‌های سیب (*Malus domestica*) در شرایط تنش شوری

زهرا اسماعیل‌لو<sup>۱\*</sup>، محمدرضا اصغری<sup>۱</sup>، فریبرز زارع‌نهندی<sup>۲</sup>، ابراهیم سپهر<sup>۳</sup>

۱- نویسنده مسئول: دانشجوی دکتری گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۱- استاد گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۲- دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۳- استاد گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

### چکیده

شوری یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی می‌باشد که رشد و نمو گیاهان و درختان را محدود کرده و سبب تغییرات فیزیولوژیک و متابولیکی در آن‌ها می‌شود. روش‌های متعددی برای مقابله با تنش شوری از جمله استفاده از پایه‌های متحمل و استفاده از آب مغناطیسی شده وجود دارد. این پژوهش گلخانه‌ای، به منظور بررسی تأثیر پایه‌های رویشی و آب مغناطیسی در شرایط تنش شوری روی سیب به صورت فاکتوریل سه عاملی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در سال‌های ۹۹-۱۳۹۸ در دانشگاه ارومیه انجام شد. عوامل مورد بررسی شامل پایه‌های رویشی در دو سطح (M7 و MM106)، آب مغناطیسی در سه سطح (۰-، ۰/۱ و ۰/۲ تسلا) و تنش شوری در سه سطح (۰، ۴۰ و ۸۰ میلی‌مولار) بود. نتایج نشان داد بیشترین سطح برگ و رشد شاخه در پایه M7 و در شرایط بدون تنش شوری بدست آمد. همچنین، کاربرد آب مغناطیسی ۰/۲ تسلا در شرایط شوری ۴۰ میلی‌مولار سطح برگ را ۹۶/۷ درصد و در شرایط شوری ۸۰ میلی‌مولار میزان سطح برگ را ۸۳ درصد بهبود داد. کاربرد ۰/۱ و ۰/۲ تسلا آب مغناطیسی در شرایط عدم تنش شوری بالاترین رشد شاخه را داشت. بیش‌ترین میزان فنل در ترکیبات تیماری استفاده از آب مغناطیسی ۰/۲ تسلا در شرایط شوری ۸۰ میلی‌مولار و در پایه MM106 (۱۰/۸۳ میلی‌گرم گالیک اسید در گرم وزن تر برگ) بدست آمد. بالاترین طول میان‌گره (۱۷/۵۸ سانتی‌متر) و قطر پایه (۱۸/۲ میلی‌متر) در تیمار آب مغناطیسی ۰/۲ تسلا بدست آمد. با افزایش شدت تنش، طول میان‌گره در هر دو پایه M7 و MM106 کاهش یافت و بیشترین طول میان‌گره در پایه M7 و در شرایط عدم تنش شوری با ۱۹/۳۵ سانتی‌متر تولید شد. همچنین، بیشترین قطر پایه در پایه MM106 با ۱۹/۸۳ میلی‌متر مشاهده شود و با افزایش شدت تنش شوری، قطر پایه بطور معنی‌داری کاهش یافت و بیشترین مقدار آن در عدم تنش شوری حاصل شد. رطوبت نسبی آب برگ در پایه M7 با ۸۲/۷۰ درصد، بیشتر از پایه MM106

بود. بالاترین فعالیت آنزیم PAL (۶۲/۷۷ نانومول در گرم وزن تر) از تیمار تنش شوری ۸۰ میلی مولار، کاربرد آب مغناطیس ۰/۱ تسلا و در پایه M7 مشاهده شد. نتایج نشان داد آب مغناطیسی قطر پایه، رشد شاخه، محتوای نسبی آب برگ، سطح برگ، ترکیبات فنلی و فعالیت آنزیم PAL نسبت به شاهد را بهبود بخشید. با توجه به نتایج این پژوهش کاربرد آب مغناطیس و پایه M7 اثرات نامطلوب شوری در سیب را تعدیل نموده و استفاده از پایه M7 و آب مغناطیسی در شرایط تنش شوری و عدم شوری توصیه می شود.

**کلمات کلیدی:** آب مغناطیسی، آنزیم PAL، ظرفیت آنتی اکسیدانی، فنل کل.

## مقدمه

شوری آب و خاک از مهم ترین عوامل محدود کننده تولیدات کشاورزی و امنیت غذایی، بویژه در مناطق خشک و نیمه-خشک بوده است. طبق گزارش فائو ۸۳۳ میلیون هکتار از اراضی کشاورزی در بیش از ۱۰۰ کشور دنیا تحت تأثیر شوری قرار دارند (Food and Agriculture Organization, 2021). از مجموع ۶/۸ میلیون هکتار اراضی قابل کشت ایران نزریک به ۴/۳ میلیون هکتار به درجات مختلفی از شوری مبتلا هستند (Moameni, 2011). از آنجایی که شوری با ترکیبی از تنش های اسمزی، یونی و تنش های اکسیداتیو ثانویه همراه است، عامل محدود کننده شدید رشد در گیاهان محسوب می شود (Lee et al., 2013). تغییر ترکیب غشای پلاسمایی سلولی و همچنین غلظت و ترکیب سیتوپلاسمی غشای پلاسمایی از اثرات نامطلوب غلظت بالای نمک در گیاهان می باشد. شوری جوانه زنی، رشد و نمو و عملکرد اکثر محصولات را تحت تأثیر قرار می دهد (Zhou et al., 2022).

درختان میوه معتدله، از جمله سیب، جزو گیاهان شیرین رست و حساس به شوری می باشد (Maas, 1986). تحقیقات نشان داده است که درختان میوه مناطق معتدله عموماً به نمک های محلول بخصوص یون کلراید حساس بوده و در صورت آبیاری با آب شور عملکرد آنها به طور معنی داری کاهش می یابد (Najafian et al., 2008). تحقیقات مختلف نشان داد که تنش شوری باعث کاهش جذب آب، عدم تعادل اسمزی، کاهش سطح برگ، بسته شدن روزنه ها، کاهش

فتوسنتز و در نهایت توقف رشد می شود (Roy et al., 2014; Yin et al., 2010; Fu et al., 2013). تحمل به شوری درختان میوه یک فرآیند پویا بوده و بستگی به شوری خاک، ویژگی های پیوندک، پایه، وجود عوامل زنده و غیرزنده و وضعیت فیزیولوژیک درخت دارد (Srivastava, 2012). شوری آب و خاک به طور مستقیم با ریشه گیاهان در ارتباط می باشد، بنابراین مقاومت به شوری در درختان میوه به توانایی ریشه در کنترل جذب یون های مضر و مسموم کننده بستگی دارد. از این رو در صنعت میوه کاری نقش پایه در تعیین رفتار و رشد درخت بسیار مهم و سرنوشت ساز بوده و یکی از روش های سالم و کم هزینه برای کاهش صدمات ناشی از شوری می باشد. با توجه به اثرات متقابل پایه و پیوندک و تأثیر معنی دار آن بر عمر و خصوصیات رویشی و زایشی درخت از اهمیت بالاتری برخوردار می باشد (Matsumoto et al., 2006; Hanin et al., 2016). با انتخاب پایه های مناسب در نواحی متأثر از شوری می توان تحمل به شوری برخی از درختان میوه را بهبود بخشید (Lea-Cox et al., 1993). پایه های گوناگون با مکانیسم های مختلفی از قبیل تنظیم جذب عناصر غذایی و توانایی پتانسیل بالای جذب آب تحت شرایط شوری به مقاومت گیاه کمک می کنند (Rahnesan et al., 2018). تحمل به تنش شوری در گونه های داخل یک جنس و حتی در بین ارقام مختلف یک گونه بسیار متفاوت است (Morabito et al., 1994). توانایی پایه های مختلف در حذف سمیت یون های سدیم و کلر متفاوت بوده و از این طریق، تحمل به شوری پیوندک را تحت تأثیر قرار می دهند

(Sotiropoulos *et al.*, 2006). بررسی تحمل به تنش شوری پایه‌های M26، MM104، MM111 و M6 سیب در سه سطح شوری صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار NaCl در شرایط درون شیشه‌ای نشان داد که به غیر از پایه M26 در سایر پایه‌ها با افزایش سطوح شوری وزن خشک افزایش یافت؛ در حالی که در پایه M26 در سطوح (۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار) شوری کاهش وزن خشک و پراوری نسبت به سایر پایه‌ها مشاهده شد (Shibli *et al.*, 2000). در مطالعه‌ای روی پایه‌های مختلف بادام در شرایط شوری نشان داده شد که پایه‌های که قدرت رشد رویشی بالاتری داشته و قابلیت ایجاد محدودیت در جذب و انتقال یون سدیم از پایه به پیوندک و حفظ نسبت بالای پتاسیم را دارند، متحمل‌تر از سایر پایه‌ها در شرایط تنش شوری می‌باشند (Oraei *et al.*, 2009).

با توجه به تأثیر مطلوب میدان مغناطیسی بر رشد و نمو محصولات زراعی، یکی از تکنیک‌هایی که طی سال‌های اخیر به‌منظور استفاده از آب‌های نامتعارف در کشاورزی مورد توجه قرار گرفته، عبور دادن آب از میدان مغناطیسی است. به نظر می‌رسد که مغناطیسی کردن آب آبیاری گامی مؤثر برای رفع مشکل شوری منابع آبی و افزایش کارایی مصرف آن باشد. محققین بیان کردند که میدان مغناطیسی با تغییر دادن وضعیت پیوندهای هیدروژنی سبب تغییر در اندازه مولکول‌های آب و کاهش کشش سطحی آب می‌شود (Hozayn *et al.*, 2010). از طرفی، در مطالعه‌ای در زمینه تأثیر میدان مغناطیسی بر تعدیل تنش شوری آب و رشد رویشی گیاه کنگرفرنگی اثبات شد که آب شور مغناطیس شده، تأثیر معنی‌داری بر شاخص‌های رشد رویشی و غلظت پتاسیم داشت (Bagherifard and Hamidoghli, 2016). پژوهش‌گلدانی صورت گرفته روی ذرت تحت تیمار آب مغناطیسی، افزایش ۹/۵ درصد سطح برگ، ۱۰/۶۸ درصد محتوای کلروفیل برگ، ۸/۳۰ درصد وزن تر کل و ۹ درصد بهره‌وری مصرف آب را نسبت به آب معمولی نشان داد (Nikbakht *et al.*, 2013).

یکی از روش‌های شناسایی و تشخیص ارقام و گونه‌های متحمل به تنش شوری بررسی ویژگی‌های بیوشیمیایی آن‌ها می‌باشد. ترکیبات فنلی جزو متابولیت‌های ثانویه گیاهان بوده و در مکانیسم دفاعی غیرآنزیمی گیاهان نقش دارند، این ترکیبات در شرایط عادی نیز در گیاهان سنتز می‌شوند ولی تحت شرایط تنش مقدار آن‌ها افزایش می‌یابد. فنل‌ها با عمل آنتی‌اکسیدانی غیرآنزیمی خود در تنظیم حالت ککشسانی دیواره سلولی نقش دارند، از این‌رو گیاهانی که توانایی تولید ترکیبات آنتی‌اکسیدانی بالاتری دارند، تحمل بیشتری نسبت به تنش‌ها خواهند داشت (Sofa *et al.*, 2005). آنزیم فنیل آلانین آمونیلایز (PAL) آنزیم کلیدی در تشکیل ترکیبات فنلی در گیاهان می‌باشد، میزان فعالیت این آنزیم یکی از شاخص‌های حساس به تغییرات محیطی و یکی از نشانگرهای بیوشیمیایی گیاهان در تنش‌ها است (Vogt, 2010). مطالعات روی پایه‌های *Malus prunifolia* EM9، MM106 و MM106 همبستگی مثبت بین فعالیت آنتی‌اکسیدانی و مقاومت به شوری را نشان داد (Du *et al.*, 2002). محققین تأثیر محلول غذایی مغناطیس شده را بر پارامترهای بیوشیمیایی ارقام سلطانین و رشه انگور مورد بررسی قراردادده و گزارش نمودند که بوته‌های انگور تغذیه شده با محلول غذایی مغناطیس شده نسبت به شاهد محتوای فنل، فلاونوئید، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل بیشتری داشته و فعالیت آنزیم PAL در آن‌ها بیشتر از شاهد بود (Zareei *et al.*, 2019). محققین نشان دادند استفاده از آب مغناطیس باعث افزایش عملکرد زیره سبز (*Cuminum cyminum*) در شرایط تنش شوری شد (Abedinpour and Roohani, 2019). کاربرد آب مغناطیسی در تعدیل آثار مخرب شوری در گیاه مریم‌گلی ترکه‌ای (*Salvia virgata* Jacq.) مؤثر بود؛ به‌طوری‌که در بیشترین سطح شوری (۹۰ میلی‌مولار) اعمال آب مغناطیسی توانست آثار تنش را بر زیست‌توده خشک‌شاخساره، وزن ویژه برگ، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، کارتنوئید، فنول کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی کاهش دهد (Khosrojerdi

and Moghaddam, 2023). در آزمایشی، استفاده از آب مغناطیس در بهبود بهره‌وری اسفناج (*Spinacia oleracea* L.) در شرایط تنش شوری توصیه شد (Ibrahim et al., 2022). همچنین، آب مغناطیسی در کاهش اثرات مخرب تنش شوری در انگور (*Vitis vinifera* L.) تأثیر مثبتی داشت (Liu et al., 2020).

با توجه به مطالب بالا، تنش شوری از اهمیت بالایی در کشاورزی دارد. از طرفی، به دلیل اثر مثبت میدان مغناطیسی بر رشد و نمو محصولات زراعی، به نظر می‌رسد که مغناطیسی کردن آب آبیاری گامی مؤثر برای رفع اثرات تنش شوری باشد. همچنین، انتخاب پایه رویشی مناسب و مقاوم در تحمل به تنش شوری می‌تواند در افزایش مدیریت تنش شوری تأثیرگذار باشد. لذا با توجه به اینکه اغلب پژوهش‌های صورت گرفته در خصوص اثرات آب مغناطیسی در حوزه کشاورزی، بیشتر معطوف به گیاهان زراعی و عموماً یک‌ساله بوده و کمتر به اثرات آن روی درختان میوه و گیاهان چندساله پرداخته شده، لذا این پژوهش به منظور بررسی کارایی تأثیر پایه و آب مغناطیس شده، بر برخی از ویژگی‌های رشدی و کاهش اثرات منفی تنش شوری روی درخت سیب اجرا شد.

## مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت فاکتوریل سه عاملی (پایه، تنش شوری و آب مغناطیسی) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه ارومیه (Latitude 44°58'35" N, longitude 37°39' E, altitude 1360 m) اجرا شد. بدین منظور نهال یکساله به ارتفاع ۱/۵-۱/۲ متر و متوسط قطر پایه ۱۸-۱۶ میلی‌متر سیب رقم گلدن دلشیز پیوند شده روی پایه‌های M7 و MM106 از نهالستان مجوزدار تهیه و پس از شش‌سوی کامل سیستم ریشه‌ای نهال‌ها در گلدان سایز بزرگ (۴۰×۳۱ سانتیمتر) در بستر پرلایت خالص با دانه‌بندی متوسط کشت شد. گلخانه مورد استفاده دارای شرایط نور طبیعی، دمای

روزانه ۲۸ و شبانه ۱۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۶۱±۸ درصد بود. در مدت زمان قبل تیمار، نهال‌ها هر دو روز یک‌بار توسط محلول غذایی هوگلند که با استوک‌های عناصر ماکرو، میکرو و آهن تهیه شده بود، به مدت ۴ ماه تغذیه شدند. برای این منظور، ابتدا از یک چهارم محلول هوگلند، سپس نصف محلول هوگلند و در نهایت از محلول کامل هوگلند استفاده شد. پس از گسترش سیستم ریشه‌ای، تیمار مغناطیسی به صورت آبیاری گلدان‌ها، با محلول غذایی کامل هوگلند با سه سطح شوری (۰، ۴۰، ۸۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) و آب مغناطیس شده در سه سطح (۰، ۰/۱ و ۰/۲ تسلا) به مدت ۱/۵ ماه آبیاری گردیدند. برای ایجاد میدان مغناطیس از دو آهن-ربای ثابت ۰/۱ و ۰/۲ تسلا (شرکت گسترش مواد مغناطیسی تابان، اصفهان) نصب شده بر خروجی مخزن استفاده شد. پس از هر ۳ بار اعمال تیمار، یک‌بار شستشو با آب مغناطیسی شده با همان شدت مغناطیس انجام شد. حجم محلول غذایی استفاده شده در هر دوره آبیاری ۱۵۰۰ میلی‌لیتر برای هر نهال بود.

## اندازه‌گیری صفات رشدی

پس از پایان دوره اعمال تیمار به منظور بررسی تأثیر تیمارها روی برخی از ویژگی‌های رشدی سیب، قطر پایه، ضخامت برگ و طول میانگرمه‌ها با استفاده از کولیس دیجیتالی، متوسط رشد شاخه با متر نواری و سطح برگ (ده برگ) توسط دستگاه سطح برگ‌سنج اندازه‌گیری شدند. شاخص کلروفیل با استفاده از دستگاه SPAD (Minolta SPAD-502) و دمای برگ با دستگاه ترمومتر (Chlorophyll Meter) و دمای برگ با دستگاه ترمومتر مادون‌قرمز روی ۲۰ برگ از قسمت‌های بالا وسط و پایین شاخه از جهات مختلف هر نهال اندازه‌گیری و میانگین آن‌ها گزارش شد.

سنجش محتوای نسبی آب برگ (RWC) به روش Turner (1981) انجام گرفت و در نهایت با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید.

(وزن خشک-وزن آماس)/(وزن خشک-وزن تر) = محتوای  
نسبی آب برگ (درصد)

### اندازه گیری فنل و فعالیت آنتی اکسیدانی کل

جهت سنجش میزان فنل و ظرفیت آنتی اکسیدانی به روش DPPH از عصاره متانولی استفاده شد. عصاره متانولی به روش Hajimahdipour *et al.* (2009) آماده شد. برای سنجش میزان فنل کل از معرف فولین سیوکالتیو استفاده شد (Singleton *et al.*, 1999). میزان فعالیت آنتی اکسیدانی نیز به روش DPPH اندازه گیری شد (Chiou *et al.*, 2007).

### سنجش فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیا لایز (PAL)

برای اندازه گیری فعالیت آنزیم PAL، یک میلی لیتر بافر پتاسیم فسفات ۵۰ میلی مولار (pH=7) با ۵۰ میکرو لیتر فنیل آلانین ۱۰ میلی مولار، ۴۰ میکرو لیتر آب دوبار تقطیر و ۱۰ میکرو لیتر عصاره آنزیمی مخلوط شدند و به مدت یک ساعت در دمای ۳۷ درجه سانتی گراد قرار داده شد. واکنش با اضافه کردن ۵۰ میکرو لیتر اسید کلریدریک ۶ مولار متوقف شد و جذب

نمونه ها در طول موج ۲۶۰ نانومتر اندازه گیری گردید (D'cunha *et al.*, 1996).

در نهایت، داده ها، پس از اطمینان از نرمال بودن باقی مانده آن ها، از نرم افزار SAS (نسخه ۹/۴) برای تجزیه واریانس از رویه GLM و مقایسه میانگین داده ها به روش حداقل اختلاف معنادار (LSD) استفاده شد.

## نتایج و بحث

### ضخامت، دما و سطح برگ

جدول تجزیه واریانس نشان داد اثرات اصلی پایه، تنش شوری و آب مغناطیسی روی ضخامت برگ در سطح احتمال یک درصد، اثر اصلی آب مغناطیسی روی دمای برگ در سطح احتمال یک درصد و برهمکنش تنش شوری و آب مغناطیسی و برهمکنش پایه و تنش شوری در سطح احتمال پنج درصد روی سطح برگ تأثیر داشت (جدول ۱).

**Table 1. Analysis of variance of morphological traits of apple, affected by rootstock, salinity stress, and magnetized water**

S.O.V	df	Mean squares					
		Leaf thickness	Leaf temperature	Leaf area	Internode length	Rootstock diameter	Branch growth
Block	3	0.004**	13.93**	1658045 <sup>ns</sup>	5.88 <sup>ns</sup>	1.06 <sup>ns</sup>	11.64 <sup>ns</sup>
Rootstock (R)	1	0.004*	4.03 <sup>ns</sup>	316547228**	65.62**	493.19**	1137**
Salinity stress (S)	2	0.019**	4.50 <sup>ns</sup>	240131819**	114.37**	62.26**	962**
Magnetized water (M)	2	0.007**	18.30**	153819672**	177.37**	53.13**	185.66**
RS	2	0.0002 <sup>ns</sup>	0.49 <sup>ns</sup>	12408296*	13.59**	3.23 <sup>ns</sup>	59.84**
RM	2	0.0002 <sup>ns</sup>	4.34 <sup>ns</sup>	6294905 <sup>ns</sup>	3.28 <sup>ns</sup>	3.32 <sup>ns</sup>	19.73 <sup>ns</sup>
SM	4	0.0001 <sup>ns</sup>	2.95 <sup>ns</sup>	8661896*	0.51 <sup>ns</sup>	0.74 <sup>ns</sup>	28.53*
RSM	4	0.0004 <sup>ns</sup>	4.13 <sup>ns</sup>	6350600 <sup>ns</sup>	1.31 <sup>ns</sup>	0.79 <sup>ns</sup>	17.08 <sup>ns</sup>
Error	51	0.0006	3.28	3119088	2.63	1.47	10.11
CV (%)		8.97	7.08	19.72	10.75	7.03	25.47

ns, \* and \*\* represent no-significant and significant at 5% and 1% probability level, respectively.

بطوری که با اعمال سطوح شوری ۴۰ و ۸۰ میلی مولار نمک به ترتیب افزایش ۱۵ و ۲۱/۸ درصدی ضخامت برگ در مقایسه با شاهد مشاهده شد (شکل ۱b). از طرفی نتایج نشان

اثر اصلی پایه نشان داد ضخامت برگ پایه MM106 بیشتر از پایه M7 بود (شکل ۱a). همچنین، نتایج نشان داد که تنش شوری سبب افزایش ضخامت برگ گردید (شکل ۱b).

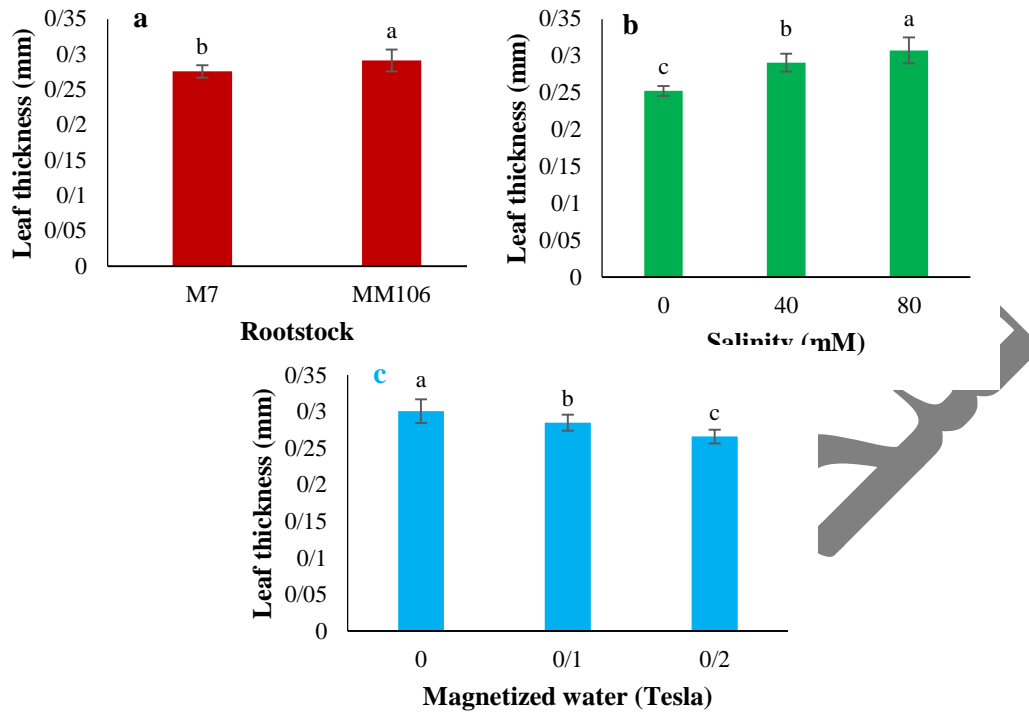
کاربرد ۰/۲ تسلا آب مغناطیسی در پایه M7 در شرایط عدم شوری و شوری ۴۰ میلی مولار اختلاف آماری نداشت (جدول ۲).

در شرایط تنش بسیاری از گیاهان با کاهش سطح برگ مانع هدر رفت آب می‌شوند (Maggio *et al.*, 2004). مشاهدات حاصل از سایر پژوهش‌ها نشان داده است که تنش شوری در اکثر گیاهان سبب کاهش سطح برگ می‌شود (Munns and Tester, 2008). در این راستا گزارش شده است که شوری سبب کاهش سطح برگ در بادام (Oraei *et al.*, 2009)، کاهش تعداد برگ، سطح برگ و افزایش ضخامت برگ در زیتون شد (Pouri *et al.*, 2017) که با نتایج این پژوهش مطابقت داشت. کاهش سطح برگ در گیاه آگاستاکه (Khorsandi *et al.*, 2010) نیز گزارش شده است. محققین نشان دادند که شوری باعث افزایش دمای برگ در دو رقم انگور گردید (Jalili Marandi *et al.*, 2010). با افزایش تنش شوری سلول‌های برگ به طور موقت آب خود را از دست داده و با گذشت زمان تقسیم و طولی شدن سلولی کاهش یافته که در نهایت سبب کاهش سطح برگ و رشد گیاه می‌گردد (Munns, 2002). بسته شدن روزنه‌ها به دلیل تنش، ناشی از سنتز اسید آبسزیک در ریشه و انتقال آن به روزنه‌ها می‌باشد. در اثر این عوامل هدایت روزنه‌ای کاهش یافته و دمای برگ افزایش می‌یابد. زیرا برگ‌ها با انجام عمل تعرق حرارت بیش از حد خود را کاهش می‌دهند (Taiz and Zeiger, 2006). محققین نشان دادند که سطح برگ و عملکرد گیاه نخود با کاربرد آب مغناطیسی افزایش یافت (Abdul Qados and Hozayn, 2010). از طرفی، نتایج تحقیقات مشخص کرد که استفاده از آب مغناطیسی موجب افزایش ارتفاع گیاه و سطح برگ گندم گردید (Hoyzan *et al.*, 2019). همچنین، آبیاری گیاه لویا چشم بلبلی و باقلا با آب مغناطیسی سبب بهبود سطح برگ شد (Sadeghipour and Aghaei, 2014). در پژوهشی عنوان شده است که استفاده از آب مغناطیسی

داد کاربرد آب مغناطیس ۰/۱ و ۰/۲ تسلا به ترتیب کاهش ۵/۳ و ۱۱/۶ درصدی ضخامت برگ در مقایسه با شرایط بدون استفاده از آب مغناطیس گردید (شکل ۱c). برهمکنش سه گانه عوامل مورد بررسی نشان داد عدم کاربرد آب مغناطیسی در شرایط تنش شوری ۸۰ میلی مولار در پایه MM106 بیشترین ضخامت برگ را داشت و با تیمارهای کاربرد ۰/۱ و ۰/۲ تسلا آب مغناطیسی در شرایط شوری ۸۰ میلی مولار و پایه MM106، عدم کاربرد آب مغناطیسی در پایه MM106 در شرایط شوری ۴۰ میلی مولار، عدم کاربرد آب مغناطیسی و شوری ۸۰ میلی مولار در پایه M7 و کاربرد ۰/۱ تسلا آب مغناطیس در پایه M7 در شرایط تنش شوری ۴۰ میلی مولار در یک گروه آماری قرار گرفت (جدول ۲). کاربرد آب مغناطیس ۰/۲ تسلا در مقایسه با عدم کاربرد آن موجب کاهش ۵/۷ درصدی دمای برگ شد (شکل ۲). نتایج نشان داد اثر دو گانه بین پایه و شوری بیانگر آن بود که بیشترین سطح برگ (۱۴۵۶۱ میلی متر مربع) در پایه M7 و در شرایط بدون تنش شوری حاصل شد (شکل ۳a). در صورتی که پایه MM106 در شرایط شوری ۸۰ میلی مولار کمترین سطح برگ (۴۳۷۸ میلی متر مربع) را به خود اختصاص داد (شکل ۳a). نتایج اثرات سه گانه نشان داد بیشترین دمای برگ در تیمارهای کاربرد ۰، ۰/۱ و ۰/۲ تسلا آب مغناطیس شده در شرایط شوری ۸۰ میلی مولار در پایه MM106، عدم کاربرد آب مغناطیسی در شرایط شوری ۴۰ میلی مولار در پایه MM104، کاربرد ۰ و ۰/۱ تسلا آب مغناطیس شده در شرایط عدم شوری در پایه M7، کاربرد ۰ و ۰/۱ تسلا آب مغناطیسی در شرایط شوری ۴۰ و ۸۰ میلی مولار در پایه M7 مشاهده شد (جدول ۲). کاربرد آب مغناطیس ۰/۲ تسلا در شرایط شوری ۴۰ میلی مولار سطح برگ را ۹۶/۷ درصد و در شرایط شوری ۸۰ میلی مولار میزان سطح برگ را ۸۳ درصد بهبود داد (شکل ۳b). بررسی برهمکنش اثرات سه گانه نشان داد سطح برگ در تیمار کاربرد ۰/۲ تسلا آب مغناطیس شده در شرایط عدم شوری در پایه M7 بیشتر از سایر تیمارها بود و با تیمارهای

گوجه‌فرنگی (Yusuf and AO, 2017) را افزایش داد.

میزان سطح برگ بوت‌های خیار (Issa *et al.*, 2016) و



of rootstock (a), salinity stress (b), and magnetized water (c) on leaf thickness

Figure 1. Main effects

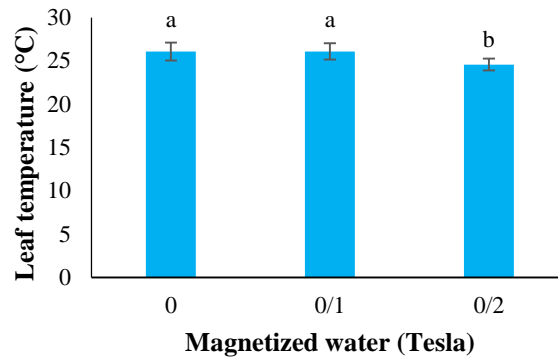
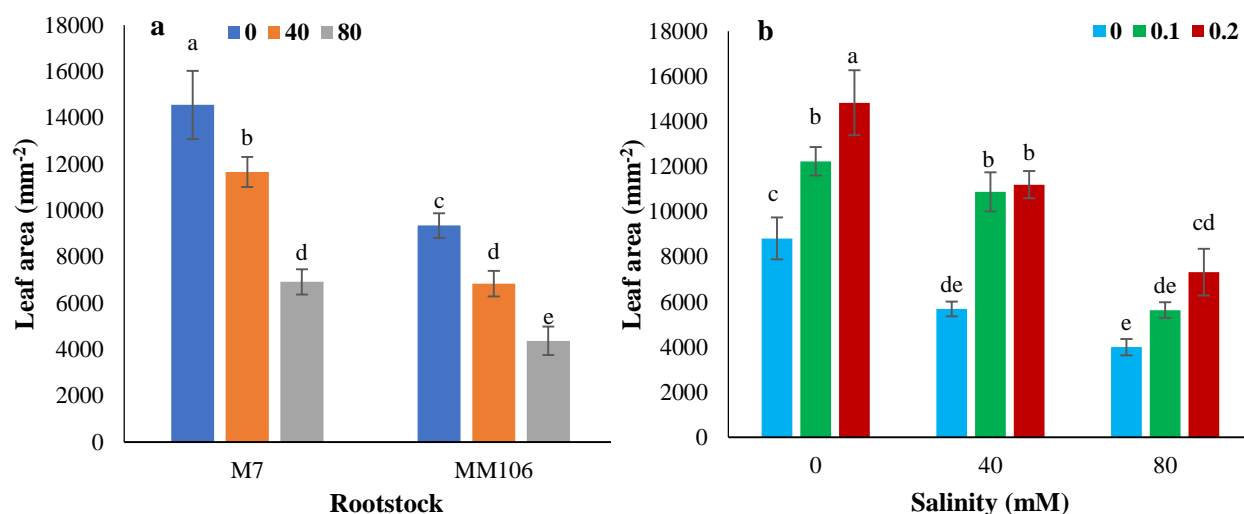


Figure 2. Main effect of magnetized water on leaf temperature





**Figure 3. Two-way interactions of rootstock × salinity stress (mM) (a), and two-way interactions of salinity stress × magnetized water (Tesla) (b) on leaf area**

**Table 2. Three-way interactions of rootstock × salinity stress × magnetized water on some traits of apple sapling**

Rootstock	Salinity stress (mM)	Magnetized water (Tesla)	Leaf thickness (mm)	Leaf temperature (°C)	Leaf area (mm <sup>2</sup> )	Internode length (cm)	Rootstock diameter (mm)	Branch growth (cm)
M7	0	0	0.265±0.006d-i	25.68±1.31a-c	11521±1256de	16.31±0.50c-e	14.49±0.46ef	19.13±2.14c
		0.1	0.248±0.005g-i	26.29±0.04a-c	15380±856ab	19.65±1.00b	16.45±0.36cd	29.77±1.64a
		0.2	0.233±0.009i	22.74±0.50d	16781±2312a	22.09±1.35a	17.01±0.48c	24.93±3.17b
	40	0	0.290±0.008b-f	25.88±0.65a-c	7085±440fg	12.46±0.91h-j	13.16±0.26fg	11.50±1.54f-i
		0.1	0.298±0.005a-d	25.82±1.11a-c	12939±901b-d	14.69±0.66e-h	14.49±0.75ef	19.38±1.83c
		0.2	0.255±0.006f-i	24.58±1.04cd	14981±596a-c	17.49±0.45b-d	14.98±0.10de	16.77±1.71cd
	80	0	0.323±0.024ab	27.27±0.92ab	4517±321hi	11.73±0.46ij	12.24±0.56g	7.54±0.41g-j
		0.1	0.295±0.010b-e	25.31±0.87a-c	7043±234fg	13.80±0.83f-i	14.03±0.46ef	7.33±0.77h-j
		0.2	0.278±0.007c-g	24.45±0.71cd	9218±1084ef	16.16±1.03de	14.49±0.48ef	11.77±1.83e-h
MM106	0	0	0.270±0.009c-h	25.09±1.69b-d	6109±602gh	12.55±0.28h-j	20.32±0.60b	11.88±1.05e-g
		0.1	0.260±0.008e-i	25.34±0.55bc	9082±412ef	16.06±1.44d-f	22.44±1.19a	13.23±0.95d-f
		0.2	0.240±0.004hi	25.29±0.93b-d	12867±572cd	18.51±1.32bc	23.36±0.37a	16.07±1.64c-e
	40	0	0.323±0.031ab	26.14±1.10a-c	4300±202hi	10.93±0.48jk	17.17±0.54c	3.38±0.94jk
		0.1	0.293±0.009b-e	27.96±1.57a	8820±840f	15.13±0.26e-g	20.67±1.03b	9.58±1.31f-i
		0.2	0.288±0.014b-f	24.59±0.40cd	7412±609fg	15.74±0.85d-g	19.82±0.45b	9.60±1.86f-i
	80	0	0.333±0.019a	26.35±0.46a-c	3479±391i	9.19±0.56k	15.63±0.42c-e	2.29±0.29k
		0.1	0.315±0.029ab	25.79±1.52a-c	4232±462hi	13.54±0.73g-i	20.67±0.49b	3.53±0.89jk
		0.2	0.303±0.017a-c	25.73±0.49a-c	5423±989g-i	15.54±0.60d-g	19.60±0.80b	7.00±2.03ij

The means with same letters in each column do not have a significant difference.

تسلا به ترتیب ۴۴/۲ و ۱۷/۴ درصد در مقایسه با عدم مصرف آن افزایش یافتند (شکل ۴b و شکل ۵c). برهمکنش پایه و تنش شوری (شکل ۶a) نشان داد بیشترین رشد شاخه در پایه M7 در شرایط عدم تنش شوری مشاهده شد و در هر دو پایه با افزایش شدت تنش، رشد شاخه بطور معنی داری کاهش یافت (شکل ۶a). جدول اثرات سه گانه نشان داد بالاترین قطر پایه در تیمار کاربرد ۰/۱ و ۰/۲ تسلا آب مغناطیس در شرایط عدم تنش شوری در پایه MM106 مشاهده شد (جدول ۲). همچنین، نتایج نشان داد بیشترین رشد شاخه در شرایط عدم تنش شوری و با کاربرد ۰/۱ و ۰/۲ تسلا آب مغناطیسی به ترتیب با ۲۱/۵۰ و ۲۰/۵۰ سانتی متر تولید شد (شکل ۶b). نتایج نشان داد کاربرد ۰/۱ تسلا آب مغناطیس شده در شرایط عدم تنش شوری در پایه M7 بیشترین رشد سرشاخه را داشت (جدول ۲).

پژوهش‌های سابق نشان داده است که شاخص‌های مورفولوژی درخت بادام از جمله رشد طولی و قطر تنه با افزایش شدت شوری، کاهش می‌یابند و دلیل این کاهش را به سمیت یونی و تنش خشکی ناشی از افزایش پتانسیل اسمزی محلول خاک نسبت داده‌اند (Rahemi et al., 2008). کاهش قطر ساقه احتمالاً ناشی از تأثیر سوء کلرور سدیم بر دو فرآیند تقسیم و بزرگ شدن سلولی است (Kerepesi and Galiba., 2000). کاهش قطر شاخه‌های بسته (Hajiboland et al., 2014)، تعداد میان‌گره و سطح برگ زیتون (Chartzoulakis et al., 2002) در اثر افزایش سطح شوری گزارش شده است. محققین گزارش دادند که کاربرد آب مغناطیسی سبب افزایش طول میان‌گره‌ها و قطر ساقه گیاه نعنای فلفلی گردید (Jamali et al., 2020). از طرفی، تیمار آبیاری با آب مغناطیسی در مقایسه با آب معمولی سبب افزایش معنی دار قطر ساقه گیاه چای ترش شد (Hammami and Imani, 2021). اثرات مثبت استفاده از آب مغناطیس بر خصوصیات رشدی گیاه از قبیل سطح برگ، قطر ساقه و وزن خشک گیاه باقلا در مطالعات El

## طول میان‌گره، قطر پایه و رشد شاخه

نتایج نشان داد برهمکنش پایه و تنش شوری در سطح احتمال یک درصد و برهمکنش تنش شوری و آب مغناطیسی در سطح احتمال پنج درصد روی رشد شاخه تأثیر معنی داری گذاشت (جدول ۱). از طرفی، برهمکنش پایه و تنش شوری در سطح احتمال یک درصد و اثر اصلی آب مغناطیسی در سطح احتمال یک درصد تأثیر معنی داری روی طول میان‌گره داشت (جدول ۱). همچنین، اثرات اصلی پایه، تنش شوری و آب مغناطیسی تأثیر معنی داری در سطح احتمال یک درصد روی قطر پایه گذاشت (جدول ۱).

مقایسه میانگین‌ها نشان داد با افزایش شدت تنش، طول میان‌گره در هر دو پایه M7 و MM106 کاهش یافت و بیشترین طول میان‌گره در پایه M7 و در شرایط عدم تنش شوری با ۱۹/۳۵ سانتی متر بدست آمد (شکل ۴a). اثرات سه گانه نشان داد تیمار کاربرد ۰/۲ تسلا آب مغناطیسی در پایه M7 در شرایط عدم تنش شوری با ۲۲/۰۹ سانتی متر طول میان‌گره بیشتری نسبت به سایر تیمارها داشت (جدول ۲). اثرات اصلی پایه و تنش شوری نیز نشان داد بیشترین قطر پایه در پایه MM106 با ۱۹/۸۳ میلی‌متر (شکل ۵a) مشاهده شود و با افزایش شدت تنش شوری، قطر پایه بطور معنی داری کاهش یافت و بیشترین مقدار آن در عدم تنش شوری تولید شد (شکل ۵b). اثر اصلی آب مغناطیسی مشخص کرد که بالاترین طول میان‌گره (۱۷/۵۸ سانتی متر) و قطر پایه (۱۸/۲ میلی‌متر) در حالت استفاده از آب مغناطیس ۰/۲ تسلا حاصل شد (شکل ۴b و شکل ۵c). پایین‌ترین محتوای این صفات به ترتیب ۱۲/۱۹ سانتی متر و ۱۵/۵ میلی‌متر در حالت عدم کاربرد آب مغناطیسی به دست آمد (شکل ۴b و شکل ۵c). کاربرد آب مغناطیس ۰/۱ تسلا در مقایسه با عدم کاربرد آن، طول میان‌گره را ۲۶/۹ درصد و قطر پایه را ۱۵/۶ درصد افزایش داد. هم‌چنین طول میان‌گره و قطر پایه با مصرف آب مغناطیس ۰/۲

یک ساله انگور در نتیجه استفاده از آب مغناطیسی گزارش شده است (Liu *et al.*, 2020).

Sayed (2014) به اثبات رسیده است. همچنین افزایش معنی دار قطر ساقه، سطح برگ و زیست توده برگ گیاهچه‌های

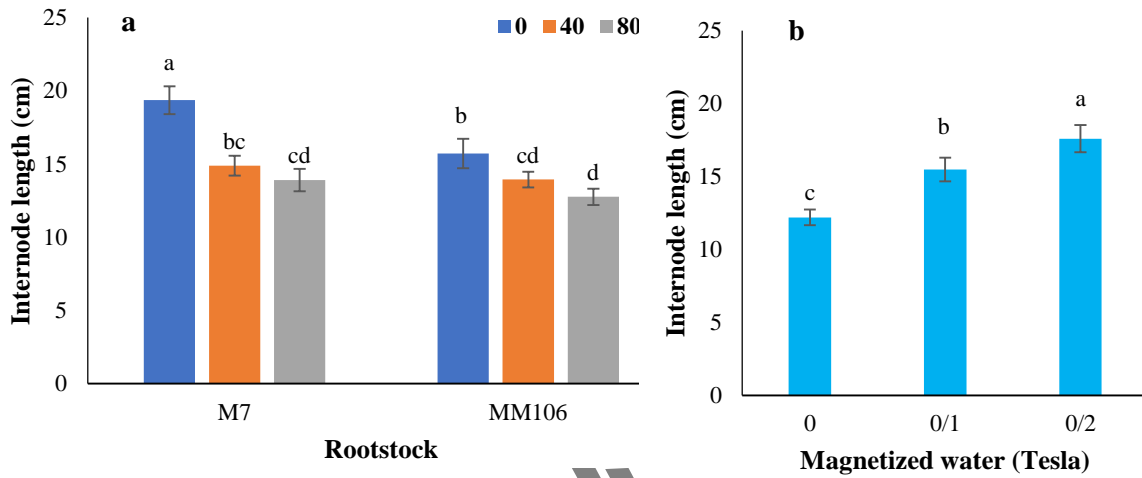


Figure 4. Two-way interactions of rootstock  $\times$  salinity stress (mM) (a), and main effects of magnetized water (b) on internode length

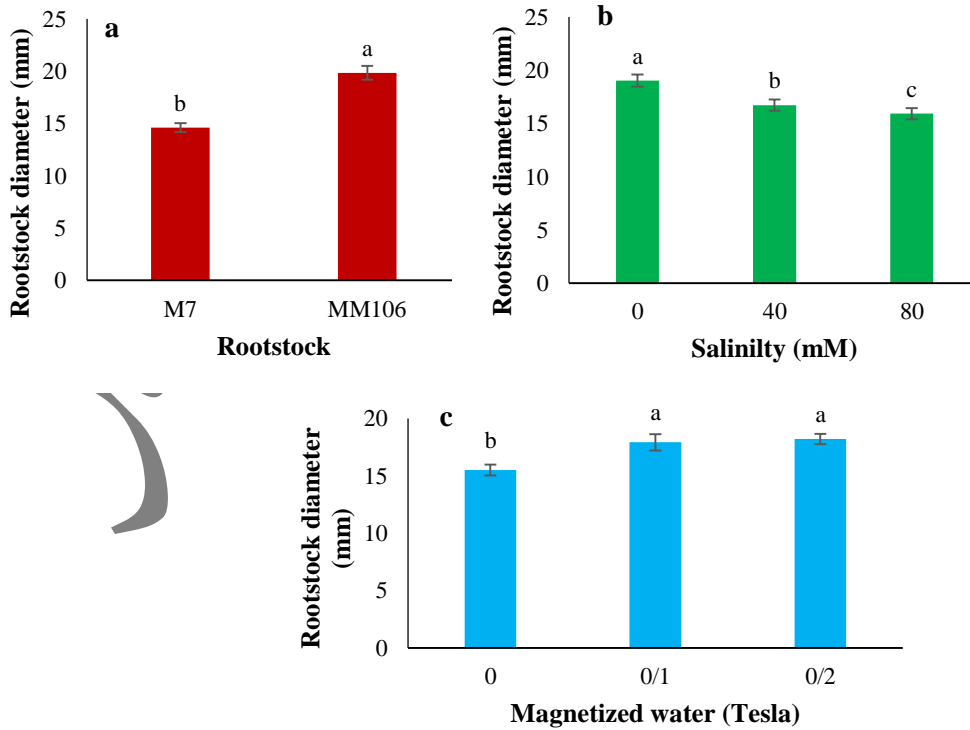
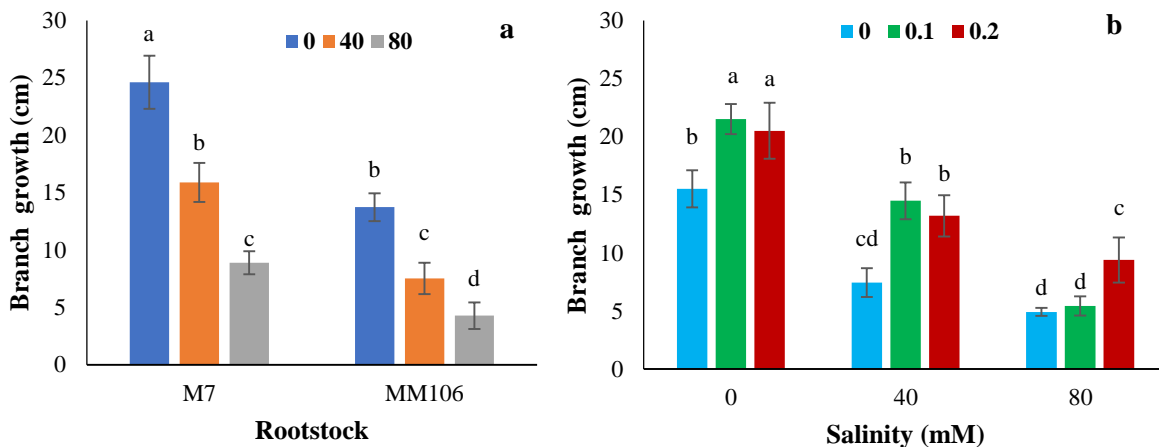


Figure 5. Main effects of rootstock (a), salinity stress (b), and magnetized water (c) on rootstock diameter



**Figure 6. Two-way interactions of rootstock × salinity stress (mM) (a), and two-way interactions of salinity stress × magnetized water (Tesla) (b) on branch growth**

(جدول ۵). اعمال شوری ۴۰ و ۸۰ میلی مولار محتوای نسبی آب را به ترتیب ۱۲/۴۹ و ۱۵/۱۷ درصد نسبت به شاهد کاهش داد (جدول ۱). کاربرد آب مغناطیسی ۰/۱ و ۰/۲ تسلا محتوای نسبی آب برگ را به ترتیب ۱۶/۷۹ درصد ۱۶/۶ درصد نسبت به عدم مصرف آب مغناطیسی بهبود بخشیدند (جدول ۱). اثرات سه گانه نشان داد کاربرد ۰/۲ تسلا آب مغناطیس شده در شرایط عدم تنش شوری در پایه M7 با ۹۶/۲۶ درصد بیشترین محتوای نسبی آب برگ را داشت و با تیمارهای کاربرد ۰/۱ تسلا آب مغناطیس شده در شرایط عدم تنش شوری در پایه M7 (۹۵/۳۸ درصد) و کاربرد ۰/۱ تسلا آب مغناطیس شده در شرایط عدم تنش شوری در پایه MM106 (۹۳/۱۱ درصد) اختلاف آماری نداشت (جدول ۵). محتوای نسبی آب یک شاخص مهم برای تعیین وضعیت آبی در گیاهان است که میزان تأمین آب و هم چنین میزان تعرق از بافت برگ را نشان می دهد (Lugojan and Ciulca., 2011). مطالعات نشان داده اند که محتوای نسبی آب پایه های سیب چینی تحت تنش شوری کاهش یافت (Yin *et al.*, 2010). محققین در مطالعات خود روی پایه های سیب گزارش کردند که کاهش پتانسیل آبی برگ ها عامل کاهش محتوای نسبی

### شاخص سبزینگی (SPAD) و رطوبت نسبی آب برگ (RWC)

جدول تجزیه واریانس نشان داد اثرات اصلی پایه، تنش شوری و آب مغناطیسی اثر معنی داری در سطح احتمال یک درصد روی SPAD و RWC گذاشت (جدول ۳). جدول برهمکنش اثرات اصلی نشان داد بیشترین شاخص سبزینگی با ۴۲/۵۴ در پایه MM106 مشاهده شد (جدول ۴) در حالی که رطوبت نسبی آب برگ در پایه M7 با ۸۲/۷۰ درصد، بیشتر از پایه MM106 بود (جدول ۴). بیشترین شاخص سبزینگی در شرایط عدم تنش شوری بدست آمد (جدول ۴). همچنین، کاربرد ۰/۲ تسلا آب مغناطیسی باعث افزایش SPAD شد و این سطح بیشتر از عدم استفاده از آب مغناطیسی و آب مغناطیسی ۰/۱ تسلا شاخص سبزینگی داشت (جدول ۱). برهمکنش اثرات سه گانه نشان داد کاربرد ۰/۲ تسلا آب مغناطیس شده در شرایط عدم تنش شوری در پایه MM106 بیشترین شاخص سبزینگی را داشت و با تیمارهای کاربرد ۰/۲ تسلا آب مغناطیس در شرایط شوری ۴۰ میلی مولار در پایه MM106 و کاربرد ۰/۲ تسلا آب مغناطیس در شرایط عدم تنش شوری در پایه M7 در یک گروه آماری قرار گرفت

ظرفیت حرکتی می‌شود که می‌تواند اثر پلاریزاسیون را بهبود بخشیده و در نتیجه جذب آب را به داخل سلول افزایش دهد (Tai et al., 2008). مطالعات حسن و همکاران (2019) نشان داد که مغناطیس کردن آب سبب افزایش محتوای نسبی آب در گونه مورینگا (*Moringa species*) تحت شرایط تنش خشکی شد.

آب شده و از این طریق سبب بسته شدن روزنه‌ها، کاهش جذب CO<sub>2</sub> و در نتیجه کاهش سرعت فتوسنتز می‌شود (Aras and Esitken, 2019). ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و آب را می‌توان با انرژی مغناطیسی بهبود بخشید. در اثر قرار گیری آب تحت تأثیر میدان مغناطیسی، خواص اساسی آن از جمله قدرت یونی، pH و نیروی کششی سطح تغییر می‌کند. افزایش ارتعاش داخلی مولکول‌های آب منجر به افزایش

**Table 3. Analysis of variance of SPAD, RWC, total phenol, and phenylalanine ammonia-lyase (PAL) of apple, affected by rootstock, salinity stress, and magnetized water**

S.O.V	df	Mean squares				
		SPAD	RWC	Total phenol	DPPH	PAL
Block	3	21.66 <sup>ns</sup>	26.57**	0.82 <sup>ns</sup>	0.69**	203**
Rootstock (R)	1	360**	75.17**	93.98**	0.01 <sup>ns</sup>	97.34 <sup>ns</sup>
Salinity stress (S)	2	194**	1274**	135.6**	0.29*	2200**
Magnetized water (M)	2	365**	1209**	64.76**	0.22 <sup>ns</sup>	1712**
RS	2	1.41 <sup>ns</sup>	1.90 <sup>ns</sup>	1.79**	0.04 <sup>ns</sup>	74.82 <sup>ns</sup>
RM	2	16.31 <sup>ns</sup>	1.31 <sup>ns</sup>	2.48**	0.16 <sup>ns</sup>	172*
SM	4	7.88 <sup>ns</sup>	3.91 <sup>ns</sup>	3.85**	0.22 <sup>ns</sup>	163*
RSM	4	2.40 <sup>ns</sup>	7.37 <sup>ns</sup>	0.89*	0.10 <sup>ns</sup>	554**
Error	51	9.48	5.06	0.34	0.09	47.20
CV (%)		7.64	2.76	9.40	13.87	19.63

RWC: Relative water content, DPPH: 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl, PAL: Phenylalanine ammonia-lyase. ns, \* and \*\* represent no-significant and significant at 5% and 1% probability level, respectively.

**Table 4. Main effects of rootstock, salinity stress, and magnetized water on SPAD, and RWC**

Main effects	SPAD	RWC (%)
<b>Rootstock</b>		
M7	38.07±1.41a	82.70±1.05a
MM106	42.54±1.48b	80.65±1.26b
<b>Salinity stress (mM)</b>		
0	43.26±1.80a	89.97±1.28a
40	40.07±1.39b	78.73±1.05b
80	37.59±1.14c	76.32±1.15c
<b>Magnetized water (Tesla)</b>		
0	36.82±1.13c	73.48±1.31b
0.1	39.57±1.40b	85.83±0.96a
0.2	44.52±1.81a	85.72±1.20a

**Table 5. Three-way interactions of rootstock × salinity stress × magnetized water on SPAD, RWC, and DPPH**

Rootstock	Salinity stress (mM)	Magnetized water (Tesla)	SPAD	RWC (%)	DPPH (mg ml <sup>-1</sup> )
M7	0	0	37.46±1.44g-i	80.62±1.97de	2.18±0.06a-c
		0.1	38.88±0.56e-h	95.38±0.81ab	2.27±0.13a-c
		0.2	46.91±2.32ab	96.26±1.13a	2.19±0.09a-c
	40	0	33.71±0.98ij	73.25±1.23f	2.26±0.11a-c
		0.1	38.4±1.95f-h	83.96±1.39c	2.09±0.07a-c
		0.2	42.02±1.08c-f	82.98±0.6cd	2.23±0.15a-c
	80	0	29.96±0.92j	69.35±0.47g	2.29±0.15a-c
		0.1	35.10±1.49hi	82.00±0.72c-e	2.22±0.14a-c
		0.2	40.21±1.94d-g	80.47±1.16de	1.61±0.24d
MM106	0	0	43.05±1.34b-e	81.52±2.12c-e	2.3±0.15a-c
		0.1	43.64±1.72b-d	93.11±0.48ab	2.15±0.05a-c
		0.2	49.63±3.42a	92.94±1.17b	2.51±0.14a
	40	0	39.50±1.27d-g	69.36±0.66g	2.42±0.05ab
		0.1	41.10±1.43d-g	80.86±1.07c-e	1.96±0.34cd
		0.2	45.70±1.65a-c	81.98±1.33cd	2.05±0.35bc
	80	0	37.26±0.79g-i	66.78±1.44g	2.18±0.10a-c
		0.1	40.34±1.24d-g	79.64±1.27e	2.01±0.19b-d
		0.2	42.68±0.47b-f	79.69±1.82e	1.99±0.24cd

The means with same letters in each column do not have a significant difference.

### فنل کل و ظرفیت آنتی اکسیدانی

نتایج نشان داد اثر سه گانه پایه، تنش شوری و آب مغناطیسی تأثیر معنی داری روی فنل کل در سطح احتمال پنج درصد گذاشت (جدول ۳)، در حالی که تنها اثر اصلی تنش شوری تأثیر معنی داری در سطح احتمال یک درصد روی ظرفیت آنتی اکسیدانی داشت (جدول ۳). اثر متقابل سه گانه پایه، شوری و آب مغناطیسی مشخص کرد که بیشترین میزان فنل در ترکیبات تیماری استفاده از آب مغناطیسی ۰/۲ تسلا در شرایط شوری ۸۰ میلی مولار و در پایه MM106 (۱۰/۸۳) میلی گرم گالیک اسید در گرم وزن تر برگ) بدست آمد و با تیمار کاربرد آب مغناطیسی ۰/۱ تسلا تحت تنش شوری ۸۰ میلی مولار و در پایه MM106 (۱۰/۶) میلی گرم گالیک اسید در گرم وزن تر برگ) در یک گروه آماری قرار گرفت

(شکل ۷). (جدول ۷-). ترکیبات تیماری بدون شوری × بدون آب مغناطیسی × پایه M7، بدون شوری × بدون آب مغناطیسی × پایه MM106 و بدون شوری × آب مغناطیسی ۰/۱ تسلا × پایه M7 کمترین محتوای فنل را به خود اختصاص دادند (شکل ۷).

ترکیبات فنلی متابولیت‌های ثانویه‌ای هستند که مسئول پاسخ‌های گیاه به شرایط نامطلوب یا تنش هستند (Ahmed *et al.*, 2019). در بین آنتی اکسیدان‌های غیر آنزیمی، فنل‌ها و فلاونوئیدها به طور قابل توجهی به عنوان مهارکننده رادیکال‌های آزاد در گیاهان برای تحمل تنش شوری با تجمع در بافت‌های مختلف کمک می‌کنند (Şirin and Aslım., 2019). ترکیبات فنلی از ماکرومولکول‌های مهم مانند پروتئین‌ها، ساختار آنزیم‌ها، اسیدهای نوکلئیک، لیپوپروتئین‌ها

و لیپیدهای غشایی در برابر آسیب‌های ناشی از رادیکال‌های آزاد محافظت می‌کنند (Schroeter *et al.*, 2000). پژوهشگران افزایش محتوای فنلی را تحت شرایط تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار در کاهو، گزارش کردند (Mahmoudi *et al.*, 2010). افزایش محتوای فنل با استفاده از آب مغناطیس در سویا (Radhakrishnan and Kumari, 2013) و لوبیا (El Sayed, 2014) مشاهده شده است. همبستگی قابل توجهی بین فنل کل و فلاونوئید کل با مهار فعالیت رادیکال‌های آزاد در برگ انگور گزارش شده است (Katalinic *et al.*, 2013). همبستگی مثبتی بین فعالیت آنتی‌اکسیدانی و مقاومت به شوری در پایه‌های MM106، EM9، و *Malus prunifolia* (Du *et al.*, 2010) مشاهده شده است. همچنین، محققین تاثیر مثبت محلول غذایی مغناطیس شده بر افزایش تولید ترکیبات فنلی و فلاونوئیدها را در انگور رقم رشه و سلطانین گزارش نمودند (Zareei *et al.*, 2019). اثر اصلی تنش شوری نشان داد که بیش‌ترین محتوای ظرفیت آنتی‌اکسیدانی (۲/۲۶ میلی‌گرم در میلی‌لیتر) در شرایط عدم اعمال شوری و کم‌ترین میزان آن (۲/۰۴ میلی‌گرم در میلی‌لیتر) در سطح شوری ۸۰ میلی‌مولار مشاهده گردید (شکل ۸).

سطوح شوری ۴۰ و ۸۰ میلی‌مولار میزان ظرفیت آنتی‌اکسیدانی را به ترتیب ۳/۹۸ و ۹/۷۳ درصد نسبت به عدم اعمال شوری کاهش داد (شکل ۸). نتایج اثرات سه گانه نشان داد مقدار ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در تیمارهای کاربرد ۰/۲ تسلا آب مغناطیس شده در پایه M7 در شرایط تنش شوری ۸۰ میلی‌مولار، کاربرد ۰/۲ تسلا آب مغناطیس شده در شرایط شوری ۸۰ میلی‌مولار در پایه MM106 و کاربرد ۰/۱ تسلا آب مغناطیس شده در شرایط تنش شوری ۴۰ میلی‌مولار در پایه MM106 کمتر از سایر تیمارها بود (جدول ۵). محققین مشاهده کردند که افزایش شوری سبب افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی ضد اکسایشی می‌شود و در این حالت مقدار عددی ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کاهش می‌یابد (Noohpishah *et al.*, 2020). همچنین، اعمال تنش شوری ۵۰ میلی‌مولار و کاربرد میدان مغناطیسی ۴ میلی‌تسلا سبب کاهش مقدار عددی ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در گیاه خار مریم گردید (Hassanpour *et al.*, 2020). تجمع ترکیبات فنلی نظیر فلاونوئیدها در واکنش سلول‌های اپیدرمی برگ سبب افزایش فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز شده و قدرت جاروب رادیکال‌های اکسیژنی را فراهم می‌کنند.

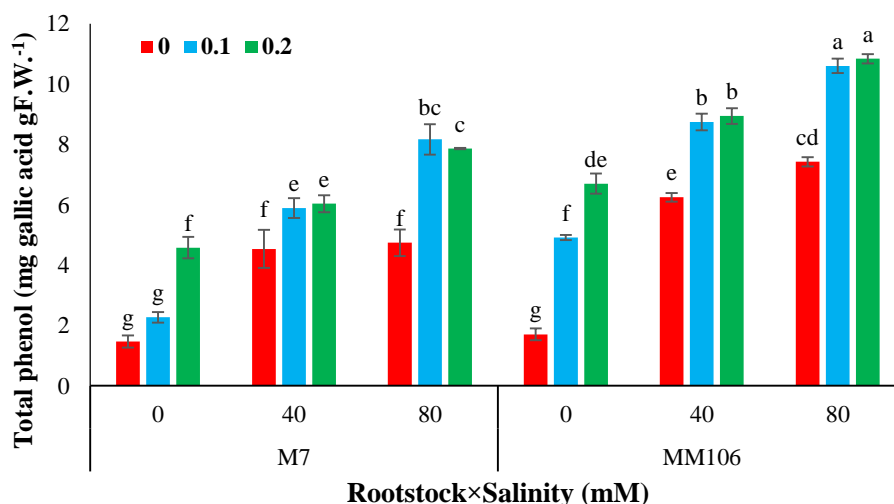
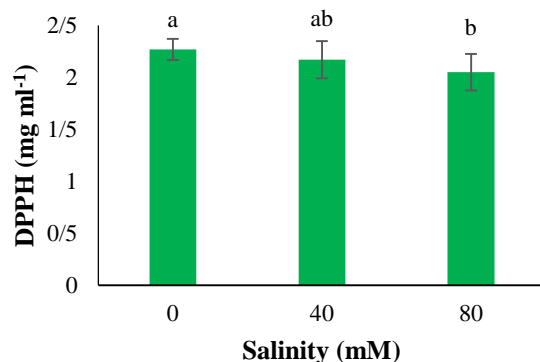


Figure 7. Three-way interactions of rootstock × salinity stress × magnetized water (Tesla) on total phenol



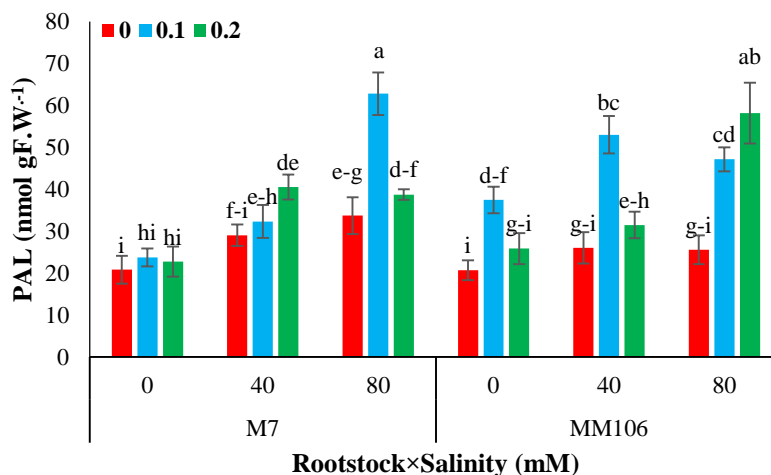
**Figure 8. Main effect of salinity stress on leaf DPPH**

میلی مولار سبب افزایش ۸۵/۸ درصدی فعالیت آنزیم PAL در پایه M7 و ۱۸۱/۲ درصدی فعالیت آن در پایه MM106 گردید (جدول ۷-). آنزیم PAL نقش کلیدی در مسیر فنیل پروپانوئید ایفا می کند. فعالیت این آنزیم پیش زمینه سنتز ترکیبات فنلی می باشد و این ترکیبات فنلی سبب بهبود مقاومت گیاه در پاسخ به تنش های زیستی و غیرزیستی می شوند (Yan *et al.*, 2006). محققین گزارش کردند که فعالیت آنزیم PAL در گیاهچه های (*Jatropha curcas*. L) تحت شرایط تنش شوری افزایش یافت (Gao *et al.*, 2008). هم چنین افزایش فعالیت این آنزیم در گندم تحت شرایط تنش شوری و خشکی مشاهده شده است (Dugasa *et al.*, 2020). همچنین، میزان اسیدهای فنولیک و فعالیت آنزیم PAL در ژنوتیپ های انگور (*Vitis vinifera* L.) در شرایط تنش شوری افزایش می یابد (Mohammadkhani *et al.*, 2013). محققین اظهار داشتند که تیمار میدان مغناطیسی سبب افزایش فعالیت آنزیم PAL در گیاه *Dracocephalum polychaetum* Borrm شد (Taghizadeh *et al.*, 2019). همچنین، افزایش فعالیت آنزیم PAL را در انگور تیمار شده با محلول غذایی مغناطیس شده گزارش کردند (Zareei *et al.*, 2019).

### فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیا لایز (PAL)

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل شوری و پایه همراه با شوری و آب مغناطیسی بر فعالیت آنزیم PAL در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۳). فعالیت آنزیم PAL با اعمال تنش شوری افزایش داشت، و کاربرد آب مغناطیسی سبب افزایش فعالیت این آنزیم گردید (جدول ۳). مقایسه میانگین ها نشان داد که شوری ۴۰ میلی مولار فعالیت آنزیم PAL را ۴۰/۳ درصد و شوری ۸۰ میلی مولار فعالیت PAL را ۷۵/۹ درصد در مقایسه با شاهد افزایش داد. هم چنین میزان فعالیت آنزیم PAL (۶۴/۴ و ۳۹/۴ درصد) به ترتیب با کاربرد آب مغناطیسی ۰/۱ و ۰/۲ تسلا بهبود یافت. اثر ترکیب تیماری سه گانه شوری، آب مغناطیسی و پایه های سیب مشخص کرد که بالاترین فعالیت آنزیم PAL (۶۲/۷۷ نانومول در گرم وزن تر) از ترکیب تیماری شوری ۸۰ میلی مولار، کاربرد آب مغناطیس ۰/۱ تسلا و در پایه M7 حاصل شد. کم ترین فعالیت این آنزیم در حالت عدم اعمال شوری و آب مغناطیس و در پایه MM106 (۲۰/۶۸ نانومول در گرم وزن تر) و پایه M7 (۲۰/۸۳ نانومول در گرم وزن تر) مشاهده گردید. کاربرد آب مغناطیس ۰/۲ تسلا در سطح شوری ۸۰





**Figure 9. Three-way interactions of rootstock × salinity stress × magnetized water (Tesla) on phenylalanine ammonia-lyase (PAL)**

مغناطیسی سبب کاهش اثرات نامطلوب ذکر شده در هر دو پایه گردید. بطور کلی می توان گفت مغناطیس نمودن آب- شور با افزایش دادن محتوای نسبی آب برگ، سطح برگ، تحریک فعالیت آنزیم PAL و تولید ترکیبات فنلی تحمل شرایط تنش را ممکن می سازد. در کل چنین می توان بیان نمود که تحت شرایط تنش شوری استفاده از پایه M7 امیدبخش تر از پایه MM106 به نظر می رسد.

### نتیجه گیری

نتایج نشان داد با افزایش سطح شوری محتوای نسبی آب برگ، شاخص سبزینگی و صفات مورفولوژیک از قبیل رشد شاخه، سطح برگ، قطر پایه و میان گره نهال های سبب رقم گلدن دلشیز پیوند شده بر روی دو پایه رویشی M7 و MM106 کاهش محسوسی نشان دادند، و این کاهش در پایه MM106 نسبت به پایه M7 بیشتر بود. از طرف دیگر تیمار

### منابع

- Abdul Qados, A.M.S. & Hozayn, M. (2010). Response of growth, yield, yield components and some chemical constituents of flax for irrigation with magnetized and tap water. *World Applied Sciences Journal*, 8(5): 630-640.
- Abedinpour, M. & Roohani, E., (2019). The Effect of Salinity and Magnetic Water on Yield and Water Use Efficiency of Cumin (Case Study: Kashmar Region). *Iranian journal of soil and water research*, 50(4): 807-917. [In Persian].
- Ahmed, S., Ahmed, S., Roy, S.K., Woo, S.H., Sonawane, K.D. & Shohael, A.M. (2019). Effect of salinity on the morphological, physiological and biochemical properties of lettuce (*Lactuca sativa* L.) in Bangladesh. *Open Agriculture*, 4(1): 361-373.
- Aras, S. & Esitken, A. (2019). Responses of apple plants to salinity stress. *Journal of agricultural science*, 29(2): 253-257.
- Bagherifard, A. & Hamidoghli, U. (2016). The effect of magnetic saline water on absorption of sodium and potassium in artichoke (*Cynara scolymus* L.) leaves. *Plant ecophysiology*, 7(23): 176-184. [In Persian].
- Chartzoulakis, K., Loupassaki, M. & Androulakis, I. (2002). Comparative study on NaCl salinity tolerance of six olive cultivars. *Acta Horticulturae*, 586: 497-501.
- Chiou, A., Karathanos, V.T., & Mylona, A. (2007). Currants (*Vitis vinifera* L.) content of simple

- phenolics and antioxidant activity. *Food Chemistry*, 102: 516-522.
- Du, C.X., Fan, H.F., Guo, S.R., Tezuka, T. & Li, J. (2010). Proteomic analysis of cucumber seedling roots subjected to salt stress. *Phytochemistry*, 71(13): 1450-1459.
- Du, Z. J., Zhai, H., Luo, X.S., Cheng, S. H. & Pan, Z.Y. (2002). Salt-tolerance identification on apple rootstocks. *Journal of Fruit Science*, 19: 4-7.
- Dugasa, M.T., Chala, I.G. & Wu, F. (2020). Genotypic difference in secondary metabolism-related enzyme activities and their relative gene expression patterns, osmolyte and plant hormones in wheat. *Physiologia Plantarum*, 168(4): 921-933.
- El Sayed, H.E.S.A. (2014). Impact of magnetic water irrigation for improve the growth, chemical composition and yield production of broad bean (*Vicia faba* L.) plant. *American Journal of Experimental Agriculture*, 4(4): 476.
- Food and Agriculture Organization Statistical Data (FAOSTAT). (2021). FAO Statistical Data. (Available at: <http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/home/E>).
- Fu, M., Li, C. & Ma, F. (2013). Physiological responses and tolerance to NaCl stress in different biotypes of *Malus prunifolia*. *Euphytica*, 189, 101–109.
- Gao, S., Ouyang, C., Wang, S., Xu, Y., Tang, L. & Chen, F. (2008). Effects of salt stress on growth, antioxidant enzyme and phenylalanine ammonia-lyase activities in *Jatropha curcas* L. seedlings. *Plant, Soil and Environment*, 54(9): 374-381.
- Hajiboland, R., Norouzi, F. & Poschenrieder, C. (2014). Growth, physiological, biochemical and ionic responses of pistachio seedlings to mild and high salinity. *Trees*, 28(4): 1065-1078.
- Hajimahdipour, H., Khanavi, M., SHEkarchi, M., Abedi, Z. & Piralı Hamedani, M. (2009). Study the best method of extraction of phenolic compounds in *Echinacea purpurea*. *Journal of Medicinal Plants*, 4(8): 145-152.
- Hammami, H. & Imani, N. (2021). Effects of magnetic irrigation water treatment on growth and yield characteristics of *Hibiscus sabdariffa* L. under water deficit stress. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 37(2): 214-228. [In Persian]
- Hanin, M., Ebel, C., Ngom, M., Laplaze, L. & Masmoudi, K. (2016). New insights on plant salt tolerance mechanisms and their potential use for breeding. *Frontiers in Plant Science*, 7: 1787. DOI: 10.3389/fpls.2016.01787
- Hassanpour, H., Gharaati, T., Hekmati, M. & Mousavi, F. (2020). Effects of magnetic fields on some physiological factors and antioxidant capacity of *Silibum marianum* L. seedlings under salt stress. *Plant Process and Function*, 9(38) :283-296. [In Persian].
- Hozayn, M. & Abdul Qados, A.A. (2010). Irrigation with magnetized water enhances growth, chemical constituent and yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Agriculture and Biology Journal of North America*, 1(4): 671-676.
- Ibrahim, M.A., Goma, F.A., Hozayen M. & Kotb, M.S. (2022). Magnetic treatment of salted irrigation water and seeds: Its effects on vegetable crop yield and nutrition value of spinach (*Spinacia oleracea* L.). *Journal of advanced zoology*, 43(S1), 229–243.
- Issa, F.H., Shanoon R.W. & El Kaaby, E.J. (2016). Effect of magnetized water with spraying (Amino Alexine) on growth and yield of (*Cucumis Sativus* L.) growth in plastic house. *Journal of University of Duhok*, 19(1): 418-424.
- Jalili Marandi, R., Hasani, A., Davalitbaneh, H., Haji Taghiloo, R. & Yousefzadeh, H. (2012). The effect of salinity levels on the morphological and physiological characteristics of two grape varieties. *Journal of Horticultural Science*, 26(1): 68-77. [In Persian].
- Jamali, S., Ansari, H. & Safarizadeh-sani, A. (2020). Effects of different irrigation levels and magnetized water on growth and yield of peppermint (*Mentha piperita* L.). *Water Research in Agriculture*, 34(3): 433-447. [In Persian].
- Katalinic, V., Mozina, S. S., Generalic, I., Skroza, D., Ljubenkovic, I. & Klančnik, A. (2013). Phenolic profile, antioxidant capacity, and antimicrobial activity of leaf extracts from six *Vitis vinifera* L. varieties. *International Journal of Food Properties*, 16(1): 45-60.
- Kerepesi, H. & Galiba, G. (2000). Osmotic and salt stress induced alteration in soluble carbohydrate

- content in wheat seedling. *Crop Science*, 40: 482-487.
- Khorsandi, O., Hassani, A., Sefidkon, F., Shirzad, H. & Khorsandi, A. (2010). Effect of salinity (NaCl) on growth, yield, essential oil content and composition of *Agastache foeniculum* kuntz. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 26(3): 438-451. [In Persian].
- Khosrojerdi, M. & Moghaddam, M. (2023). The Effect of Magnetization of Saline Water on Shoot Biomass, Chlorophyll Content, Total Phenol and Antioxidant Activity in Meadow Sage (*Salvia virgata* Jacq.). *Journal of Soil and Plant Interactions*, 13(4): 1-22. [In Persian].
- Lee, M.H., Cho, E.J. & Wi, S.G. (2013). Divergences in morphological changes and antioxidant responses in salt-tolerant and salt-sensitive rice seedlings after salt stress. *Plant Physiol. Bioch.*, 70, 325-335
- Liu, X., Wang, L., Wei, Y., Zhang, Z., Zhu, H, Kong, L., Meng, S, Song, C., Wang, H., Ma, F. (2020). Irrigation with magnetically treated saline water influences the growth and photosynthetic capability of *Vitis vinifera* L. seedlings. *Scientia horticulturae*, 262, 109056. doi.org/10.1016/j.scienta.2019.109056.
- Lugojan, C. & Ciulca, S. (2011). Evaluation of relative water content in winter wheat. *Journal of Horticulture, Forestry and Biotechnology*, 15(2): 173-177.
- Maas, E.V. (1986). Salt tolerance in plants. *Applications in Plant Sciences*, 1, 12-26.
- Maggio, A., De Pascale, S., Angelino, G., Ruggiero, C. & Barbieri, G. (2004). Physiological response of tomato to saline irrigation in long-term salinized soils. *European Journal of Agronomy*, 21(2): 149-159.
- Mahmoudi, H., Huang, J., Gruber, M. Y., Kaddour, R., Lachaal, M., Ouerghi, Z. & Hannoufa, A. (2010). The impact of genotype and salinity on physiological function, secondary metabolite accumulation, and antioxidative responses in lettuce. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(8): 5122-5130.
- Moameni, A. (2011). Geographical Distribution and Salinity Levels of Soil Resources of Iran. *Iranian Journal of Soil Research*, 24(3): 203-215. [In Persian].
- Mohammadkhani, N., Heidari, R. & Abbaspour, N. (2013). Effects of salinity on antioxidant system in four grape (*Vitis vinifera* L.) genotypes. *Vitis*, 52(3):105-110.
- Morabito, D., Mills, D., Prat, D. & Dizengremel, P. (1994). Response of clones of *Eucalyptus microtheca* to NaCl in vitro. *Tree physiology*, 14(2): 201-210.
- Munns, R. & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59: 651-681.
- Munns, R. (2002). Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell and Environment*, 25(2): 239-250.
- Najafian, S.H., Rahemi, M., & Tavallali, V. (2008). Effect of salinity on tolerance of two bitter almond rootstock. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 3, 264-268
- Nikbakht, j., Khandroyan, M., Tavakoli, A. & Taheri, M. (2013). Effect of low irrigation with magnetic water on yield and corn water consumption efficiency. *Water Research in Agriculture*, 27(4): 551-563.
- Noohpisheh, Z., Amiri, H, Mohammadi gholami, A. & Farhadi, S. (2020). An investigation of the application of ZnO nanoparticle on morphological and physiological parameters of two cultivars of Fenugreek (*Trigonella foenumgraecum* L.) under salinity stress. *Plant Process and Function*, 9(35): 422-437. [In Persian].
- Oraei, M., Tabatabaei, S.J., Fallahi, E. & Imani, A. (2009). The effects of salinity stress and rootstock on the growth, photosynthetic rate, nutrient and sodium concentrations of almond (*Prunus dulcis* Mill.). *Journal of Horticultural Sciences*, 23(2): 131-140. [In Persian].
- Pouri, N., Seifi, E. & Alizadeh, M. (2017). The effect of salt stress and proline on some morphological, physical and phytochemical traits of leaf in three olive cultivars. *Eco-phytochemical Journal of Medicinal Plants*, 18(5): 69-85. [In Persian].
- Radhakrishnan, R. & Kumari, B.D.R. (2013). Influence of pulsed magnetic field on soybean (*Glycine max* L.) seed germination, seedling growth and soil microbial population. *Indian Journal of*

- Biochemistry and Biophysics*, 50: 312-317.
- Rahemi, M., Nagafian, S. & Tavallaie, V. (2008). Growth and chemical composition of hybrid GF 677 influenced by salinity levels of irrigation water. *Plant Sciences*, 7(3): 309-313.
- Rahneshan, Z., Nasibi, F., & Moghadam, A.A. (2018). Effects of salinity stress on some growth, physiological, biochemical parameters and nutrients in two pistachio (*Pistacia vera* L.) rootstocks. *Journal of Plant Interactions*, 13(1): 73-82.
- Roy, S.J., Negrao, S. & Tester, M. (2014). Salt resistant crop plants. *Current Opinion in Biotechnology*, 26: 115-124.
- Sadeghipour, O. & Aghaei, P. (2014). Investigation the effect of drought stress and magnetized water on yield and yield components of mung bean. *Journal of Crop Production Research*, 6(1): 80-86. [In Persian].
- Schroeter, H., Williams, R. J., Matin, R., Iversen, L. & Rice-Evans, C.A. (2000). Phenolic antioxidants attenuate neuronal cell death following uptake of oxidized low-density lipoprotein. *Free Radical Biology and Medicine*, 29(12): 1222-1233.
- Singleton, V.L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R.M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*, 299: 152-178.
- Şirin, S. & Aslım, B. (2019). Determination of antioxidant capacity, phenolic acid composition and antiproliferative effect associated with phenylalanine ammonia lyase (PAL) activity in some plants naturally growing under salt stress. *Medicinal Chemistry Research*, 28(3): 229-238.
- Sofa, A., Dichio, B., Xiloyannis, C. & Masia, A. (2005). Antioxidant defense in olive trees during drought stress: change in activity of some antioxidant enzymes. *Functional Plant Biology*, 32:45-53.
- Taghizadeh, M., Nasibi, F., Kalantari, K.M. & Ghanati, F. (2019). Evaluation of secondary metabolites and antioxidant activity in *Dracocephalum polychaetum* Bornm. Cell suspension culture under magnetite nanoparticles and static magnetic field elicitation. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, 136(3): 489-498.
- Tai, C.Y., Wu, C.K. & Chang, M.C. (2008). Effects of magnetic field on the crystallization of CaCO<sub>3</sub> using permanent magnets. *Chemical Engineering Science*, 63(23): 5606-5612.
- Taiz, L. & Zeiger, E. (2006). Plant Physiology. *Sinauer Associates, Inc., Publishers, Sunderland, Massachusetts*, P. 690.
- Turner, N.C. (1981). Techniques and experimental approaches for measurement of plant water status. *International Journal of Plant-Soil Relationships*, 58: 339-366.
- Vogt, T. (2010). Phenylpropanoid biosynthesis. *Molecular Plant*, 3: 2-20.
- Yin, R., Bai, T., Ma, F., Wang, X., Li, Y. & Yue, Z. (2010). Physiological responses and relative tolerance by Chinese apple rootstocks to NaCl stress. *Scientia Horticulturae*, 126(2): 247-252.
- Yusuf, K.O. & AO, O. (2017). Effect of magnetic treatment of water on evapotranspiration of tomato. *Arid Zone Journal of Engineering, Technology and Environment*, 13(1): 86-96.
- Zareei, E., Zaare-Nahandi, F., Ostan, Sh. & Hajilou, J. (2019). Effects of magnetic solution on some biochemical properties and production of some phenolic compounds in grapevine (*vitis vinifera*). *Scientia Horticulturae*, 253: 217-226.
- Zhou X., Jianfang Li, J., Wang, W., Liang, X., Zhang, M., Lu, M., Guo, Y., Qin, F. & Jiang, C. (2022). The classical SOS pathway confers natural variation of salt tolerance in maize. *New Phytologist*, 236: 479-494.