

## Anatomical Changes in Root and Aerial Organs of Grapevine (*Vitis vinifera* cv. Yaghooti) Affected by Salinity

Maryam Keshavarzi<sup>1</sup>, Mahmood Esna-Ashari<sup>2\*</sup> 

1- Ph.D. Student of Horticultural Sciences, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran

2- Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran

**Citation:** Keshavarzi, M., & Esna-Ashari, M. (2022). Anatomical changes in root and aerial organs of grapevine (*Vitis vinifera* cv. Yaghooti) affected by salinity. *Plant Productions*, 45(2), 169-180.

### Abstract

#### Introduction

Grape is one of the most important horticultural crops and economically produced in world and Iran which is cultivated in a wide range of climatic conditions. Due to the difficulties of cultivating grape is its relatively sensitive to salinity stress. Salinity can cause significant anatomical changes in the internal tissues of plant organs. The effect of using low-quality water on the anatomical structure of grapevine organs has not yet been studied. This study aimed to evaluate the structural behavior of roots, stems, leaves, petioles, and main veins of grape leaves in Yaghooti cultivar under progressive salt stress.

#### Materials and Methods

This study was carried out based on a completely randomized design with three replications during two consecutive years 2020-2021. Salinity treatment at four levels, including zero (control), 25, 50, and 100 mM NaCl on one year old rooted cuttings under greenhouse conditions. Plant various organs consisting of roots, stems, leaves, petioles, and main veins were microscopically investigated through the conventional methods of sampling, fixing, sectioning and staining.

#### Results and Discussion

In the stem, the epiderm thickness increased until 50 mM level, and decreased in 100 mM level. In 100 mM, sclerenchyma thickness, pith diameter, and vascular bundles number increased, while collenchymas thickness, cambium, phloem, metaxylem, protoxylem, and stem cortex

---

\* **Corresponding Author:** Mahmood Esna-Ashari

**E-mail:** m.esnaashari@basu.ac.ir

decreased. In the root, cortex thickness reduced, but the vascular bundles' thickness, their number, as well as pith and vascular cylinder diameters increased, and more periderm thickness as well as the centralization of xylem vessels toward pith tissue were observed. In the petiole, in 100 mM level, an increase in sclerenchyma thickness and vascular bundles number was observed along with a decrease in phloem thickness, cambium, metaxylem, protoxylem, and cortex. In the leaf and main vein, palisad parenchymal cells became smaller and denser with an increase in their number; furthermore, a decrease in spongy parenchymal cells thickness along with the increase of their intercellular space and the increase of epiderm thickness were observed. In addition, vascular bundles number, sclerenchyma thickness, and pith diameter increased, while the decrease of vascular bundles' thickness and collenchymas thickness was found in the main vein. Moreover, a large number of salt crystals were observed in all the plant organs, especially in the roots.

### Conclusion

Overall, the results of this study revealed that salinity stress caused changes in the anatomical structure of roots and various aerial organs in Yaghooti grapevine saplings. It appears that at a stress of 100 mM salinity, the increase of epiderm and sclerenchyma thickness in the aerial organs contributed to preventing transpiration and preserving water content. Besides, periderm thickness at the root as a physical barrier to further absorption, transport of soluble substances, and protection of vascular cylinders helped the plant to tolerate salinity conditions. In addition, a large number of vascular bundles were involved in the secondary uptake of salt in the surrounding parenchymal cells. Therefore, most of the anatomical changes in the studied organs can be considered as a kind of adaptation to increase the chances of the plant survival against salinity.

**Keywords:** Cortex, Epiderm, Periderm, NaCl, Vascular bundles

## تغییرات آناتومیکی اندام‌های هوایی و ریشه در انگور یاقوتی تحت تأثیر شوری

مریم کشاورزی<sup>۱</sup>، محمود اثنی‌عشری<sup>۲\*</sup>

۱- دانشجوی دکتری علوم باغبانی، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران  
۲- استاد، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

### چکیده

شوری یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی است که می‌تواند تغییرات آناتومیکی قابل توجهی در بافت‌های داخلی اندام‌های گیاهی ایجاد کند. به‌منظور مطالعه اثر شوری ناشی از کلرید سدیم بر بافت‌های داخلی اندام‌های هوایی و ریشه انگور یاقوتی، این پژوهش در قالب طرح کامل تصادفی با اعمال شوری در چهار سطح صفر (شاهد)، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم در ۳ تکرار و در هر تکرار ۲ نهال یک‌ساله در شرایط گلخانه و طی دو سال متوالی ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ به اجرا درآمد. اندام‌های مختلف گیاه شامل ریشه، ساقه، برگ، دمبرگ و رگبرگ با استفاده از روش‌های متداول نمونه‌برداری، تثبیت نمونه‌ها، برش‌دهی، رنگ‌آمیزی و مشاهدات میکروسکوپی مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج ذیل طی دو سال حاصل شد و یافته‌های سال دوم، نتایج سال اول را مورد تأیید قرار داد: در ساقه: ضخامت اپیدرم تا سطح شوری ۵۰ میلی‌مولار افزایش و در تنش ۱۰۰ میلی‌مولار کاهش نشان داد، در تنش ۱۰۰ میلی‌مولار افزایش ضخامت اسکلرانسیم و مغز و نیز زیاد شدن تعداد دستجات آوندی که به‌صورت باریک و متراکم در کنار هم قرار گرفته بودند، مشاهده گردید، در حالی که ضخامت کلانشیم، کامبیوم، فلوئم، متاگزیم، پروتوگزیم و کورتکس ساقه در مقایسه با شاهد کاهش نشان دادند. در ریشه: کاهش ضخامت کورتکس و افزایش تعداد و ضخامت دستجات آوندی، قطر مغز و استوانه آوندی و ضخامت بیشتر پریدرم در تنش ۱۰۰ میلی‌مولار در مقایسه با شاهد مشاهده شد و هم‌چنین تمرکز آوندهای چوب به سمت بافت مغز پدیدار گردید. در دمبرگ: افزایش ضخامت اسکلرانسیم و تعداد دستجات آوندی همراه با کاهش ضخامت فلوئم، کامبیوم، متاگزیم، پروتوگزیم و کورتکس در تنش ۱۰۰ میلی‌مولار در مقایسه با شاهد رؤیت گردید. در برگ و رگبرگ اصلی: تنش ۱۰۰ میلی‌مولار منجر به کوچک‌تر و متراکم‌تر شدن سلول‌های پارانشیمی نردبانی همراه با افزایش تعداد آن‌ها، کمتر و کوچک‌تر شدن سلول‌های پارانشیمی اسفنجی در کنار افزایش فضای بین‌سلولی آن‌ها و افزایش ضخامت اپیدرم برگ در مقایسه با شاهد شد. هم‌چنین در تنش ۱۰۰ میلی‌مولار افزایش تعداد دستجات آوندی، ضخامت اسکلرانسیم و قطر مغز همراه با کاهش ضخامت دستجات آوندی و کلانشیم در رگبرگ اصلی برگ در مقایسه با شاهد رؤیت گردید. علاوه بر ظهور ویژگی‌های بالا، تعداد متعددی بلورهای نمکی در همه اندام‌های تنش‌دیده گیاه به‌ویژه در ریشه نیز جود داشت.

کلیدواژه‌ها: اپیدرم، پریدرم، دستجات آوندی، کورتکس، کلرید سدیم

\* نویسنده مسئول: محمود اثنی‌عشری  
رایانامه: m.esnaashari@basu.ac.ir



### مقدمه

انگور یکی از محصولات مهم و اقتصادی تولیدشده در جهان و ایران است که در گستره‌ی وسیعی از شرایط اقلیمی کشت می‌شود. بخش قابل توجهی از سطح زیرکشت انگور در ایران در مناطق خشک و نیمه‌خشک قرار دارد که معمولاً خشک‌سالی و شوری را تجربه می‌کنند (Mozafari et al, 2018). از دشواری‌های کشت این محصول حساسیت نسبی آن به تنش شوری است (Aazami et al, 2018). از آنجائی که ارقام بسیار زیادی انگور در سراسر دنیا و ایران با داشتن سطح تحمل متفاوت به شوری وجود دارد، دامنه مشخصی برای تحمل ارقام مختلف به شوری در منابع علمی گزارش نشده است. اما با توجه به تحمل اکثر ارقام انگور به غلظت نمک ۲ تا ۳ گرم در لیتر می‌توان انگور را در گروه گیاهان نیمه متحمل به شوری قرار داد (Stevens and Walker, 2012). کاهش تولید کمتر از ۱۰ درصد در غلظت ۲/۵-۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر و کاهش ۱۰ تا ۱۵ درصد در غلظت ۴/۰-۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر و خسارت شدید در غلظت ۴/۷ دسی‌زیمنس بر متر با ۲۵ تا ۵۰ درصد کاهش تولید گزارش شد (Ola et al., 2012). در گزارش Jalili-Marandi (1998) نیز آمده است که اگر در اثر افزایش نمک، میزان هدایت الکتریکی خاک ۶/۸ میلی‌موس بر سانتی‌متر باشد میزان کاهش نسبی محصول در انگور ۱۰ درصد می‌شود. بنابراین پاسخ انگور به شوری وابسته به فاکتورهای مختلف مثل رقم، سیستم آبیاری، شرایط اقلیمی و نوع خاک است (Ola et al., 2012).

کمبود آب و بارندگی محدود، گرمای زیاد، تبخیر و تعرق بالا، کیفیت پایین آب‌های کشاورزی و یا روش‌های اشتباه آبیاری و مدیریت ضعیف در سیستم‌های آبیاری این مشکل را جدی‌تر ساخته است. با کاهش منابع آب، استفاده از آب‌های شور و یا آب‌هایی با کیفیت پایین اجتناب‌ناپذیر خواهد بود. این درحالی است که استفاده از آب‌های شور به‌عنوان آب آبیاری نیز بر مشکلات شوری خاک اضافه می‌کند (Jamaati et al., 2021). تنش ناشی از شوری باعث تغییرات ساختاری در اندام‌های مهم گیاه مثل ساقه، ریشه، برگ و دمبرگ می‌شود. این تغییرات ممکن است یک استراتژی مهم در زنده ماندن و ادامه حیات گیاه در محیط متأثر از شوری باشد. در این فرایند، تغییرات ساختاری اندام‌ها وابسته به شدت تنش و مدت زمانی است که گیاه در معرض آن قرار می‌گیرد. شوری در کوتاه‌مدت و بلند مدت به ترتیب منجر به تنش اسمزی و سمیت ناشی از عدم توازن یونی در گیاه می‌شود (Silva et al., 2021). شوری پتانسیل اسمزی محلول خاک را کاهش و منجر به خشکی فیزیولوژیکی

می‌شود و گیاه قادر به جذب آب کافی نمی‌باشد (Gapinska and Glinska, 2014). گزارش شده است که شوری ملایم افزایش سلول‌های پارانشیمی را تحریک کرده ولی شوری شدید کاهش سلول‌های پارانشیمی را در پی داشته است. هم‌چنین تحت تنش ملایم شوری، سلول‌های اپیدرمی و اجزاء آوندی ریشه برای جلوگیری از اثرات تجمع سدیم در این اندام‌ها ضخیم می‌گردد ولی در شرایط شوری شدید، رفتار معکوس دیده می‌شود که ناشی از تأثیر منفی سدیم روی عدم توسعه سلول و یکپارچگی دیواره سلول می‌باشد (Silva et al, 2021). Qiu et al. (2007) گزارش دادند که سلول‌های مزوفیلی برگ، در گیاهان تحت تنش شوری در مقایسه با گیاهان شاهد، کوچک‌تر و متراکم‌تر هستند. در بررسی اثرات حاصل از شوری بر ساختار تشریحی برگ گیاه لیف، شوری ملایم، سلول‌های بافت پارانشیمی اسفنجی را کوچک‌تر کرد اما فضاهای خالی بین این سلول‌ها در مقایسه با گیاهان شاهد افزایش یافت. هم‌چنین شدت بیشتر نمک منجر به افزایش در تعداد سلول‌های پارانشیم نردبانی به‌صورت کوچک‌تر و متراکم در این بافت در مقایسه با گیاهان شاهد شد. کاهش ضخامت آوندهای چوب و آبکش و وسعت ناحیه کورتکس ساقه و ریشه با افزایش شوری نیز مشاهده شد (Mahotfrossha and Jafari, 2019). در پژوهشی در گیاه پسته، افزایش شوری منجر به کاهش ضخامت کورتکس (فاصله بین اپیدرم و اولین دستجات آوندی)، کاهش رشد سلول‌های اپیدرمی، کاهش قطر حلقه‌های آوندی و افزایش ضخامت مغز شد (Eskandari et al, 2010). اثرات منفی شوری بر ویژگی‌های آناتومیکی و ساختار تشریحی نیز بر روی گیاهان مختلف از جمله گیاهان مناطق مرتفع (Shao et al., 2008)، آفتابگردان (Majd et al., 2009)، پسته (Talebi et al., 2009)، گیاه *Leptochoa fusca* (Ola et al., 2012)، گوجه‌فرنگی (Gapinska and Glinska, 2014)، سه درختچه علوفه‌ای (Bounghalleb et al., 2009) و چند گونه گیاه مرتعی (Zarinkamar and farkhah, 2005) گزارش شده است. تأثیر استفاده از آب‌های فاقد کیفیت (شور یا نیمه‌شور) روی ویژگی‌های آناتومیکی اندام‌های انگور یاقوتی تاکنون مطالعه نشده است.

مطالعه ویژگی‌های تشریحی، درک بهتری از سازش گیاهان با عوامل مختلف محیطی فراهم می‌کند. این مطالعه با هدف بررسی رفتار ساختاری ریشه، ساقه، برگ، رگبرگ اصلی و دمبرگ‌های انگور رقم یاقوتی در سطوح مختلف شوری به اجرا درآمد.

## مواد و روش‌ها

این پژوهش در قالب طرح کامل تصادفی با اعمال شوری در چهار سطح صفر (شاهد)، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم در ۳ تکرار و در هر تکرار ۲ نهال یک‌ساله و طی دو سال متوالی ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ و در هر سال به مدت ۳ ماه به اجرا درآمد. در این پژوهش از نهال‌های ریشه‌دار یک‌ساله انگور (*Vitis vinifera cv. Yaghooti*) به طول میانگین ۲۰ سانتی‌متر که در اوایل فصل بهار از ایستگاه تحقیقات انگور شهرستان ملایر تهیه شد، استفاده گردید. نهال‌های مذکور ابتدا با غوطه‌ور شدن در محلول قارچ‌کش بنومیل با غلظت دو در هزار، و به مدت ۲۰ دقیقه ضدعفونی و سپس شستشو شدند و به گلدان‌های ۷ لیتری حاوی کوکوپیت و پرلیت (۱:۱) منتقل و در شرایط هیدروپونیک با تغذیه محلول غذایی (کود کامل حاوی نیترات به اندازه ۱۵۰۰۹/۴، کلسیم: ۳۳۵۵/۸، آمونیوم: ۲۴۲/۹، آهن: ۳/۶، پتاسیم: ۲۷۷۲/۳، سولفات: ۱۵۴۰/۹، منیزیم: ۱۲۰۷، فسفر: ۱۴۰۶/۵، منگنز: ۲/۳، روی: ۱/۹، مس: ۱/۲، بر: ۴/۶ و مولیبدات: ۰/۱ میکرومولار بر ۱۰۰ لیتر آب‌مقطر) رشد یافتند. گیاهان به صورت تک شاخه هرس شده و به قیم بسته شدند. پس از استقرار کامل گیاهان و رسیدن آن‌ها به طول متوسط ۴۰ سانتی‌متر، تیماردهی نهال‌ها شروع شد. برای اعمال تیمار شوری نمک کلرید سدیم با خلوص ۹۹/۴۵ درصد به محلول غذایی اضافه گردید. میزان شوری محلول غذایی، به وسیله دستگاه EC متر اندازه‌گیری و با غلظت ۱/۲۴ میلی‌زیمنس بر سانتی‌متر و  $pH=5.67$ ، به عنوان تیمار شاهد از نظر شوری در نظر گرفته شد. تیمار شوری به صورت یک روز در میان به اندازه ۲۵۰ میلی‌لیتر به گیاهان اعمال گردید. به منظور جلوگیری از مواجه شدن گیاهان با تنش شدید، اعمال تنش با نرخ ۲۵ میلی‌مولار (۳/۶۳ میلی‌زیمنس بر سانتی‌متر) در روز با اضافه کردن کلرید سدیم به محلول غذایی صورت گرفت تا زمانی که تیمارها به غلظت اصلی (۵۰ میلی‌مولار: ۶/۰۵ میلی‌زیمنس بر سانتی‌متر و ۱۰۰ میلی‌مولار: ۱۰/۲۳ میلی‌زیمنس بر سانتی‌متر) برسند. برای ممانعت از تجمع یون‌ها و ایجاد سمیت برای گیاه، گیاهان به صورت هفتگی با آب لوله‌کشی شهری با غلظت شوری ۵۲۹ میکروزیمنس بر سانتی‌متر، آبشویی شدند. به دلیل این که نمک تجاری خریداری شده فاقد درجه خلوص بود، با روش توصیه‌شده در موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران با کد ۳۷۶۹ درصد خلوص نمک با استفاده از محلول شناساگر کرومات پتاسیم ( $K_2CrO_4$ ) ۵ درصد تعیین گردید. با استفاده از سیستم‌های سرمادهی تبخیری و گرمادهی بخاری سعی گردید تا دمای هوای گلخانه در طول دوره آزمایش به ترتیب بین ۲۵ تا ۳۱ درجه در روز و ۱۶ تا ۱۸ درجه سانتی‌گراد در شب ثابت بماند که بهترین دمای لازم برای فتوسنتز برگ‌های انگور می‌باشد.

هم‌چنین میانگین حداقل و حداکثر رطوبت هوای گلخانه به ترتیب ۲۶ و ۶۵ درصد بود. نور موجود در گلخانه در ساعت ۱۲ ظهر با لوکس‌متر سنجیده، و دامنه‌ای بین ۸۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ لوکس در طول دوره آزمایش بود. بعد از گذشت ۳ ماه از زمان تیماردهی در سال اول (از بیست تیرماه تا بیست مهرماه) جهت بررسی ساختار اندام‌های مورد مطالعه، نمونه‌برداری شد. بعد از اتمام نمونه‌برداری، گیاهان جهت رفع نیاز سرمایی به صورت طبیعی به بیرون از گلخانه به مدت دو ماه منتقل شدند و بعد از طی دوره سرمادهی، اوایل دی‌ماه به گلخانه منتقل شدند و تا زمان استقرار کامل و رسیدن به مرحله‌ای از رشد مناسب جهت شروع مجدد تنش شوری به صورت کودآبیاری مشابه سال اول تغذیه شدند. بعد از رسیدن به مرحله رشد رویشی حدوداً ۵۰ سانتی‌متری، گیاهان به مدت ۳ ماه دیگر، از اول بهمن‌ماه تا آخر فروردین، با شرایطی مشابه سال اول تحت تیمارهای مختلف شوری در ۴ سطح، مشابه تیماردهی سال اول قرار گرفتند. برای بررسی ساختار اندام‌ها، از قسمت‌های مشخصی از ساقه (بخش میانی گره نهم و دهم) و برگ (وسط پهنک برگ)، دم‌برگ (از محل اتصال به پهنک برگ) و ریشه (در زمان تهیه مقطع از ریشه، به دلیل ترد و شکننده بودن مقطع تارهای کشنده، گرفتن نمونه از این مقطع مقدور نبود و ناگزیر از ۸ سانتی‌متری انتهایی ریشه و جایی که پریدرم تشکیل شده بود نمونه‌ها تهیه شدند) گیاهان شاهد و تحت تیمار نمونه‌برداری انجام شد و تا زمان انجام برش در فیکساتور (مخلوط اتانول ۹۶ درصد، فرم‌آلدئید ۳۷ درصد و اسیداستیک خالص با نسبت ۱۷، ۲ و ۱ میلی‌لیتر) نگهداری شدند. جهت تهیه برش از نمونه‌های تهیه شده، از روش میکروتوم (Rotary Microtome, Reichert-Jun 2030, Germany) استفاده شد اما به دلیل ضخامت زیاد برگ، رگ‌برگ و دم‌برگ و نیمه‌خشبی بودن ساقه و ریشه انگور برش‌های مناسبی بدست نیامد و در نتیجه از روش برش دستی به وسیله تیغ که اساساً یک روش معمول در تهیه مقطع عرضی اندام‌های گیاه می‌باشد استفاده گردید بدین‌منظور نمونه‌ها در داخل لایه‌های پلی‌استایرین (یونولیت) قرار داده شدند و به کمک تیغ تیز برش‌های زیادی تهیه و از بین آن‌ها نمونه مناسب جهت رنگ‌آمیزی انتخاب شد. بعد از شستشو با آب، برش‌ها به مدت ۳ تا ۵ دقیقه در آب ژاول قرار گرفتند تا کاملاً بی‌رنگ شده و بعد با آب شستشو شدند تا اثر آب ژاول از بین رفت. سپس به مدت ۱ دقیقه در محلول اسیداستیک ۱۰ درصد قرار گرفتند و مجدد با آب شستشو شدند و در نهایت به وسیله محلول رنگ‌آمیزی آبی‌متیل و کارمن‌زاجی رنگ‌آمیزی انجام گرفت. به این صورت که ابتدا به مدت ۳۰ ثانیه تا ۱ دقیقه نمونه‌ها در محلول آبی‌متیل قرار گرفتند و بعد از چندین بار شستشو با آب به مدت ۱۰ تا ۱۵

فقط نتایج سال دوم در اندام‌های مختلف به شرح ذیل آورده شده است.

### برگ

ساختار برگ به صورت ساختمان متداول برگ دولپه‌ای‌ها شامل اپیدرم زیرین، پارانشیم ندرده‌ای (سلول‌های باریک و کشیده)، پارانشیم اسفنجی با فضاهای خالی بین آن‌ها و اپیدرم زیرین مشاهده شد (شکل ۱- A). نتایج این بررسی نشان داد که ضخامت اپیدرم در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار بیشتر از دیگر سطوح شوری بود (جدول ۱). افزایش غلظت نمک تعداد سلول در لایه پارانشیم نردبانی را بیشتر کرد، اما با مقیاسی (ضخامت لایه و قطر هر سلول) کوچک‌تر از شاهد که در نتیجه آن، فضای بین سلولی آن‌ها کاهش یافت و در نهایت نمایی متراکم‌تر را در مقایسه با گیاه شاهد نشان دادند، و این درحالی‌است که سلول‌های پارانشیمی اسفنجی کوچک‌تر و فضای خالی بین سلول‌های این پارانشیم بزرگ‌تر شدند (جدول ۱) (شکل ۱- B, C, D).

### دمبرگ

در برش عرضی دمبرگ به ترتیب از خارج به داخل، اپیدرم به صورت یک لایه سلول مکعبی شکل، چند لایه سلول کلانشیم، سلول‌های کورتکس، بافت اسکلرانشیم، دستجات نامنظم آوندی (فلوئم، متاگزیم و پروتوگزیم) در کنار کامبیوم و نیز بافت مغز مشاهده شد (شکل ۲- E).

دقیقه در محلول کارمنزاجی قرار داده شدند و در پایان بعد از شستشو چندین بار با آب، نمونه‌ها بر روی لامل منتقل گردیدند (Jonobi et al, 2015; Teimouri and Jafari, 2010). این کار با دقت صورت گرفت و حباب هوا بر روی نمونه‌ها ایجاد نشد. بعد از قرار دادن لامل روی لام، از نمونه‌های مناسب‌تر به کمک فتومیکروسکوپ ZEISS مدل Axiostar Plus مجهز به دوربین کانن عکس‌برداری گردید.

در بررسی تعداد دستجات آوندی، سلول‌های پارانشیمی و تعداد بلورهای نمک در ۱۰ برش کامل عرضی از هر بافت شمارش و میانگین گرفته شد. در ارتباط با قطر و ضخامت صفات مورد بررسی نیز از میانگین ۵ قسمت از هر بافت در ۱۰ برش عرضی و در نهایت میانگین کل آن‌ها استفاده گردید. اندازه‌گیری‌ها به کمک نرم‌افزار Image J (نرم‌افزاری برای پردازش و کمی‌سازی تصاویر) انجام شد.

### تجزیه داده‌ها

برای تجزیه داده‌ها از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ استفاده شد. اختلاف بین میانگین‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد تعیین و انحراف معیار (Standard deviation) برای هر تیمار محاسبه شد.

### نتایج و بحث

در این پژوهش دو ساله، به دلیل نتایج مشابه در هر دو سال

**Table 1. Leaf anatomical characteristics in grapevine subjected to salt stress**

NaCl (mM)	ET ( $\mu\text{m}$ )	SPT ( $\mu\text{m}$ )	PPT ( $\mu\text{m}$ )	PPCN	PPCD ( $\mu\text{m}$ )
0	53.1 $\pm$ 0.8d	70.9 $\pm$ 1.3a	125.4 $\pm$ 1.3a	35.0 $\pm$ 0d	36.8 $\pm$ 0.4a
25	63.1 $\pm$ 0.3c	67.2 $\pm$ 0.6b	120.9 $\pm$ 2.1b	36.0 $\pm$ 0c	31.2 $\pm$ 0.8b
50	73.2 $\pm$ 0.4b	57.7 $\pm$ 1.5c	105.8 $\pm$ 1.1c	38.0 $\pm$ 0b	26.7 $\pm$ 1.1c
100	82.5 $\pm$ 2.9a	45.7 $\pm$ 1.2d	90.8 $\pm$ 1.3d	51.0 $\pm$ 0a	22.8 $\pm$ 0.8d

Columns with different letters indicate significant differences from the Duncan test ( $P < 0.05$ ). Values are means of five repetitions  $\pm$  SD. ET= Epiderm thickness; SPT= Spongy parenchyma thickness; PPT= Palisade parenchyma thickness; PPCN= Palisade parenchyma cells number; PPCD= Palisade parenchyma cells diameter; SCrN= Salinity cristal number.



**Figure 1. Effect of various salinity treatments on leaf blade anatomy of Yaghooti grape. (A) Control (0mM), (B) 25mM, (C) 50mM, (D) 100mM, upper epiderm cells (U.E), Palisade parenchyma tissue (P.p), Spongy parenchyma tissue (S.p), Lower epiderm cells (L.E), Obj\*20**

به ۱۰۰ میلی مولار، ضخامت ناحیه کلانشیم و کورتکس کاهش اما تعداد دستجات آوندی افزایش نشان داد. هم چنین ضخامت ناحیه متاگزایلم، پروتوگزایلم و فلوئم به همراه ضخامت لایه کامبیوم در تنش ۱۰۰ میلی مولار شوری نسبت به شاهد به طور معنی داری کاهش یافت به گونه ای که متراکم تر دیده شدند و به همین ترتیب فاصله بین اپیدرم و استوانه آوندی نیز کوتاه تر و به طور معکوس بر وسعت بافت مغز اضافه گردید (شکل ۴- N, P, O). ضخامت بافت اسکلرانشیمی که بر روی آوند آبکش قرار دارد و همین طور قطر دهانه متاگزایلم (دایره های سفیدرنگ در ناحیه گزایلم) در شوری ۵۰ میلی مولار افزایش و با اعمال تنش بیشتر در شوری ۱۰۰ میلی مولار کاهش نشان داد. تعدادی بلور نمک نیز در برش عرضی ساقه در سطوح مختلف شوری مشاهده شد که در شوری های شدیدتر بیشتر بود (جدول ۲) (شکل ۴- P, O, N).  
ریشه

در برش عرضی ریشه، به ترتیب از خارج به داخل، بافت چوب پنبه ای پریدرم، کورتکس، دستجات آوندی، کامبیوم، اشعه آوندی و مغز مشاهده شد (شکل ۵- Q). نتایج، افزایش ضخامت پریدرم و قطر مغز را در شدت شوری ۱۰۰ میلی مولار در مقایسه با دیگر سطوح شوری نشان داد (جدول ۳). به همین ترتیب تعداد و ضخامت دستجات آوندی افزایش یافت، در حالی که ضخامت بافت کامبیوم و کورتکس کمتر گردید و فاصله بین پریدرم و استوانه آوندی کاهش نشان داد که در نتیجه، قطر استوانه هاوندی بیشتر به نظر می رسد (جدول ۳). با اعمال تنش شوری ۱۰۰ میلی مولار، آوندهای چوب به سمت مرکز استوانه هاوندی متمرکز شدند، در حالی که در شدت شوری متوسط، ملایم و شاهد پراکندگی بیشتری نشان دادند (شکل ۵- R, S, T). شایان ذکر است که در شوری ملایم و متوسط قطر دهانه متاگزایلم (دایره های سفیدرنگ در ناحیه گزایلم) بیشتر از شوری ۱۰۰ میلی مولار و در شوری ۱۰۰ میلی مولار بیشتر از شاهد مشاهده شد. تعداد بلورهای نمکی ذخیره شده در واکوئل سلول های پارانشیمی ریشه در شوری ۱۰۰ میلی مولار از دیگر سطوح شوری بیشتر بودند (جدول ۳) (شکل ۵- R, S, T).

در طول دوره زندگی، وقتی که گیاه، در معرض شرایط تنش قرار می گیرد، استراتژی های متفاوتی را انتخاب می کند تا بتواند تنش را تحمل و به حیات خود ادامه دهد. تنش شوری هم از جهات مختلفی گیاه را تحت تأثیر قرار می دهد. بنابراین می توان اغلب تغییرات تشریحی به وجود آمده در بافت های گیاه را به عنوان نوعی سازش، مورد توجه قرار داد تا شانس تحمل گیاه را در برابر شوری افزایش دهد. تحمل به شوری به عنوان یک

نتایج نشان داد که ضخامت بافت های اپیدرم و اسکلرانشیم با افزایش شدت شوری به طور معنی داری افزایش یافت (جدول ۲). با افزایش شوری تا سطح ۵۰ میلی مولار، ضخامت کلانشیم و کورتکس افزایش داشت، در حالی که در ۱۰۰ میلی مولار کاهش نشان داد، اما نسبت به شاهد و شوری ۲۵ میلی مولار بیشتر بود (شکل ۲- F, G, H). ضخامت آوندهای چوب و آبکش به همراه ضخامت ناحیه کامبیوم و متاگزایلم در همه سطوح شوری نسبت به شاهد روندی کاهشی داشت و هم چنین ضخامت ناحیه پروتوگزایلم علی رغم افزایش در شوری ۵۰ میلی مولار، روند کاهشی خود را در ۱۰۰ میلی مولار حفظ کرد. قطر دهانه متاگزایلم (دایره های سفیدرنگ در ناحیه گزایلم) نیز با افزایش شدت شوری کاهش نشان داد. شوری شدید (۱۰۰ میلی مولار) منجر به افزایش تعداد دستجات آوندی و قطر مغز نسبت به دیگر سطوح شوری شد (جدول ۲). تعداد قابل توجهی بلور نمکی در سطوح مختلف شوری نیز مشاهده شد (شکل ۲- F, G, H).

## رگبرگ

ساختار رگبرگ اصلی از بیرون به درون شامل کرک های چندسلولی، اپیدرم بالایی و پایینی، لایه های کلانشیم، کورتکس، اسکلرانشیم، دستجات آوندی (فلوئم، متاگزایلم و پروتوگزایلم) در مجاورت کامبیوم و نیز بافت مغز مشاهده گردید (شکل ۳- I). نتایج (جدول ۲) نشان داد که شوری ۱۰۰ میلی مولار، ضخامت کلانشیم، کورتکس، ضخامت اجزاء دستجات آوندی را در رگبرگ اصلی برگ کاهش داد، در حالی که تعداد دستجات آوندی و ضخامت مغز نسبت به شاهد افزایش چشمگیری پیدا کرد. شایان ذکر است که ضخامت اپیدرم تا سطح شوری ۵۰ میلی مولار و ضخامت کلانشیم، پروتوگزایلم و قطر دهانه متاگزایلم (دایره های سفیدرنگ در ناحیه متاگزایلم) تا سطح ۲۵ میلی مولار نسبت به شاهد روند افزایشی داشت و سپس کاهش نشان داد (جدول ۲) (شکل ۳- J, K, L).

## ساقه

در برش عرضی ساقه، به ترتیب در خارجی ترین لایه، سلول های مکعبی اپیدرمی و به سمت داخل، سلول های بافت کلانشیم، کورتکس، کلاهدک اسکلرانشیمی، دستجات آوندی، بافت کامبیوم، اشعه آوندی و مغز دیده می شوند که مشابه بسیاری از دولپه ای ها می باشد (شکل ۴- M). نتایج (جدول ۲) نشان داد که ضخامت اپیدرم در گیاهان تحت تیمار شوری ۲۵ و ۵۰ میلی مولار نسبت به شوری شاهد بیشتر بود اما در شوری ۱۰۰ میلی مولار به طور جزئی در مقایسه با شوری ۵۰ میلی مولار کاهش یافت. با افزایش شدت تنش شوری از شاهد

**Table 2. Stem, petiolule and leaf main nervure anatomical characteristics in Yaghooti grapevine subjected to salt stress**

	NaCl (mM)	ET ( $\mu$ m)	CT ( $\mu$ m)	CoT ( $\mu$ m)	ScT ( $\mu$ m)	PT ( $\mu$ m)	XT ( $\mu$ m)	CaT ( $\mu$ m)	MxT ( $\mu$ m)	PxT ( $\mu$ m)	PD ( $\mu$ m)	SCN	MxD ( $\mu$ m)	VN
Stem	0	25.9±0.1c	116.2±11.4a	83.7±0.4a	86.8±1.1d	305.8±3.5a	636.8±0.4a	71.9±0.7a	490.7±4.7a	93.7±1.1a	674.2±11.8d	0d	60.2±3.6b	35±1.0d
	25	27.6±0.2b	95±5.8b	64.6±2.4b	111.9±4.9c	243.5±1.9b	434.6±2.7b	49.7±3.9b	343.1±2.8b	86.8±4.7b	753.7±12.9c	1c	68.5±3.4a	37.6±0.5c
	50	34.02±0.3a	81.8±1.6c	52.2±2.1c	159.7±8.1b	127.3±1.4c	346.8±9.9c	37.7±0.7c	282.5±1.6c	75.7±3.3c	851.4±7.9b	8b	49.9±1.8c	40±1.0b
	100	15.05±0.9d	52.5±4.9d	45.8±5.2d	179.7±2.1a	97.3±1.9d	226.8±2.6d	21.4±1.1d	190.8±5.5d	53.3±1.3d	958.2±24.2a	12a	35.3±1.2d	44±1.0a
Petiolule	0	14.03±0.6d	239.1±2.4a	81.2±0.7d	18.07±1.1d	85.3±3.9a	244.5±0.6a	29.6±1.4a	179.6±0.6a	84.5±1.2b	918.2±53.1c	2d	20.4±0.2a	32.6±0.5c
	25	17.6±1.4c	209.5±2.7c	138.6±4.3c	26.6±0.8c	75.4±2.9b	229.7±1.1b	24.1±0.3b	149.1±5.1b	93.5±5.4a	974.4±14.1c	3c	17.5±0.9b	32.6±0.5c
	50	22.9±0.5b	218.8±2.3b	165.3±4.6a	40.2±1.1b	68.7±0.8c	202.9±0c	22.1±0.3c	128.0±0.4c	82.6±2.1b	1050.2±6.8b	4b	16.7±0.6c	34.3±0.5b
	100	27.5±1.1a	194.3±2.2d	146.6±2.2b	47.07±1.2a	60.7±0.6d	145.3±1.1d	14.1±1.2d	95.4±0.8d	70.6±5.6c	1150.6±37.9a	6a	11.9±0.6d	36.6±0.5a
Leaf main vein	0	18.9±0.8c	231.8±6.5a	93.8±5.2b	26.5±1.2d	72.6±1.7a	194.9±6.2a	28.7±1.7a	138.6±1.2a	49.6±2.1a	283.3±2.6c	2d	24.8±1.8c	8.6±0.5c
	25	21.4±1.1b	184.7±13.3b	109.7±7.8a	30.1±1.3c	67.3±2.4b	178.9±4.2b	24.3±1.1b	135.7±1.4b	55.7±1.9b	336.6±3.5b	3c	45.3±2.1a	9.6±0.6b
	50	25.7±0.5a	121.6±2.4c	51.9±7.5c	57.3±1.1b	56.1±2.3c	157.5±3.2c	20.5±0.7c	120.7±0.8c	46.3±1.8c	345.5±0.3b	5b	29.4±0.9b	11±0a
	100	16.6±1.1d	120.3±1.7c	44.03±0.9c	68.3±2.1a	44.9±0.6d	140.3±1.1d	12.7±1.2d	117.7±1.5d	36.8±1.3d	456.8±16.3a	7a	18.5±0.6d	11.6±0.5a

Columns with different letters indicate significant differences from the Duncan test ( $P < 0.05$ ). Values are means of five repetitions  $\pm$  SD. ET= Epiderm thickness; CT= Cortex thickness; CoT= Collenchyma thickness; Sc= Sclerenchyma thickness; PT= Phloem thickness; XT= Xylem thickness; CaT= Cambium thickness; MxT= Metaxylem thickness; PD= Pith diameter; SCN = Salinity crystal number; MXD= Metaxylem aperture diameter; VN= Vessel number.

**Table 3. Root anatomical characteristics in Yaghooti grapevine subjected to salt stress**

NaCl (mM)	VN	PT ( $\mu$ m)	CT ( $\mu$ m)	VCD ( $\mu$ m)	XT ( $\mu$ m)	PT ( $\mu$ m)	MxD ( $\mu$ m)	CaT ( $\mu$ m)	PD ( $\mu$ m)	SCN
0	9d	17.5±0.8d	287.4±2.2a	715.8±3.5d	255.3±3.1d	92.9±0.5d	28.2±2.7d	54.8±1.6a	38.1±0.5d	5d
25	10c	36.5±0.9c	283.1±1.8b	981.3±48.2c	363.8±2.3c	115.5±0.6c	46.2±0.5b	40.5±1.8b	64.6±1.9c	8c
50	16b	43.3±1.1b	223.8±2.3c	1140.1±24.5b	406.6±1.9b	154.3±2.8b	56.5±3.5a	29.4±0.9c	113.3±1.7b	13b
100	18a	48.6±0.7a	180.3±0.9d	1209.7±30.1a	539.4±1.9a	199.5±3.3a	36.4±3.5c	25.7±0.8d	193.1±9.3a	22a

Columns with different letters indicate significant differences from the Duncan test ( $P < 0.05$ ). Values are means of five repetitions  $\pm$  SD. VN= Vessel number; PT= Periderm thickness; CT= Cortex thickness; VCD= Vascular cylinder diameter; XT= Xylem thickness; PT= Phloem thickness; MXD= Metaxylem aperture diameter; CaT= Cambium thickness; PD= Pith diameter; SCN = Salinity crystal number.





Figure 2. Effect of various salinity treatments on petiole anatomy of Yaghooti grape. (E) Control (0mM) (obj\*10), (F) 25mM, (G) 50mM, (H) 100mM. Epiderm (E), Collenchyma (Co), Cortex parenchyma (Co.p), Sclerenchyma (Sc), Phloem tissue (Phl), Cambium (Ca), Metaxylem (mxy), Protoxylem (pxy), Pith (Pi), Salinity crystal (Cry). Obj\*20



Figure 3. Effect of various salinity treatments on leaf main vein anatomy of Yaghooti grape. (I) Control (0mM), (J) 25mM, (K) 50mM, (L) 100mM. Upper epiderm cells (U.E), Lower epiderm cells (L.E), Collenchyma (Co), Cortex parenchyma (Co.p), Sclerenchyma (Sc), Phloem tissue (Phl), Cambium (Ca), Metaxylem (mxy), Protoxylem (pxy), Pith (Pi), Salinity crystal (Cry), Trichome (Tri). Obj\*20

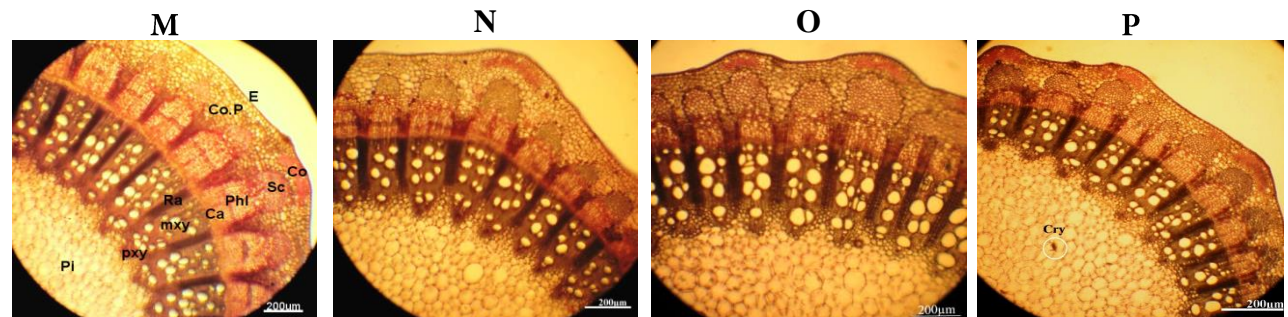


Figure 4. Effect of various salinity treatments on stem anatomy of Yaghooti grape. (M) Control (0mM), (N) 25mM, (O) 50mM, (P) 100mM NaCl. Epiderm (E), Collenchyma (Co), Cortex parenchyma (Co.p), Sclerenchyma (Sc), Phloem tissue (Phl), Cambium (Ca), Metaxylem (mxy), Protoxylem (pxy), Vascular Ray (Ra), Pith (Pi), Salinity crystal (Cry). Obj\*10



Figure 5. Effect of various salinity treatments on root anatomy of Yaghooti grape. (Q) Control (0mM), (R) 25mM, (S) 50mM, (T) 100mM, Periderm (Pe), Phloem tissue (Phl), Cambium (Ca), Xylem tissue (Xy), Vascular ray (Ra), Cortex parenchyma (Co.p), Pith (Pi), Salinity crystal (Cry). Obj\*20

شوری تغییر یافت. از جمله تغییرات آناتومیکی برگ که تحت تأثیر شرایط محیطی از جمله تنش شوری قرار می‌گیرند می‌توان به تغییر در سلول‌های اپیدرمی، پارانشیم‌های نردبانی و اسفنجی و فضاهای بین سلولی اشاره کرد (Li et al., 2007). در این پژوهش، شوری ۱۰۰ میلی‌مولار، ضخامت سلول‌های نردبانی را کاهش داد و متراکم‌تر دیده شدند و همچنین کوچک شدن سلول‌های مزوفیلی در برگ مشاهده شد که با نتایج پژوهش (Mahotfrossha and Jafari, 2019) همسو بود. کوچک‌تر و متراکم‌تر شدن سلول‌های پارانشیمی نردبانی مربوط به خاصیت کشسانی دیواره سلولی است که رابطه نزدیکی با اندازه سلول دارد. در این ارتباط به نظر می‌رسد که کاهش اندازه سلول در شرایط تنش خشکی و شوری یک مکانیسم سازگاری گیاه باشد، چراکه سلول‌های کوچک می‌توانند در برابر فشار منفی تورژسانس تحمل بیشتری نسبت به سلول‌های بزرگ‌تر نشان دهند (Mahotfrossha and Jafari, 2019). در گیاهان تحت تنش، ضخامت پارانشیم نردبانی به دلیل بیشتر بودن تعداد کلروپلاست‌ها و در نتیجه افزایش محتوی کلروفیل در این نوع پارانشیم می‌تواند بر ظرفیت فتوسنتزی گیاهان اثر مثبت بگذارد. ضخامت اپیدرم برگ در گیاهان تحت شوری در مقایسه با گیاهان شاهد افزایش نشان داد. این افزایش در ضخامت اپیدرم ممکن است به عنوان یک سازگاری برای به حداقل رساندن میزان تعرق و حفظ محتوی آب در بافت مزوفیل برگ در نظر گرفته شود. به‌علاوه افزایش ضخامت اپیدرم که توسط شوری تحریک شده است، نه تنها می‌تواند ظرفیت آب قابل استفاده گیاه را بهبود بخشد، بلکه قادر است یک فضای اضافی برای توقیف کارآمد نمک در اپیدرم برگ فراهم کند (Parida et al., 2016). تنش شوری ضخامت دستجات نامنظم آوندی، کلانشیم و کورتکس را در دمبرگ و رگبرگ کاهش داد که با گزارش (Majd et al., 2009) مطابقت دارد. از سوی دیگر، افزایش تعداد دستجات آوندی در رگبرگ و دمبرگ‌های متأثر از شوری ۱۰۰ میلی‌مولار در این پژوهش به‌طور چشمگیری افزایش داشت که با نتایج (Qiu et al., 2007) مشابهت داشت. سلول‌های پارانشیمی که اطراف این عناصر آوندی قرار دارند هم در حفظ و نگهداری نمک‌ها و تعدیل شیب غلظت در داخل عناصر آوندی نقش دارند و می‌توانند جذب ثانویه نمک‌ها را بر عهده بگیرند و از این طریق می‌توانند به‌طور موقت به شرایط شوری سازگاری نشان دهند (Zarinkamar and Asfa, 2005). افزایش ضخامت اسکلرانشیم، متراکم شدن بافت‌ها و کاهش ضخامت دستجات آوندی می‌تواند از تبخیر بیشتر آب جلوگیری کند و در نتیجه گیاه را نسبت به شرایط تنش سازگارتر سازد (Bouchabke et al., 2006). افزایش

پدیده پیچیده، وابسته به مکانیسم‌های متعددی است که توانایی گیاه برای کامل کردن یک سیکل رشد با عملکرد مطلوب را تحت تأثیر قرار دهد (Hameed et al., 2010). در بررسی حاضر، ساختار آناتومیکی اندام‌های گیاهانی که در معرض تنش شوری قرار گرفتند، بسته به شدت تنش، تغییر یافت. اثر شوری بر بافت و اندام‌های گیاه، تأثیر مستقیم نمک روی سرعت تقسیم سلولی و کاهش در سرعت نمو و توسعه سلولی را نشان می‌دهد (Talebi et al., 2009). ضخامت اپیدرم یک ویژگی برجسته برای تعداد زیادی از گونه‌های گیاهی خاکزی متحمل به شوری است و این یکی از مهم‌ترین مکانیسم‌ها در ارتباط با ممانعت از هدر روی آب می‌باشد (Hameed et al., 2010). در این بررسی افزایش ضخامت اپیدرم و اسکلرانشیم در شوری ملایم و متوسط و رفتار معکوس آن‌ها در شوری شدید در ساقه و رگبرگ و در همه سطوح در برگ و دمبرگ نسبت به شاهد مشاهده شد که با نتایج (Silva et al., 2021) همسو بود. در شرایط تنش، ضخامت اپیدرم در کاهش هدر روی آب از طریق تعرق نقش دارد.

سلول‌های بافت اسکلرانشیم به دلیل داشتن دیواره ثانویه ضخیم چوبی و یا غیرچوبی در استحکام بخشیدن و محافظت فیزیکی از گیاه نقش دارند. ایجاد این بافت می‌تواند با کمک به حفظ محتوی آب سلول برای سازگاری بهتر و هرچه بیشتر با محیط و عامل تنش باشد (Fahn, 1916). افزایش در قطر مغز در سطوح مختلف شوری در مقایسه با شاهد در ساقه، رگبرگ، دمبرگ و ریشه بیان می‌کند که گیاهان تلاش می‌کنند تا شوری را در سلول‌های خود تحمل یا پاسخ دهند، بنابراین می‌تواند نقش مهمی در ذخیره نمک و یا یون‌های سمی مثل  $\text{Na}^+$  در واکنش خود داشته باشند که می‌تواند راهی برای کاهش اثر مخرب این یون باشد و از آسیب سلولی جلوگیری کند.

به نظر می‌رسد به وجود آمدن تعداد بسیار زیاد آوندهای باریک در ساقه با اعمال تنش شوری، تلاشی برای کاهش انتقال یون  $\text{Na}^+$  بدون خنثی کردن وظایف آوندهای بزرگ‌تر باشد (Silva et al., 2021). نتایج حاصل از این بررسی در افزایش بافت مغز و افزایش تعداد دستجات آوندی در ساقه به همراه کاهش در ضخامت اجزاء آوندی (ناحیه فلوئم، پروتوگزیم و متاگزیم) در مجاورت کامبیوم و کاهش ضخامت کورتکس در شوری شدید با نتایج پژوهش (Eskandari et al., 2010) و (Majd et al., 2009) مطابقت دارد. برگ یکی از مهم‌ترین و حساس‌ترین اندام‌های پاسخ‌دهنده به شرایط محیطی از جمله تنش شوری می‌باشد و در عین حال از انعطاف‌پذیری بیشتری در بین اندام‌های دیگر گیاه برای سازگاری به استرس‌های محیطی برخوردار است. در این بررسی ساختار تشریحی برگ نیز در گیاهان متأثر از تنش

نمک‌ها را دفع و یا مانع ورود نمک به بافت گیاه می‌شوند و همچنین قادر هستند که نمک‌ها را در واکوئل‌های خود تقسیم کنند که به نظر می‌رسد در گیاهان مختلف به شکل‌های مختلفی رؤیت می‌گردند (Hameed et al, 2010). یکی از این نمک‌ها، بلورهای نمکی موسوم به رافید (Raphid) است که به صورت رشته‌های باریک با دو انتهای دوکی شکل کنار هم‌دیگر قرار گرفته‌اند (Fahn, 1916) و در این پژوهش، در بافت‌های بررسی شده به‌ویژه در بافت ریشه انگور یاقوتی در سطوح مختلف تنش شوری مشاهده شد. به دلیل افزایش بیشتر تعداد بلورهای نمک در ریشه انگور در این پژوهش، به نظر می‌رسد که این اندام در حفظ و نگهداری بلورهای نمک در سلول‌های خود برای جلوگیری از سمیت در گیاه نقش مهمی ایفا می‌کند.

### نتیجه‌گیری

در مجموع، نتایج این بررسی نشان داد که تنش شوری موجب تغییراتی در ساختار تشریحی اندام‌های مختلف هوایی و ریشه در نهال‌های جوان انگور یاقوتی گردید اما میزان این تغییرات به شدت تنش شوری بستگی داشت. در این بررسی، شوری ۱۰۰ میلی‌مولار، افزایش ضخامت اپیدرم، تعداد دستجات آوندی، ضخامت اسکلرانشیم و بافت مغز در اندام‌های هوایی و ضخامت پریدرم، تعداد و ضخامت دستجات آوندی و بافت مغز ریشه را در پی داشت، درحالی‌که ضخامت کورتکس را کاهش داد. ضخامت لایه پارانشیمی نردبانی و قطر این سلول‌ها به همراه ضخامت سلول‌های پارانشیمی اسفنجی برگ کاهش و تعداد سلول‌های نردبانی افزایش چشمگیری نشان داد. هر کدام از این تغییرات با توجه به توضیحاتی که در قسمت بحث ذکر شده است را می‌توان به‌عنوان نوعی سازش مورد توجه قرار داد تا شانس تحمل گیاه را برای ادامه حیات در شرایط تنش شوری افزایش دهد. این نتایج می‌تواند راهگشای پژوهش‌های بیشتری در این زمینه باشد تا بتوانند اطلاعات بیشتری در ارتباط با میزان تغییرات ساختار تشریحی اندام‌های انگور یاقوتی را در شرایط شدیدتر شوری ارائه دهند.

### سپاس‌گزاری

بدین‌وسیله از همکاری بخش زیست‌شناسی سلولی-مولکولی دانشکده علوم پایه دانشگاه بوعلی سینا به‌ویژه آقای دکتر چهره‌گانی و خانم عزیزی جهت در اختیار قرار دادن فضا و امکانات آزمایشگاهی برای انجام این آزمایش تشکر و قدردانی می‌گردد.

ضخامت پریدرم ریشه در شرایط شوری متوسط (۵۰ میلی‌مولار) و شوری شدید (۱۰۰ میلی‌مولار) نشان‌دهنده تحمل بافت ریشه به تنش‌های غیرزنده می‌باشد و به‌عنوان یک مانع فیزیکی در برابر انتقال شعاعی آب و یون  $\text{Na}^+$  عمل می‌کنند و همین‌طور از جریان مواد محلول برای حفاظت از بافت‌های آوندی جلوگیری می‌نمایند (Silva et al., 2021). از جمله مکانیسم‌های سازگاری ریشه به شرایط کم‌آبی، ضخیم شدن پریدرم و ایزولاسیون استوانه آوندی با تشکیل پریدرم و کاهش ضخامت کورتکس، برای کاهش فاصله بین خاک و استوانه آوندی است (Fahn, 1916). با توجه به نتایج پژوهش حاضر، تعداد آوندهای چوب ریشه در شوری ملایم، متوسط و شدید افزایش نشان داد. (Acotsa-Motos et al. (2017) و قطر دهانه متاگزیم و وسعت کورتکس را جهت نفوذپذیری آب در ریشه تعیین‌کننده می‌دانند. به نظر می‌رسد بیشتر شدن قطر دهانه متاگزیم در شوری ملایم و متوسط (۲۵ و ۵۰ میلی‌مولار) تلاشی برای جذب بیشتر آب در این شرایط باشد و از طرف دیگر کاهش در قطر آن‌ها در شوری شدیدتر (۱۰۰ میلی‌مولار) ممکن است به‌عنوان تلاشی برای ممانعت و یا کاهش ورود بیشتر نمک به درون بافت ریشه در نظر گرفته شود. در پژوهش حاضر، افزایش در قطر استوانه آوندی و قطر دهانه متاگزیم در ریشه که در شرایط شوری در مقایسه با شاهد اتفاق افتاد ممکن است یک استراتژی برای بهبود کارایی مصرف آب و دفع  $\text{Na}^+$  از طریق جداسازی در واکوئل سلول‌ها باشد که به وسیله (Silva et al. 2021) در بررسی تغییرات آناتومیکی ناشی از تنش شوری لوبیا هم مشاهده شد. در این بررسی ضخامت کامبیوم در ساقه، دم‌برگ، رگبرگ و ریشه تحت تأثیر شرایط شوری کاهش یافت (جدول‌های ۱، ۲، ۳).

(Fahn (1961) گزارش داد که فعالیت این بافت به شرایط درونی و بیرونی گیاه اتم از مواد رشد، دما، فتوپریود و رطوبت بستگی دارد و در نواحی خشک، عامل مهم کنترل‌کننده فعالیت کامبیوم، آب موجود در خاک است. بنابراین شوری شدید و خشکی فیزیولوژیکی ناشی از آن می‌تواند به کاهش ضخامت و فعالیت این بافت نسبت به شاهد منجر شده باشد. افزایش غلظت شوری، تعداد بلورهای نمک ذخیره شده در واکوئل سلول‌های پارانشیمی را افزایش داد (جدول‌های ۱، ۲، ۳). هالوفیت‌ها و گیاهانی که تحمل بالایی به شوری دارند از مکانیسم‌هایی برای زنده ماندن و رشد در خاک‌های شور برای مدت طولانی، استفاده می‌کنند. این گیاهان به‌طور مؤثری

### References

- Aazami, M. A., Zahedi, S. M., & Fahadi Hoveizeh, N. (2018). Evaluation of tolerance rate of some commercial grape (*Vitis vinifera* L.) cultivars to salinity stress. *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology*, 19(1), 53-62. [In Farsi]

- Acotsa-Motos, J. R., Ortuno, M. F., Bernal-Vicente, A., Diaz-Vivancos, P., Sanchez-Blanco, M. J., & Hernandez, J. A. (2017). Plant responses to salt stress: adaptive mechanisms. A review. *Agronomy*, 7(18), 1-38.
- Bouchabke, O., Tardieu, F., & Simonneau, T. (2006). Leaf growth and turgor in growing cell to maize (*Zea mays* L.) respond to evaporative demand under moderate irrigation but not in water saturated soil. *Plant Cell Environment*, 29, 1137-1148.
- Bounghalleb, F., Denden, M., & Tiba, B. B. (2009). Anatomical changes induced by increasing NaCl salinity in three fodder shrubs, *Nitraria retusa*, *Atriplex halimus* and *Medicago arborea*. *Plant Physiology*, 31, 947-960.
- Eskandari, S., Mozafari, V., & Tajabadipur, A. (2010). Effect of salinity and copper on some physiological and anatomical indices of two pistachio cultivars under greenhouse conditions. *Journal of Water and Soil*, 24(6), 1210-1223. [In Farsi]
- Fahn, E. (1916). *Plant anatomy*. Translated by A. Jaafari. Mashhad: Jihad Daneshgahi. [In Farsi]
- Gapinska, M., & Glinska, S. (2014). Salt-mediated changes in leaf mesophyll cells of *Lycopersicon esculentum* Mill. Plants. *Journal of Central European Agriculture*, 15(3), 219-235.
- Hameed, M., Ashraf, M., Ahmad, M.S.A., Naz, N. (2010). Structural and functional adaptations in plants for salinity tolerance. In: Ashraf, M., Ozturk, M., Ahmad, M. (Eds) *Plant Adaptation and Phytoremediation*. Dordrecht: Springer.
- Jalili-Marandi, R. (1998). Study on the tolerance of 10 grape cultivars at different concentrations of sodium chloride under the in vitro. *Iranian Journal Agricultural Science*, 29(3), 525-533.
- Jamaati, Z., Dehestani Ardakani, M., Momenpour, A., & Shirmardi, M. (2021). Comparison of salinity tolerant of three cultivars of commercial pomegranate (*Punica granatum* L.). *Plant Productions*, 44(1), 129-142. [In Farsi]
- Jonobi, P., Majd, A., Mehrabian, S., & Rashidi, F. (2015). Investigating the structure of vegetative organs and development of generative organs in *Mangifera indica* L. *Journal of Cell and Tissue*, 5(4), 417-427.
- Li, Q., Yu, L., Deng, Y., Li, W., Li, M., & Cao, J. (2007). Leaf epidermal characters of *Lonicera japonica* and *Lonicera confuse* and their ecology adaptation. *Journal of Forestry Research*, 18(2), 103-108.
- Mahotfrosgha, M., & Jafari, S. (2019). Investigating the effect of salt stress on development of vegetative organs in *Raffia* plant. *Journal of Developmental Biology*, 12(3), 31-42. [In Farsi]
- Majd, A., Janobi, P., & Zainipur, M. (2009). Investigating the effects of drought stress on anatomical structure of *Helianthus annuus* (L.). *Scientific and Research Journal of Developmental Biology*, 1(4), 11-24. [In Farsi]
- Mozafari, A. A., Ghadakchi Asl, A., & Ghaderi, N. (2018). Grape response to salinity stress and role of iron nanoparticle and potassium silicate to mitigate salt induced damage. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 24(1), 25-35.
- Ola, H., Regam, A. E., Farag, E., Eisa, S. S., & Habib, S. A. (2012). Morpho – anatomical changes in salt stressed kaller grass (*Leptochloa fusca*). *Research journal of Agriculture and Biological Sciences*, 8(2), 158-166.
- Parida, A. K., Veerabathini, S. K., Kumari, A., & Agarwal, P. K. (2016). Physiological, anatomical and metabolic implication of salt tolerance in the halophyte *Salvadora persica* under hydroponic culture. *Plant Science*, 7, 1-18.
- Qiu, D. L., Lin, P., & Guo, S. Z. (2007). Effects of salinity on leaf characteristics and  $\text{CO}_2 / \text{H}_2\text{O}$  exchange of *Kandellia candel* (L.). *Journal of Forest Science*, 53, 13-19.
- Shao, H. B., Chu, L. Y., Jaleel, C. A., & Zhao C. X. (2008). Water deficient stress induced anatomical changes in higher plants. *Comptes Rendus Biologies*, 331, 215-225.
- Silva, B. R. S., Batista, B. L., & Lobata, A. K. S. (2021). Anatomical changes in stem and root of soybean plants submitted to salt stress. *Plant Biology*, 32, 57- 65.
- Stevens, R. M., & Walker, R. R. (2012). Response of grapevines to irrigation-induced saline-sodic soil conditions. *Animal Production Science*, 42, 323-331.
- Talebi, M., Mosafari, M., & Tajabadipur, A. (2009). Response of pistachio seedlings (*Pistacia cv. Ghazvini*) to different levels of Zinc and NaCl. *Journal of Water and Soil*, 23(2), 150-161. [In Farsi]
- Teimouri, A., & Jafari, M. (2010). The effects of salinity stress on some of anatomical and morphological characteristics in three *Salsola* species: *S. rigida*, *S. dendroides*, *S. richteri*. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 17(1), 22-34. [In Farsi]
- Zarinkamar, F., & Asfa, A. (2005). The effect of salinity on anatomical structure and alkaloid production in pomegranate. *Rastaniha*, 6, 97-107. [In Farsi]
- Zarinkamar, F., & Farakhah, A. (2005). Comparative studies between different aspects of the three halophyte species, *Salsola dendroides*, *Aeluropus lagopoides* and *Alhagi persarum*. *Pajouhesh and Sazandegi*, 66, 50-66. [In Farsi]