



Investigating the Effect of Environmental Stresses on the Growth and Development of Giant Reed (*Arundo donax*) under the Climatic Conditions of Mashhad City

M. Elahinejad^{1*}, Gh. Asadi², R. Tavakolafshari³

Received: 11-09-2022

Revised: 25-10-2022

Accepted: 04-01-2023

Available Online: 04-01-2023

How to cite this article:

Elahinejad, M., Asadi, Gh., & Tavakolafshari, R. (2023). Investigating the effect of environmental stresses on the growth and development of Giant reed (*Arundo donax*) under the climatic conditions of Mashhad city. *Journal of Iranian Plant Protection Research*, 37(2), 177-193. (In Persian with English abstract). <http://doi.org/10.22067/jpp.2023.78763.1106>

Introduction

Drought stress is one of the main environmental factors affecting the growth and productivity of plants around the world. Periods of severe drought are predicted to increase significantly in the near future, particularly as a result of extreme heat waves. Salinity is also one of the most important challenges facing the food supply for the world's population in the future, and the degree and time of exposure to stress can make this challenge stronger or weaker.

Environmental limitations affecting plant growth, development and performance of physiological processes during plant response to stress provide important information about the plant mechanism, which is useful for eliminating or reducing the harmful effects of stress in plant tissues. The negative effects of climate change (such as drought, sea level rise, and global warming), as well as the salinization of agricultural land, and have been cited as one of the most important problems of the World Agriculture Organization (FAO).

Understanding the relationship between changes in environmental conditions and climate change and *Arundo donax* with regard to the growth of coastal native species and also understanding the water wastage by this plant compared to coastal native plants is vital to remove this plant in the current situation where there is drought in most areas.

In this situation, it is necessary to know how different environmental factors such as salinity levels, dryness, temperature, nutrients, light and fire affect the growth and invasion of *Arundo donax* for long-term and large-scale control. The purpose of this research is to obtain valuable information about the growth and development of existing ecotypes of the *Arundo donax* plant in Iran and the effect of various environmental factors on the germination, growth and fertility of this plant in order to plan for the long-term restoration of river ecosystems and how to control and The fight or its optimal use should be determined.

Materials and Methods

In order to investigate the effect of drought and salinity treatment on the growth and establishment of the rhizome of *Arundo donax*, an experiment was conducted in 2021 using rhizomes collected from the ecotype of Gorgan city and factorially in the form of a randomized complete block design in 3 replications in the research farm of Ferdowsi University of Mashhad. The experimental treatments included different levels of drought stress {100%, 75% and 50% of crop capacity} and different levels of salinity stress {0 (distilled water), 4, 8 and 12 dS/m}.

1, 2 and 3- Ph.D, Associate Professor and Professor in Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, respectively.

(*- Corresponding Author Email: Mohsen.elahinejad@um.ac.ir)

DOI: [10.22067/jpp.2023.78763.1106](https://doi.org/10.22067/jpp.2023.78763.1106)

Results and Discussion

The general results of the experiment showed that the presence of salinity and drought stresses both decrease the growth and development indicators of this plant, and the presence of these two environmental stresses can increase the indicators of biomass of aerial organs, biomass of underground organs, plant height, and stem diameter. The effect of salinity stress on the reduction of the measured indices was less than that of drought stress, so that the difference between the levels of salinity stress at different levels of drought stress in all the measured indices, except the shoot biomass, had insignificant differences with each other, but in the comparison of the effect of drought stress at different levels of the surface together we come to the conclusion that drought stress alone leads to a significant decrease in growth indicators compared to the control treatment. The maximum amount of shoot biomass in non-stress conditions (control) was 2840 (gr), and with the increase of salinity and drought stress levels, this value decreases, so that the lowest amount of biomass in drought stress and maximum salinity conditions was 988 (gr). The biomass of the shoots of *Arundo donax* increased over time in different levels of salinity and drought stress, and its value was from less than 300 grams at the beginning of the growing season in all stress levels to more than 1000 to 2500 (gr) at the end of the growing season in different stress levels.

Conclusion

The parameters obtained from the effect of salinity and drought stress on the stem diameter, plant height and leaf surface of *Arundo donax* showed that this plant showed some resistance under minor drought stress and these indicators decrease less in it, but in severe drought stress this amount decreased sharply. The results of analysis of variance of this experiment also showed that salinity and drought treatment and their interaction led to a significant difference with the control treatment. The simple effect of salinity treatment showed a significant difference in other indices compared to the control treatment, except for the index of leaf area and stem diameter, however, the simple effect of drought treatment showed significance in all the measured indices.

Keywords: *Arundo donax*, Drought, Environmental stress, Growth, Invasive plant

مقاله پژوهشی

جلد ۳۷، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۲، ص. ۱۹۳-۱۷۷

بررسی تأثیر تنش‌های محیطی بر رشد و توسعه گیاه نی قمیش (*Arundo donax*) در شرایط آب و هوایی شهر مشهد

محسن الهی نژاد^{۱*} - قربانعلی اسدی^۲ - رضا توکل افشاری^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۲۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۸/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۱۴

چکیده

به منظور بررسی اثر تیمار خشکی و شوری بر رشد و استقرار ریزوم گیاه قمیش *Arundo donax* آزمایشی در سال ۱۴۰۰ با استفاده از ریزوم‌های جمع‌آوری شده از اکوتیپ شهر گرگان و به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل سطوح مختلف تنش خشکی {۱۰۰٪، ۷۵٪ و ۵۰٪ ظرفیت زراعی} و سطوح مختلف تنش شوری {۰ (آب مقطر)، ۴، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر} بود. نتایج کلی آزمایش نشان داد که وجود تنش‌های شوری و خشکی هر دو باعث کاهش شاخص‌های رشد و توسعه‌ای این گیاه می‌شوند و وجود این دو تنش محیطی می‌تواند شاخص‌های زیست‌توده اندام هوایی، زیست‌توده اندام زیرزمینی، ارتفاع گیاه، قطر ساقه و شاخص سطح برگ را کاهش دهد. تأثیر تنش شوری بر کاهش شاخص‌های اندازه‌گیری شده کمتر از تنش خشکی بود به نحوی که اختلاف بین سطوح تنش شوری در سطوح مختلف تنش خشکی در همه شاخص‌های اندازه‌گیری شده به جز زیست‌توده اندام هوایی اختلاف ناچیزی با یکدیگر داشتند ولی در مقایسه اثر تنش خشکی در سطوح مختلف سطح با یکدیگر به این نتیجه می‌رسیم که تنش خشکی به تنهایی منجر به کاهش معنی‌دار شاخص‌های رشد نسبت به تیمار شاهد می‌گردد. حداکثر میزان زیست‌توده اندام هوایی در شرایط بدون تنش (شاهد) به میزان ۲۸۴۰ گرم ایجاد شد و با افزایش سطوح تنش شوری و خشکی این مقدار کاهش پیدا می‌کند به نحوی که کمترین مقدار زیست‌توده در شرایط تنش خشکی و شوری حداکثری به میزان ۹۸۸ گرم حاصل شد. زیست‌توده اندام هوایی نی قمیش در طول زمان در سطوح مختلف تنش شوری و خشکی افزایش پیدا کرد و مقدار آن از کمتر از ۳۰۰ گرم در ابتدای فصل رشد در همه سطوح تنش به بیش از ۱۰۰۰ تا ۲۵۰۰ گرم در پایان فصل رشد در سطوح مختلف تنش رسید؛ همچنین پارامترهای حاصل از اثر تنش‌های شوری و خشکی بر قطر ساقه، ارتفاع گیاه و سطح برگ نی قمیش نشان داد که این گیاه در تنش‌های جزئی خشکی تا حدی مقاومت نشان داده و این شاخص‌ها کمتر در آن کاهش پیدا می‌کند، اما در تنش شدید خشکی این مقدار کاهش شدید پیدا کرد. نتایج تجزیه واریانس این آزمایش نیز نشان داد تیمار شوری و خشکی و اثر متقابل آن دو منجر به ایجاد اختلاف معنی‌دار با تیمار شاهد گردید. اثر ساده تیمار شوری به جز در شاخص سطح برگ و قطر ساقه در سایر شاخص‌ها نسبت به تیمار شاهد اختلاف معنی‌دار نشان داد با این وجود اثر ساده تیمار خشکی در تمامی شاخص‌های اندازه‌گیری شده معنی‌داری را نشان داد.

واژه‌های کلیدی: تنش‌های محیطی، خشکی، رشد، گیاه مهاجم، نی قمیش

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانش‌آموخته دکتری تخصصی، دانشیار و استاد گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

*-نویسنده مسئول: (Email: Mohsen.elahinejad@um.ac.ir)

مقدمه

محدودیت‌های محیطی مؤثر بر رشد، نمو و عملکرد گیاه در فرآیندهای فیزیولوژیکی در طی واکنش گیاه به تنش اطلاعات مهمی در مورد مکانیسم گیاه ارائه می‌دهد که برای حذف یا کاهش اثرات مضر استرس در بافت‌های گیاهی مفید است. اثرات منفی تغییرات آب و هوایی (مانند خشکسالی، افزایش سطح دریا و گرم شدن زمین)، به‌علاوه شور شدن زمین‌های کشاورزی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین معضلات سازمان کشاورزی جهانی (FAO) عنوان شده است (FAOSTAT, 2013).

به نظر می‌رسد که *A. donax* مانند سایر گیاهان مهاجمی، از طریق از دست دادن شرایط مناسب زیستگاه و رقابت با گونه‌های بومی، بر تنوع زیستی تأثیر منفی گذارد (Czech and Krausman, 1997). علاوه بر این، *A. donax* از طریق تأثیر بر روند طبیعی توالی رودخانه، مانند کاهش سطح آب‌های زیرزمینی، کاهش سطح آب سطحی در جریان رودخانه‌ها و غیره موجب تهدید اکوسیستم رودخانه‌ها گردد و همچنین با ایجاد یک پتانسیل برای آتش‌سوزی گیاهان بومی موجب کاهش تنوع زیستی گیاهان و حیوانات این مناطق شود.

در ایران سواحل دریای خزر (استان‌های گلستان، مازندران و گیلان) و همچنین بخش‌هایی از استان خوزستان و سیستان و بلوچستان آلوده به قمیش هستند. اما با این حال تاکنون هیچ‌گونه تحقیق و پژوهشی در مورد ژنوتیپ، نحوه ورود، خصوصیات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی و سایر موارد در مورد این گیاه در ایران انجام نشده است و چگونگی جوانه‌زنی، رشد و توسعه این گیاه مهاجم در ایران مجهول مانده است.

شناخت رابطه بین تغییرات شرایط محیطی و تغییر اقلیم و نی قمیش نسبت به رشد گونه‌های بومی ساحلی و همچنین درک هدررفت آب توسط این گیاه در مقایسه با گیاهان بومی ساحلی برای حذف این گیاه در شرایط کنونی که خشک‌سالی در اکثر مناطق وجود دارد حیاتی است (Abichandani, 2007). در این شرایط شناخت چگونگی تأثیر عوامل مختلف محیطی مانند سطوح شوری، خشکی، دما، مواد مغذی، نور و آتش در رشد و مهاجم قمیش برای کنترل درازمدت و در مقیاس بزرگ ضروری است. هدف این پژوهش آن است تا اطلاعات ارزشمندی در مورد نحوه رشد و توسعه اکوتیپ‌های موجود گیاه قمیش در ایران و تأثیر عوامل مختلف محیطی بر جوانه‌زنی، رشد و باروری این گیاه در جهت برنامه‌ریزی برای بازسازی طولانی‌مدت اکوسیستم‌های رودخانه‌ای به دست آید و نحوه کنترل و مبارزه و یا استفاده بهینه از آن مشخص گردد.

گیاه نی قمیش بومی شرق آسیا محسوب می‌شود، اما داده‌های اخیر نشان می‌دهد که این گیاه بومی منطقه مدیترانه نیز می‌باشد (Lambert et al., 2010). نی قمیش هزاران سال است که در سراسر آسیا، منطقه مدیترانه، شمال آفریقا و خاورمیانه کشت شده است و در قرن نوزدهم در سراسر آمریکای شمالی و جنوبی و همچنین استرالیا کاشته شد (Lambert et al., 2010). نی غول‌پیکر در هر جایی که معرفی شد به‌طور طبیعی استقرار پیدا کرد و به یک علف هرز مضر در آن منطقه تبدیل شد (Lambert et al., Bell, 1997; 2010; Mariani et al., 2010).

نتایج آزمایش‌های جورجنسن (Jørgensen, 2011) نشان داد که گیاه نی قمیش در مقایسه با سایر گیاهان مشابه خانواده Poaceae پتانسیل بیشتری در تولید ریزوم‌های زنده و متحمل به تنش دارد و با توجه به پتانسیل رشد این گیاه احتمال اینکه در مدت‌زمان کوتاهی اکوسیستم منطقه تغییر پیدا کند وجود دارد.

اختلال در پویایی رژیم‌های طبیعی در سیستم‌های رودخانه‌ای در آب‌وهوای مدیترانه احتمالاً موجب گسترش مهاجمی گونه‌های گیاهی از طریق این سیستم‌ها می‌شوند (Gasith and Resh, 1999)، و این مناطق را به سمت ایجاد یک منطقه مهاجم پذیر که عمدتاً مهاجم گیاهان علفی است سوق دهند و این مناطق را آسیب‌پذیر نمایند؛ گیاهان علفی قادر به ایجاد و رشد سریع در این مناطق ناشناخته باز هستند و اغلب می‌توانند تغییراتی را در دریافت آب، نور و مواد غذایی برای گیاهان بومی منطقه ایجاد نمایند (Baker, 1974).

تنش خشکی یکی از عوامل محیطی اصلی مؤثر بر رشد و بهره‌وری گیاهان در سراسر جهان است. پیش‌بینی می‌شود که دوره‌های خشکسالی شدید در آینده نزدیک به‌طور قابل‌توجهی افزایش خواهد یافت، به‌ویژه در نتیجه امواج گرمای شدید (Trnka et al., 2011; 2011; Beringer et al., 2011). شوری نیز یکی دیگر از مهم‌ترین چالش‌های پیش روی تأمین غذا برای جمعیت جهان در آینده به شمار می‌آید، همچنین درجه و زمان قرار گرفتن در معرض استرس نیز می‌تواند این چالش را پررنگ‌تر یا کم‌رنگ‌تر نماید (Chavez et al., 2009).

تحمل گیاهان به تنش‌های محیطی معمولاً توسط ژن‌های گیاه و همچنین توسط صفات مورفولوژیکی، فنولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی تعیین می‌شود (Grzesiak et al., 2013)، بنابراین اندازه‌گیری این صفات در گیاهانی که قادر به رشد در مناطق تخریب‌شده اکولوژیکی هستند بسیار مهم است، زیرا که واکنش فیزیولوژیکی گیاه به تنش آبی و شوری به‌عنوان اولین گام در فرآیند سازگاری آن با استرس محیطی شناخته می‌شود (Munns, 2002).

مواد و روش‌ها

جمع‌آوری و غلاف دور ریزوم‌ها جدا شد. سپس ریزوم‌ها شسته شد و با محلول بنومیل^۵ ۰/۵ درصد به مدت ۱۵ دقیقه ضدعفونی گردید (Juneau and Tarasoff, 2013).

در هر ردیف کشت ۲۰ عدد ریزوم قمیش با فواصل منظم ۱۰ سانتی‌متری از یکدیگر کشت گردید (تراکم ۱۰ بوته در متر مربع) و آبیاری اولیه با آب غیر شور جهت رویش ریزوم‌ها انجام شد. پس از آبیاری اول، سایر مراحل آبیاری کرت‌ها تا زمانی که گیاهچه‌ها به‌اندازه تقریبی ۱۰-۲۰ سانتی‌متری برسند، به فواصل منظم ۴ روز یک‌بار و با آب معمول مزرعه انجام شد. پس از رسیدن گیاهچه به ارتفاع مذکور اعمال تنش‌های شوری و خشکی انجام گردید و تا پایان دوره رشد ادامه داشت و تقریباً دو هفته مانده به برداشت قطع شد تا شرایط لازم برای خشک شدن بوته‌ها و انجام عملیات برداشت و اندازه‌گیری‌های نهایی فراهم شود. اعمال تیمار تنش شوری و خشکی با آب حاوی غلظت‌های مختلف موردنظر NaCl در برخی از تیمارها برای جلوگیری از شوک ناگهانی ناشی از شوری آب آبیاری از کمترین مقدار (نمک ۲ دسی‌زیمنس) شروع شد و غلظت بیشتر به ترتیب و در طی چند روز تدریجاً به مزرعه داده شد. آلودگی علف‌های هرز به‌صورت طبیعی بود و علف‌های هرز بین کرت‌ها و بین بلوک‌ها نیز در طول مدت رشد گیاهان، با دست وجین شد.

برای اندازه‌گیری رطوبت خاک در عمق‌های مختلف از دستگاه رطوبت‌سنج PR₂ استفاده شد. این دستگاه با استفاده از اندازه‌گیری حجمی رطوبت در عمق‌های مختلف خاک به‌صورت نمونه‌گیری مستقیم از خاک و اعمال اصلاحات، واسنجی شد. قبل از هر بار آبیاری، رطوبت خاک با استفاده از دستگاه رطوبت‌سنج PR₂ در عمق‌های ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳، ۰/۴ و ۰/۵ متر قرائت گردید و در هر بار آبیاری مقدار کمبود آب خاک برای هر یک از تیمارها، با استفاده از معادله (۱) زیر تعیین شد.

$$d = \sum_{i=1}^n (\theta_{fi} - \theta_i) \Delta z \quad (1) \text{ معادله}$$

که در آن n تعداد لایه‌ها تا عمق ریشه، i شماره هر لایه، d عمق آب آبیاری برحسب θ_{fi} و θ_i به ترتیب رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای و رطوبت موجود در داخل قبل از آبیاری برحسب $m^3 m^{-3}$ در لایه i و Δz ضخامت لایه برحسب m می‌باشند. با توجه به متوسط مقدار آب موردنیاز برای تیمارهای I₁، حجم آب سایر تیمارها با در نظر گرفتن ۲۵٪ و ۵۰٪ کاهش، تعیین گردید. حجم آب موردنیاز هر تیمار نیز با استفاده از یک کنتور در حین تحویل آبیاری مشخص شد.

در این آزمایش مقادیر نمک ابتدا در ظروف کوچک مدرج در آب حل شد و سپس به مخزن بزرگ انتقال داده شد و با به حجم رساندن مخزن برای تیمارهای آبیاری، مقدار شوری نیز به همراه آب وارد کرت‌ها گردید.

برای بررسی مراحل رشد و عملکرد گیاه قمیش تکثیرشده از طریق قطعات ریزوم، ریزوم‌هایی هم سن به طول ۵-۱۰ سانتی‌متر از بین بیش از ۵۰ بوته از حاشیه ۱۰ مزرعه مختلف از اکوتیپ منطقه کوهستانی و زراعی هزار پیچ گرگان جمع‌آوری شده و به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد در بهار و تابستان سال ۱۴۰۰ کشت شد. فاکتور اصلی شامل ۴ سطح شوری می‌باشد، سطح اول یا شاهد (S₁) بدون اعمال تنش شوری و با شوری آب آبیاری و سطوح دیگر شوری شامل ۴ دسی‌زیمنس بر متر (S₂)، ۸ دسی‌زیمنس بر متر (S₃) و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر (S₄) با حل کردن نمک NaCl خالص در آب آبیاری اعمال گردید؛ به‌نحوی که آب موردنیاز هر تیمار مشخص گردید و پس از وزن کردن نمک موردنیاز و حل کردن آن با آب آبیاری به روش معمول مزرعه آبیاری شد. فاکتور فرعی نیز شامل تیمارهای خشکی در سه سطح آبیاری تا حد ظرفیت زراعی به‌عنوان تیمار شاهد (I₁)، آبیاری زمین تا رسیدن به حد ۷۵٪ ظرفیت زراعی (I₂) و آبیاری تا رسیدن به حد ۵۰٪ ظرفیت زراعی (I₃) اعمال شد.

قبل از شروع عملیات کاشت، از سه نقطه در مزرعه و عمق مختلف نمونه‌های دست‌خورده و دست‌نخورده جهت تعیین بافت خاک، جرم مخصوص ظاهری^۱، هدایت الکتریکی عصاره اشباع^۲، رطوبت ظرفیت زراعی^۳، و حد پژمردگی دائم^۴، تهیه گردید. خاک مزرعه محل آزمایش به‌صورت لومی رسی (pH خاک مزرعه ۷/۵، هدایت الکتریکی ds/m ۱/۲۳، دارای ۰/۰۸۱ درصد نیتروژن، ۰/۷۷ درصد کربن آلی و mg/kg ۶۱/۴ فسفر قابل جذب و ۱۰۸ mg/kg پتاسیم قابل جذب) بود. همچنین مقادیر رطوبت حجمی در نقاط رطوبتی اشباع و ظرفیت مزرعه به ترتیب برابر ۴۷ و ۳۳ درصد و مقادیر کربن آلی برابر ۱/۵ درصد به دست آمد.

اندازه کرت‌ها ۲*۲ مترمربع بود و در هر کرت ۴ ردیف کشت به فواصل ۵۰ سانتی‌متر ایجاد شد. به جهت کاهش بروز خطای ناشی از آبیاری کرت‌ها و حرکت آب و املاح به کرت‌های مجاور، فاصله کرت‌ها از یکدیگر ۱ متر و فاصله بلوک‌ها از یکدیگر ۲/۵ متر در نظر گرفته شد.

ریزوم‌های قمیش از عمق ۲۰ تا ۳۵ سانتی‌متری خاک که با توجه به نحوه رویش گیاه و منابع تحقیقی بیشترین تراکم را دارند جهت انجام کشت در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد

- 1- Bulk density
- 2- Electrical conductivity of the saturation extract
- 3- Field capacity moisture
- 4- Permanent wilting point

که در این معادله، Y: متغیر وابسته، A، حداکثر عملکرد، b: شیب خط و X_0 : بیانگر تعداد روزی است که در آن عملکرد به ۵۰ درصد خود می‌رسد.

تجزیه واریانس آزمایش به صورت طرح کاملاً تصادفی و مقایسه میانگین با آزمون FLSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. همچنین برازش مدل‌ها با نرم‌افزار Sigma plot.14 انجام شد و نمودارها با نرم‌افزار اکسل ۲۰۱۶ رسم گردید. مقایسه مدل‌ها بر اساس سنج‌های R^2_{adj} و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE=Root mean square root) انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج کلی آزمایش بررسی اثر تنش‌های محیطی بر رشد و توسعه گیاه نی قمیش در شرایط آب و هوایی شهر مشهد نشان می‌دهد که وجود تنش‌های شوری و خشکی هر دو باعث کاهش شاخص‌های رشد و توسعه‌ای این گیاه می‌شوند به نحوی که نتایج تجزیه واریانس این آزمایش (جدول ۱) نشان داد تیمار شوری و خشکی و اثر متقابل آن دو منجر به ایجاد اختلاف معنی‌دار با تیمار شاهد گردید. اثر ساده تیمار شوری به جز در شاخص سطح برگ و قطر ساقه در سایر شاخص‌ها نسبت به تیمار شاهد اختلاف معنی‌دار نشان داد با این وجود اثر ساده تیمار خشکی در تمامی شاخص‌های اندازه‌گیری شده معنی‌داری را نشان داد که این مسئله تأثیر این تنش نسبت به شوری را تا حدی عنوان می‌کند. اثرات متقابل شوری و خشکی نیز در تمامی شاخص‌ها معنی‌دار شد، که این امر نشان می‌دهد که گیاه نی قمیش نسبت به تنش‌های محیطی حساس است و وجود تنش خشکی و شوری می‌تواند روند رشد و گسترش آن را مختل نماید.

به‌منظور بررسی روند رشد و تعیین شاخص‌های فیزیولوژیکی پس از کشت و سبز شدن قمیش، قبل و بعد از اعمال تنش‌ها به فواصل زمانی منظم (هر دو هفته یک‌بار) طی پنج مرحله، تمامی قسمت‌های هوایی و زیرزمینی ۳ بوته به‌طور تصادفی از هر کرت به صورت تخریبی (نمونه‌برداری به صورت تصادفی با حفظ اثر حاشیه‌ای و با استفاده از یک کوادرات ۵۰*۵۰ سانتی‌متری) برداشت شد و بوته‌های باقیمانده در انتهای فصل، برای اندازه‌گیری میزان عملکرد برداشت شدند. گیاهان نمونه‌برداری شده به‌منظور تعیین وزن خشک، به مدت ۴۸ ساعت در آونی با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و پس از انتقال به آزمایشگاه، وزن خشک اندام هوایی، اندام زیرزمینی و همچنین ارتفاع گیاه، قطر گیاه و سطح برگ تعیین گردید. به‌منظور تعیین نیاز حرارتی سبز شدن ریزوم‌های نی قمیش از خاک، درجه روزشده از ابتدای کاشت ریزوم‌ها در خاک تا ۵۰ درصد سبز شدن ریزوم‌ها با استفاده از معادله ۲ محاسبه شد (Soterre et al., 1996). برای محاسبه نیاز حرارتی گیاه از اندازه‌گیری دمای روزانه عمق ۲۰ سانتی‌متری خاک و درجه حرارت محیط استفاده شد. مقدار دمای پایه نیز از آزمایش تعیین دمای پایه رویش ریزوم نی قمیش (آزمایش اول) استفاده شد.

معادله (۲)

$$\text{دمای پایه جوانه زنی} = \frac{\sum (\text{درجه حرارت حداقل} + \text{درجه حرارت حداکثر})}{2} = \text{نیاز حرارتی}$$

همچنین به‌منظور بررسی اثر سطوح مختلف شوری و خشکی بر درصد رشد و عملکرد قمیش از یک مدل لجستیک سه پارامتر (معادله ۳) استفاده شد (Steinmaus And Norris, 2002):

$$Y = \frac{A}{1 + \exp(-(X / X_0) / b)} \quad \text{معادله (۳)}$$

جدول ۱- جدول تجزیه واریانس آزمایش بررسی اثر تنش‌های محیطی بر رشد و توسعه گیاه قمیش (*Arundo donax*) در شرایط آب و هوایی شهر مشهد

Table 1- Variance analysis table for the study of the effect of environmental stresses on the growth and development of the *Arundo donax* in the climatic conditions of Mashhad city

منابع تغییر (Source)	F				
	وزن خشک اندام هوایی SP	وزن خشک اندام زیرزمینی GPD	ارتفاع GRI	قطر ساقه WGRI	سطح برگ
تیمار (Treatment)					
شوری (Salinity)	194.4*	76.6*	13.8*	9.16	0.21
خشکی (Drought)	202.46**	89.4*	23.6**	19.23**	0.43*
شوری*خشکی (S*D)	312.38**	161.42*	31.73**	27.51*	0.56*

* And **: Significant at 5% and 1% of probability levels.

* و **: معنی‌دار در سطح پنج و یک درصد.

بر روی نی قمیش نشان داد که گیاه نی قمیش به هر دو تنش شوری و خشکی حساس است و وجود این دو تنش محیطی می‌تواند شاخص‌های زیست‌توده اندام هوایی، زیست‌توده اندام زیرزمینی، ارتفاع

تنش شوری و خشکی در مکان‌هایی که تبخیر و تعرق غالب است، بیشتر در فیزیولوژی گیاهان پدیدار می‌شوند (Wilhelm, 2014). پارامترهای حاصل از این اعمال تنش‌های شوری و خشکی

نی قمیش برخلاف سایر گیاهان رشد کرده در شرایط دیم که زیست‌توده کمتری را نسبت به گیاهان آبی تولید می‌کند، اختلاف معنی‌داری را با تنش‌های جزئی خشکی در تولید زیست‌توده نشان نمی‌دهد (Haworth *et al.*, 2017; Cosentino *et al.*, 2016; Curt *et al.*, 2018).

گیاه، قطر ساقه و شاخص سطح برگ را کاهش دهد (جدول ۲)؛ به‌عبارت دیگر تنش شوری و خشکی منجر به کاهش رشد و میزان پارامترهای رشدی در نی قمیش نسبت به شرایط عدم وجود تنش در این گیاه در شرایط آب و هوایی شهر مشهد شد. تحقیقات نشان می‌دهد که نی قمیش در کوتاه مدت و در شرایط خشکسالی کاهش زیست‌توده را نشان می‌دهد (Haworth *et al.*, 2017)، با این حال

جدول ۲- تأثیر سطوح مختلف شوری و خشکی بر وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک اندام زیرزمینی، ارتفاع گیاه، قطر ساقه و شاخص سطح برگ در کشت ریزوم های قمیش در شرایط آب و هوایی شهر مشهد

Table 2- The effect of different levels of salinity and dryness on the dry weight shoot, dry weight root, plant height, stem diameter and leaf area index in *A. donax* rhizome cultivation in the climatic conditions of Mashhad city

سطح خشکی Drought level (MPa)	سطح شوری Salinity level (dS.m)	وزن خشک اندام هوایی (gr) Dry Weight Shoot	وزن خشک اندام زیرزمینی (gr) Dry Weight Root	ارتفاع (cm) Height	قطر ساقه (mm) Stem Diameter	شاخص سطح برگ (m ²) LAI
I ₁	S ₁	1551.16 (21) ^a	281.83 (4.1) ^a	130.08 (1.4) ^a	21.16 (0.11) ^a	0.281 (0.001) ^a
I ₁	S ₂	1503.5 (16) ^{ab}	273.33 (3.8) ^a	126.16 (1.3) ^a	20.5 (0.11) ^a	0.273 (0.001) ^a
I ₁	S ₃	1428.66 (20) ^b	259.83 (3.3) ^b	120.33 (1.2) ^{ab}	19.66 (0.11) ^a	0.251 (0.001) ^b
I ₁	S ₄	1312 (19) ^c	238.66 (3.2) ^{bc}	109.91 (1.1) ^b	17.66 (0.09) ^b	0.216 (0.001) ^{cd}
I ₂	S ₁	1322.83(16) ^c	240.66 (3.2) ^{bc}	110.56 (1.1) ^b	19.78 (0.10) ^a	0.238 (0.001) ^c
I ₂	S ₂	1277.53 (19) ^{cd}	232.43 (3.3) ^c	106.75 (1.06) ^b	18.72 (0.10) ^b	0.231 (0.001) ^c
I ₂	S ₃	1196.38 (18) ^d	217.5 (3.14) ^{cd}	100 (1.01) ^{bc}	18.16 (0.10) ^b	0.216 (0.001) ^{cd}
I ₂	S ₄	1102.5 (15) ^e	200.65 (2.13) ^d	91.91 (0.92) ^c	14.31 (0.07) ^d	0.196 (0.001) ^d
I ₃	S ₁	709.86 (16) ^{fg}	130.5 (2.01) ^g	60.16 (0.82) ^d	16.5 (0.08) ^c	0.131 (0.001) ^f
I ₃	S ₂	665.16 (13) ^g	122.33 (1.82) ^{hi}	56.25 (0.81) ^{de}	15.5 (0.04) ^{cd}	0.123 (0.001) ^{fg}
I ₃	S ₃	585.34 (12) ^h	108.46 (1.77) ⁱ	49.58 (0.63) ^e	13.53 (0.03) ^{de}	0.108 (0.001) ^g
I ₃	S ₄	489.81 (13) ⁱ	90.73 (1.54) ^j	41.08 (0.63) ^{ef}	10.33 (0.01) ^{ef}	0.091 (0.001) ^{gh}

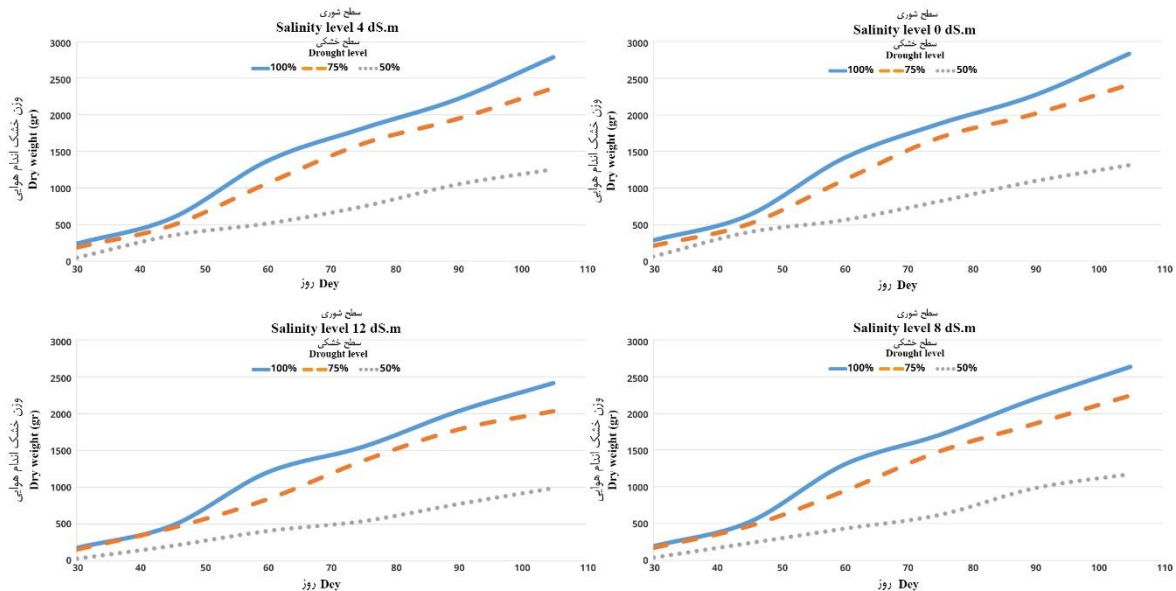
میانگین‌های درون هر ستون که حروف متفاوت دارند، بر اساس آزمون FLSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری دارند. داده‌های داخل پرانتز خطای معیار میانگین می‌باشد.

The means within the column followed by different letters differ significantly at $p \leq 0.05$ level (FLSD test). The values in parenthesis are standard error of the means.

تنهایی منجر به کاهش معنی‌دار شاخص‌های رشد نسبت به تیمار شاهد می‌گردد، به بیان دیگر اثر تنش خشکی نسبت به تنش شوری در رشد و توسعه گیاه نی قمیش پررنگتر است. آزمایشات صحرایی در دریای مدیترانه نشان داده است که نی قمیش (*Arundo donax*) از نظر متابولیسم اولیه، رشد و عملکرد زیست‌توده در هر دو شرایط آبی و دیم بهتر از سایر محصولات عمل می‌کند (Angelini *et al.*, 2009; Mantineo *et al.*, 2009) اما این نکته حائز اهمیت است که مقاومت این گیاه نسبت به تنش‌های محیطی را نباید به منظور عدم کاهش شاخص‌های رشد دانست و طبیعتاً گیاهان هر چقدر که به

براساس نتایج حاصل از جدول ۲ زیست‌توده اندام هوایی، زیست‌توده اندام زیرزمینی، ارتفاع گیاه، قطر ساقه و شاخص سطح برگ باز افزایش میزان تنش شوری و خشکی نسبت به شرایط بدون تنش کاهش پیدا کرد. تأثیر تنش شوری بر کاهش شاخص‌های اندازه‌گیری شده کمتر از تنش خشکی بود به‌نحوی که اختلاف بین سطوح تنش شوری در سطوح مختلف تنش خشکی در همه شاخص‌های اندازه‌گیری شده به جز زیست‌توده اندام هوایی اختلاف ناچیزی با یکدیگر داشتند ولی در مقایسه اثر تنش خشکی در سطوح مختلف سطح با یکدیگر به این نتیجه می‌رسیم که تنش خشکی به

می‌دهد. با توجه به این شکل زیست‌توده اندام هوایی نی قمیش در طول زمان در سطوح مختلف تنش شوری و خشکی افزایش پیدا می‌کند و زیست‌توده اندام هوایی از کمتر از ۳۰۰ گرم در ابتدای فصل رشد در همه سطوح تنش به بیش از ۱۰۰۰ تا ۲۵۰۰ گرم در پایان فصل رشد در سطوح مختلف تنش می‌رسد.



شکل ۱- تأثیر سطوح مختلف شوری و خشکی بر زیست توده اندام هوایی نی قمیش در طول فصل رشد

Figure 1- The effect of different levels of salinity and dryness on the shoot biomass of *A. donax* during the growing season

گرم ایجاد شد و با افزایش سطوح تنش شوری و خشکی این مقدار کاهش پیدا می‌کند به نحوی که کمترین مقدار زیست‌توده در شرایط تنش خشکی و شوری حداکثری به میزان ۹۸۸ گرم حاصل شد. اختلاف سطوح تنش شوری با یکدیگر در هر سه سطح تنش خشکی بر حداکثر میزان زیست‌توده تولیدی معنی‌دار بود که نشان می‌دهد نی قمیش نسبت به تنش شوری حساسیت دارد و وجود این تنش می‌تواند منجر به کاهش زیست‌توده اندام هوایی آن گردد. اثر سطوح تنش خشکی در هر ۴ سطح تنش شوری نیز منجر به اختلاف معنی‌دار در زیست‌توده تولیدی گیاه گردید اما اختلاف بین سطح آبیاری ۱۰۰٪ (I₁) و ۷۵٪ (I₂) ظرفیت زراعی مقدار کمتری را داشت ولی در سطح خشکی ۵۰٪ (I₃) ظرفیت زراعی این اختلاف شدیدتر شد که این امر نشان می‌دهد که نی قمیش تا حدی به تنش خشکی مقاومت نشان می‌دهد اما با افزایش تنش خشکی این مقاومت شکسته شده و زیست‌توده گیاه تحت تأثیر تنش قرار می‌گیرد.

تنش‌های محیطی مقاوم باشند اما وجود تنش می‌تواند شاخص‌های رشد و توسعه آنها را هرچقدر اندک کاهش دهد (Zub and Brancourt-Hulmel, 2010).

شکل ۱ اثر تنش شوری در ۴ سطح و تنش خشکی در ۳ سطح را بر زیست‌توده اندام هوایی نی قمیش در طول فصل رشد نشان

باتوجه به شکل ۱ اختلاف زیست‌توده اندام هوایی نی قمیش در سطوح مختلف تنش در ابتدای فصل رشد تا حدود ۵۰ روز پس از کاشت ناچیز و غیر معنی‌دار بود و پس از آن تأثیر تنش‌های اعمال شده منجر به اختلاف معنی‌دار در سطوح تنش خشکی شد. ریزوم‌های نی قمیش تحت شرایط تنش خشکی تا مدتی زنده باقی ماندند اما به نظر نمی‌رسد که گیاهان حاصل از این ریزوم‌ها عملکرد خوبی را داشته باشند زیرا که نتایج آزمایش مقایسه عملکرد و رشد ریزوم‌های تحت شرایط غرقاب و بدون استرس با این ریزوم‌ها همگی نشان از برتری محسوس ریزوم‌های حاصل از شرایط نرمال و غرقابی گیاه نی قمیش بود (Angelini et al., 2009).

اثر تنش شوری در تیمار شاهد (بدون شوری) با سطح شوری ۴ دسی‌زیمنس در سطوح مختلف خشکی اختلاف معنی‌داری را نشان نداد اما در سطوح بیشتر تنش شوری این اختلاف معنی‌دار گردید، به عبارتی می‌توان این طور بیان کرد که تحمل نی قمیش نسبت به تنش شوری بیش از تنش خشکی است.

پارامترهای حاصل از تأثیر تنش‌های شوری و خشکی بر وزن خشک اندام هوایی نی قمیش (جدول ۳) نشان داد که حداکثر میزان زیست‌توده اندام هوایی در شرایط بدون تنش (شاهد) به میزان ۲۸۴۰

جدول ۳- پارامترهای تأثیر سطوح مختلف شوری و خشکی بر وزن خشک اندام هوایی گیاه قمیش بر اساس مدل لجستیک سه پارامتری در شرایط آب و هوایی شهر مشهد

Table 3- The parameters of the influence of different levels of salinity and dryness on the dry weight shoot of *A. donax* on the three-parameter logistic model in the climatic conditions of Mashhad city

سطح خشکی Drought level (MPa)	سطح شوری Salinity level (dS.m)	A* (gr)	X ₀ ** (Dey)	B***	R ² _{adj}	RMSE
I ₁	S ₁	2840 (1) ^a	62 (0.8) ^b	1.34	0.97	1.48
I ₁	S ₂	2784 (2) ^{ab}	61 (0.6) ^{bc}	1.36	0.97	1.37
I ₁	S ₃	2636 (4) ^b	62 (0.5) ^b	1.37	0.96	1.36
I ₁	S ₄	2418 (4) ^c	61 (0.3) ^{bc}	1.32	0.96	1.35
I ₂	S ₁	2416 (3) ^c	64 (0.3) ^b	1.30	0.94	1.29
I ₂	S ₂	2363 (1) ^{cd}	62 (0.4) ^b	1.32	0.95	1.28
I ₂	S ₃	2241 (1) ^d	63 (0.8) ^b	1.33	0.95	1.26
I ₂	S ₄	2032 (2) ^e	65 (0.6) ^{ab}	1.34	0.96	1.19
I ₃	S ₁	1317 (4) ^{gh}	67 (0.5) ^{ab}	0.65	0.96	1.17
I ₃	S ₂	1259 (4) ^h	70 (0.3) ^a	0.69	0.96	1.15
I ₃	S ₃	1178 (3) ^{hi}	72 (0.3) ^a	0.67	0.96	1.08
I ₃	S ₄	988 (1) ^{ij}	73 (0.4) ^a	0.68	0.95	1.07

*: حداکثر میزان زیست‌توده **: زمان رسیدن به ۵۰٪ زیست‌توده ***: شیب منحنی

میانگین‌های درون هر ستون که حروف متفاوت دارند، بر اساس آزمون FLSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری دارند. داده‌های داخل پرانتز خطای معیار میانگین می‌باشد.

***: maximum amount of biomass **: time to reach 50% of biomass ***: slope of the curve

The means within the column followed by different letters differ significantly at $p \leq 0.05$ level (FLSD test). The values in parenthesis are standard error of the means.

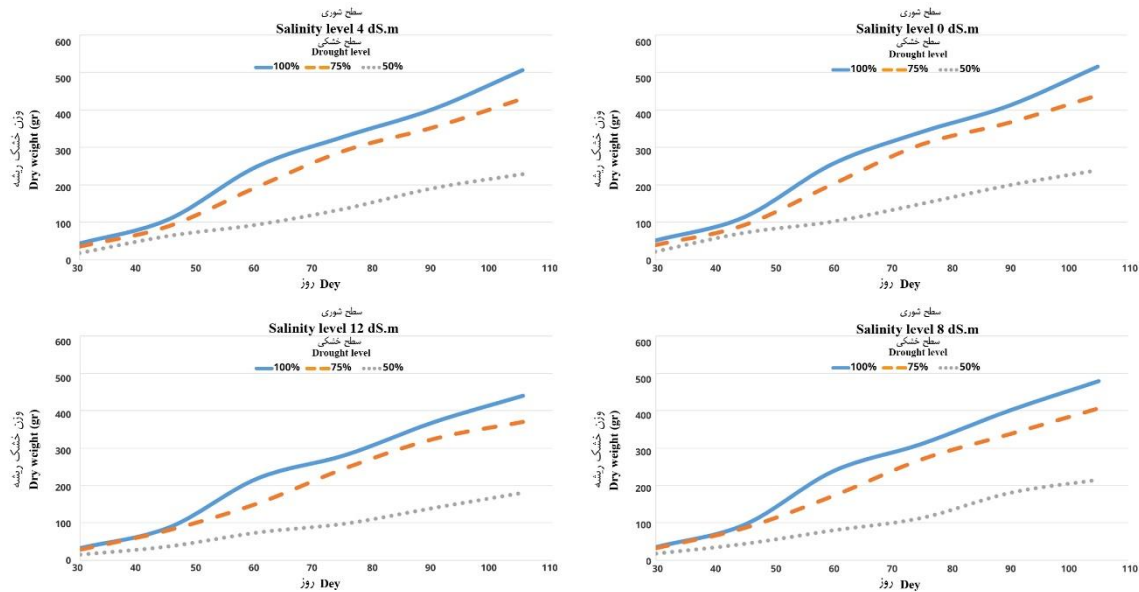
اختلاف بین سطح خشکی ۵۰٪ ظرفیت زراعی با سایر سطوح معنی‌دار بود که نشان‌دهنده آن است که گیاه نی قمیش در مراحل اولیه تنش خشکی با آن مقابله می‌کند اما تنش بیش از حد خشکی منجر به شکسته شدن مقاومت این گیاه شده و زیست‌توده آن کاهش پیدا می‌کند. شیب منحنی نیز (پارامتر B) حاکی از این مسئله می‌باشد که نی قمیش تحمل نسبی به تنش جزئی خشکی دارد و در تنش خشکی شدید شیب منحنی زیست‌توده افزایش تدریجی را در طول فصل رشد نشان می‌دهد.

تأثیر تنش‌های شوری و خشکی بر زیست توده اندام‌های زیرزمینی گیاه نی قمیش در طول فصل رشد (شکل ۲) نشان می‌دهد که افزایش تنش‌های شوری و خشکی منجر به کاهش زیست‌توده اندام زیرزمینی می‌شود به نحوی که حداکثر زیست‌توده تولیدی در هر یک از تیمارها، اختلاف معنی‌داری را با تیمار شاهد داشتند. زیست‌توده اندام زیرزمینی نی قمیش نیز در همه سطوح تنش در ابتدای فصل رشد تا حدود ۴۵ روز پس از کاشت اختلاف معنی‌داری را نسبت به یکدیگر نشان ندادند اما پس از این زمان روند افزایش زیست‌توده در هر یک از تیمارها تغییر پیدا کرد و اختلاف معنی‌داری را در پایان فصل رشد نسبت به یکدیگر داشتند. همین شرایط در زیست‌توده اندام هوایی پس از ۵۰ روز از کاشت اتفاق افتاد که این اختلاف چند روزه نشان می‌دهد اندام زیرزمینی نی قمیش سریعتر از اندام هوایی آن به تنش‌ها واکنش نشان می‌دهد و رشد آن تحت تأثیر قرار می‌گیرد.

دانشمندان در تحقیقات خود عنوان کردند که کاهش فتوسنتز پاسخ اولیه گیاهانی است که در اثر تنش خشکی به چالش کشیده شده‌اند (Munns, 2002; Lawlor and Cornic, 2002)؛ در نتیجه محدودیت‌های انتشاری و متابولیکی (Signarbieux and Feller, 2011 Centritto et al., 2003; Cornic, 2000)؛ کاهش رسانایی روزنه‌ی (gs) و مزوفیل (gm) به CO₂ عمدتاً فتوسنتز را در مراحل اولیه خشکسالی محدود می‌کند، زیرا در دسترس بودن CO₂ در سایت‌های باعث می‌شود تا روبیسکو کاهش یابد (Loreto and Flexas et al., 2004; Fineschi, 2015).

تنش خشکی و اختلالات متابولیکی به تدریج در محدود کردن فتوسنتز مرتبط تر می‌شوند (Long and Bernacchi, 2003)؛ (Chaves et al., 2011)، در شرایط خشکسالی شدید، نرخ انتقال الکترون ممکن است تا حد زیادی از تقاضای چرخه کالوین فراتر رود، و عرضه بیش از حد الکترون‌های برانگیخته، گونه‌های اکسیژن فعال (ROS) را با سرعت زیاد تولید می‌کند، بنابراین گیاهان را در معرض استرس اکسیداتیو نور قرار می‌دهد و زیست‌توده آنها را تا حد زیادی کاهش خواهد داد (Hernández et al., Silva et al., 2010)؛ (2012).

پارامتر X₀ یا زمان رسیدن به ۵۰٪ زیست‌توده نشان داد که اختلاف بین سطوح مختلف شوری معنی‌دار نبود و در مورد تنش خشکی نیز همین شرایط در سطوح تنش جزئی وجود داشت، اما



شکل ۲- تأثیر سطوح مختلف شوری و خشکی بر زیست توده اندام زیرزمینی نی قمیش در طول فصل رشد
 Figure 2- The effect of different levels of salinity and dryness on the root biomass of *A. donax* during the growing season

جدول ۴- پارامترهای تأثیر سطوح مختلف شوری و خشکی بر وزن خشک اندام زیرزمینی گیاه قمیش بر اساس مدل لجستیک سه پارامتری در شرایط آب و هوایی شهر مشهد

Table 4- The parameters of the influence of different levels of salinity and dryness on the dry weight root of *A. donax* on the three-parameter logistic model in the climatic conditions of Mashhad city

سطح خشکی Drought level (MPa)	سطح شوری Salinity level (dS.m)	A* (gr)	X ₀ ** (Dey)	B***	R ² _{adj}	RMSE
I ₁	S ₁	516 (1) ^a	60 (0.8) ^{bc}	1.46	0.98	1.58
I ₁	S ₂	506 (2) ^a	61 (0.6) ^{bc}	1.38	0.98	1.07
I ₁	S ₃	479 (4) ^{ab}	60 (0.5) ^{bc}	1.27	0.97	1.36
I ₁	S ₄	440 (4) ^b	61 (0.3) ^{bc}	1.22	0.97	1.45
I ₂	S ₁	439 (3) ^b	63 (0.3) ^b	1.35	0.96	0.99
I ₂	S ₂	430 (1) ^{bc}	64 (0.4) ^b	1.32	0.97	0.84
I ₂	S ₃	407 (1) ^c	65 (0.8) ^{ab}	1.30	0.95	0.67
I ₂	S ₄	370 (2) ^{cd}	65 (0.6) ^{ab}	1.27	0.96	0.93
I ₃	S ₁	239 (4) ^e	68 (0.5) ^{ab}	0.61	0.97	0.71
I ₃	S ₂	229 (4) ^{gh}	68 (0.3) ^{ab}	0.59	0.96	0.58
I ₃	S ₃	215 (3) ^h	73 (0.3) ^a	0.57	0.98	0.88
I ₃	S ₄	180 (1) ⁱ	74 (0.4) ^a	0.58	0.97	0.76

*: حداکثر میزان زیست‌توده **: زمان رسیدن به ۵۰٪ زیست‌توده ***: شیب منحنی

میانگین‌های درون هر ستون که حروف متفاوت دارند، بر اساس آزمون FLSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری دارند. داده‌های داخل پرانتز خطای معیار میانگین می‌باشد.

*: maximum amount of biomass **: time to reach 50% of biomass ***: slope of the curve

The means within the column followed by different letters differ significantly at $p \leq 0.05$ level (FLSD test). The values in parenthesis are standard error of the means.

اختلاف معنی‌دار گردید اما در مقایسه سطوح مختلف تنش خشکی با تیمار شاهد اختلافات معنی‌دار بود و این امر در تنش خشکی شدید (I₃) مشهودتر بود.

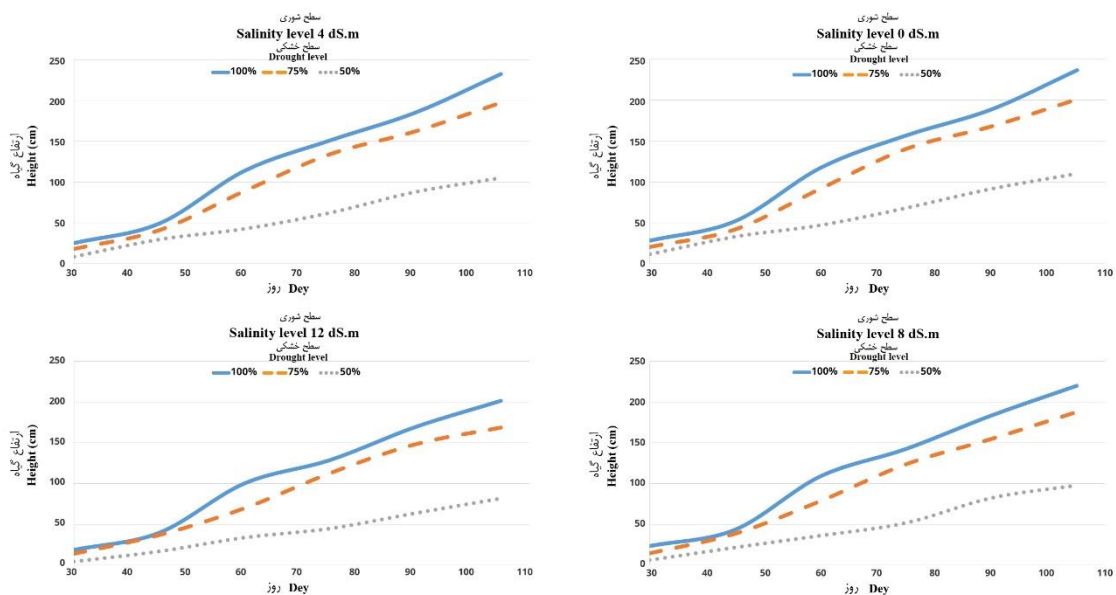
پارامترهای تأثیر سطوح مختلف شوری و خشکی نیز بر وزن خشک اندام زیرزمینی (جدول ۴) نشان داد اختلاف بین سطوح مختلف شوری در هر سه سطح تنش خشکی کم بود و گاهی این

تابستان در برابر استقرار نی قمیش مقاومت نمایند اما پتانسیل رشد سریع و تحمل این گیاه به تنش‌های محیطی مختلف در سایر فصول می‌تواند منجر به تهاجم‌پذیری آن گردد. وی همچنین اظهار کرد که کمبود رطوبت خاک نه تنها عاملی برای نفوذناپذیری نی قمیش در زیستگاه‌ها نمی‌شود بلکه می‌تواند با تغییرات ژنتیکی و جهش منجر به تولید ژنوتیپ‌هایی با تحمل بالا به تنش گردد و موجب استقرار در این زیستگاه‌ها شود که در نهایت ممکن است باعث شود که این گیاه در اکوسیستم جدید طغیان کند. نی قمیش مادری با استفاده از آبیاری تکمیلی در طول زمان استقرار در مناطقی با خاک‌های آبرفتی می‌تواند ریشه‌هایی تا عمق ۳ متر نیز تولید کند که همین امر موجب می‌شود که حتی در فصل تابستان و در شرایط عدم حضور آب زنده بماند و دچار تنش نگردد (Mann et al., 2013).

تأثیر تنش‌های شوری و خشکی بر ارتفاع نی قمیش در طول فصل رشد (شکل ۳) نشان داد که این تنش‌های می‌تواند منجر به کاهش ارتفاع گیاه گردد. کاهش زیست‌توده اندام هوایی نی قمیش تحت تأثیر تنش با توجه به اینکه این گیاه جزء گیاهان باریک برگ محسوب می‌شود و سطح برگ زیادی را در مقایسه با سایر گیاهان ندارد، حکایت از کاهش ارتفاع گیاه و وزن ساقه در شرایط تنش شدید شوری و خشکی است.

حداکثر زیست‌توده تولیدشده، زمان رسیدن به ۵۰٪ تولید زیست‌توده و شیب منحنی نمودار همگی نشان از تأثیر تنش شدید شوری و خشکی بر رشد و توسعه گیاه نی قمیش دارد و تنش‌های شدید شوری و خشکی منجر به کاهش پارمترهای اندازه‌گیری شده گردید. حداکثر زیست‌توده اندام زیرزمینی در تیمار شاهد اختلاف ۲۸۰٪ را نسبت به تنش شدید شوری و خشکی داشت. اختلاف بین سطوح تنش شوری در حداکثر زیست‌توده اندام زیرزمینی تولید شده در سطح خشکی I₁ و I₂ تقریباً ۲۰٪ بود اما در سطح تنش خشکی I₃ این اختلاف به ۳۰٪ افزایش پیدا کرد.

زمان رسیدن به ۵۰٪ حداکثر زیست‌توده تولید شده و شیب نمودار نیز در تنش شدید خشکی نسبت به سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری داشت و نشان داد که اندام زیرزمینی نی قمیش در شرایط وجود تنش شدید با رشد کندی مواجه می‌شود اما رشد آنها حتی در این شرایط نیز متوقف نمی‌شود که همین امر نشان می‌دهد که این گیاه به تنش‌های شوری و خشکی واکنش نشان می‌دهد و سعی در آن دارد تا با رشد هر چند حداقلی با این شرایط مقابله نماید تا به شرایط مساعد برسد که همین مسئله می‌تواند به خاصیت تهاجم‌پذیری این گیاه بیافزاید. گوردن و همکاران (Gordon et al., 2011) در مطالعات خود روی ماندگاری ریزوم نی قمیش در شرایط محیطی مختلف به این نتیجه رسیدند که اکوسیستم‌های خشک با رطوبت کم ممکن است در فصل



شکل ۳- تأثیر سطوح مختلف شوری و خشکی بر ارتفاع نی قمیش در طول فصل رشد

Figure 3: The effect of different levels of salinity and dryness on the height of *A. donax* during the growing season

وقتی این گیاه در معرض تنش قرار می‌گیرد تا حد زیادی ارتفاع خود را از دست می‌دهد یا به عبارتی رشد اندام هوایی آن کاهش پیدا

پارامتر حداکثر ارتفاع تشکیل شده در نی قمیش در تیمارهای مختلف و در سطوح مختلف تنش (جدول ۵) نشان‌دهنده آن است که

پتانسیل رشد این گیاه، رشد و توسعه آن در شرایط آب و هوایی شهر مشهد حتی در شرایط نرمال نیز نسبت به سایر مناطق کاهش داشته است و طبیعتاً این شرایط آب و هوایی نتوانسته است محیط مناسبی برای رشد این گیاه را فراهم کند.

می‌کند و به تبع آن ارتفاع گیاه در این شرایط نسبت به شرایط بدون تنش اختلاف زیادی را نشان می‌دهد. نکته قابل تأمل دیگر اینکه حداکثر ارتفاع تشکیل شده در شرایط بدون تنش در شرایط آب و هوایی شهر مشهد ۲۳۷ سانتی‌متر بود که در مقایسه با میانگین ارتفاع این گیاه در شرایط آب و هوایی شمال ایران (۳۵۰ سانتی‌متر) و

جدول ۵- پارامترهای تأثیر سطوح مختلف شوری و خشکی بر ارتفاع گیاه قمیش بر اساس مدل لجستیک سه پارامتری در شرایط آب و هوایی شهر مشهد

Table 5- The parameters of the influence of different levels of salinity and dryness on the height of *A. donax* on the three-parameter logistic model in the climatic conditions of Mashhad city

سطح خشکی Drought level (MPa)	سطح شوری Salinity level (dS.m)	A* (cm)	X ₀ ** (Dey)	B***	R ² _{adj}	RMSE
I ₁	S ₁	237 (1) ^a	61 (0.8) ^{bc}	1.64	0.94	1.38
I ₁	S ₂	232 (2) ^a	61 (0.6) ^{bc}	1.58	0.94	1.07
I ₁	S ₃	220 (4) ^{ab}	61 (0.5) ^{bc}	1.67	0.93	1.16
I ₁	S ₄	202 (4) ^b	60 (0.3) ^{bc}	1.62	0.94	1.25
I ₂	S ₁	200 (3) ^b	63 (0.3) ^b	1.53	0.92	0.89
I ₂	S ₂	197 (1) ^b	63 (0.4) ^a	1.43	0.93	0.74
I ₂	S ₃	188 (1) ^{bc}	64 (0.8) ^b	1.43	0.92	0.67
I ₂	S ₄	169 (2) ^c	65 (0.6) ^b	1.37	0.91	0.73
I ₃	S ₁	110 (4) ^f	68 (0.5) ^{ab}	0.83	0.92	0.61
I ₃	S ₂	105 (4) ^{fg}	67 (0.3) ^{ab}	0.79	0.92	0.58
I ₃	S ₃	98 (3) ^g	72 (0.3) ^a	0.75	0.94	0.68
I ₃	S ₄	82 (1) ^{gh}	75 (0.4) ^a	0.78	0.94	0.66

*: حداکثر میزان ارتفاع ** : زمان رسیدن به ۵۰٪ ارتفاع ***: شیب منحنی

میانگین‌های درون هر ستون که حروف متفاوت دارند، بر اساس آزمون FLSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری دارند. داده‌های داخل پرانتز خطای معیار میانگین می‌باشد.

***: slope of the curve ** : time to reach 50% of height *: maximum amount of height

The means within the column followed by different letters differ significantly at $p \leq 0.05$ level (FLSD test). The values in parenthesis are standard error of the means.

متحمل به تنش و یا سازگار با شرایط آب و هوایی جدید نماید. پارامترهای حاصل از اثر تنش‌های شوری و خشکی بر قطر ساقه نی قمیش (جدول ۶) نشان داد که این گیاه در تنش‌های جزئی خشکی تا حدی مقاومت نشان داده و قطر ساقه آن کاهش پیدا نمی‌کند، اما در تنش شدید خشکی این مقدار کاهش پیدا کرد به نحوی که حداکثر قطر ساقه در شرایط تنش سطح شوری S₁ در سطوح مختلف تنش خشکی (I₁ و I₂ و I₃) به ترتیب برابر ۳۶، ۳۳ و ۲۴ میلی‌متر بود. نتایج تحقیقات نیز نشان می‌دهد که گیاه نی قمیش تحت شرایط تنش خشکی قطر ساقه آن کاهش پیدا می‌کند و همین دلیل باعث کاهش زیست‌توده اندام‌هایی و ارتفاع گیاه می‌گردد (Pilu *et al.*, 2014). والی و همکاران (Valli *et al.*, 2017) عنوان کردند که گیاه نی قمیش تحت تنش خشکی در مقابل اکوتیپ‌های موجود در جنگل‌های توسکانی قطر آوند چوبی کمتری داشت که همین امر موجب کاهش هدایت هیدرولیکی و به طور بالقوه مقاومت به آمبولیسم آوند چوبی در طول دوره تنش خشکی بود که ناشی از افزایش نرخ تبخیر و تعرق می‌باشد.

تحقیقات نشان می‌دهد نی قمیش اغلب در مجاورت رودخانه‌ها و مکان‌هایی که خاک‌هایی با قابلیت دسترسی بالا به آب رشد می‌کند و همین موجب می‌شود که این گونه گیاهان در معرض تنش‌های خشکی بیشتر آسیب ببینند و در شرایط آب و هوایی که میزان در دسترس بودن آب محدودتر است و شرایط غرقاب وجود ندارد منجر به کاهش رشد آنان گردد (Watts and Moore, Danin, 2004). نی قمیش در زمین‌های حاشیه‌ای که مستعد خشکسالی هستند با موفقیت رشد می‌کند، اما این گونه‌ها یا واریته‌ها نرخ فتوسنتز (PN) و هدایت روزنه‌ای (Gs) کمتری را نسبت به هم‌تایان خود که در شرایط بهینه رشد کرده‌اند دارند (Lauteri *et al.*, 2014). همچنین پارامترهای مورفولوژیکی ساقه به عنوان صفات ارثی در *A. donax* ممکن است توسعه واریته‌های *A. donax* را بر اساس عملکرد و ویژگی‌های تحمل به خشکی امکان‌پذیر کند (Haworth *et al.*, 2017) به عبارت دیگر اثر تنش‌های محیطی بر رشد و توسعه ساقه و اندام زیرزمینی نی قمیش که قابلیت تکثیر دارند می‌تواند بر روی نسل بعدی این گیاه که حاصل از ریزوم‌ها و ساقه‌های تکثیر شده گیاه مادری تحت تیمار تنش بوده است اثر گذاشته و نسلی بعدی را

جدول ۶- پارامترهای تأثیر سطوح مختلف شوری و خشکی بر قطر ساقه گیاه قمیش بر اساس مدل لجستیک سه پارامتری در شرایط آب و هوایی شهر مشهد

Table 6- The parameters of the influence of different levels of salinity and dryness on the stem diameter of *A. donax* on the three-parameter logistic model in the climatic conditions of Mashhad city

سطح خشکی Drought level (MPa)	سطح شوری Salinity level (dS.m)	A* (mm)	X ₀ ** (Dey)	B***	R ² _{adj}	RMSE
I ₁	S ₁	36 (1) ^a	61 (0.8) ^a	1.56	0.96	1.62
I ₁	S ₂	34 (2) ^a	61 (0.6) ^a	1.48	0.96	1.57
I ₁	S ₃	32 (4) ^{ab}	60 (0.5) ^a	1.37	0.95	1.56
I ₁	S ₄	29 (4) ^{ab}	60 (0.3) ^a	1.32	0.94	1.55
I ₂	S ₁	33 (3) ^a	59 (0.3) ^{ab}	1.45	0.93	1.49
I ₂	S ₂	31 (1) ^{ab}	61 (0.4) ^a	1.42	0.96	1.48
I ₂	S ₃	29 (1) ^{ab}	60 (0.8) ^a	1.41	0.96	1.46
I ₂	S ₄	23 (2) ^{bc}	60 (0.6) ^a	1.37	0.96	1.39
I ₃	S ₁	24 (4) ^{bc}	48 (0.5) ^{ab}	1.41	0.93	1.27
I ₃	S ₂	22 (4) ^c	45 (0.3) ^b	1.29	0.94	1.22
I ₃	S ₃	19 (3) ^c	46 (0.3) ^b	1.08	0.96	1.18
I ₃	S ₄	14 (1) ^d	46 (0.4) ^b	0.68	0.93	1.16

*: حداکثر قطر ساقه ** : زمان رسیدن به ۵۰٪ قطر ساقه ***: شیب منحنی

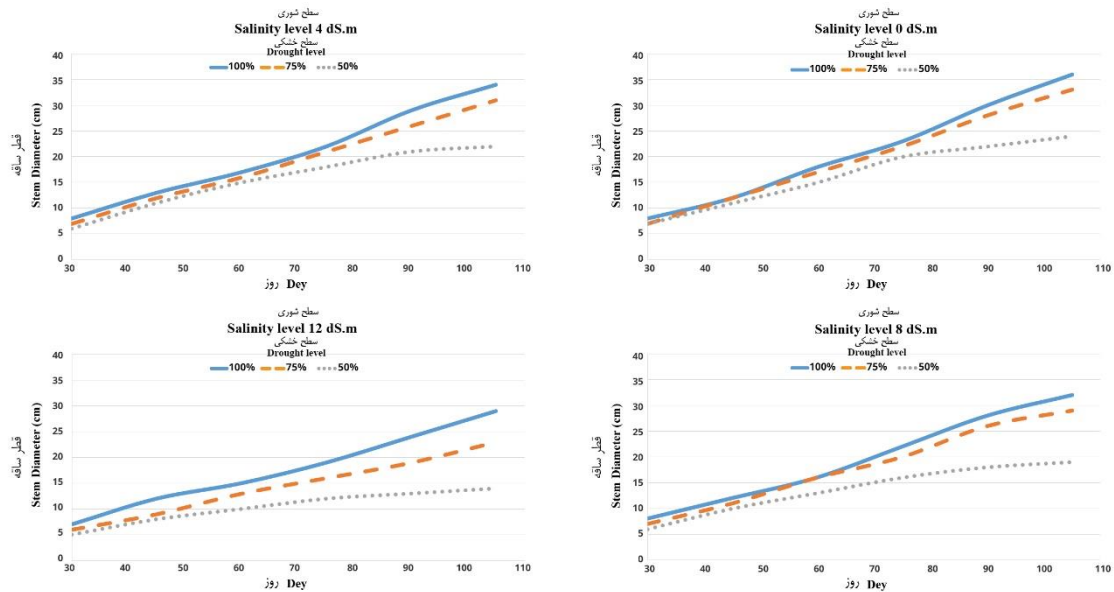
میانگین‌های درون هر ستون که حروف متفاوت دارند، بر اساس آزمون FLSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری دارند. داده‌های داخل پرانتز خطای معیار میانگین می‌باشد.

*: maximum amount of stem diameter ** : time to reach 50% of stem diameter ***: slope of the curve

The means within the column followed by different letters differ significantly at $p \leq 0.05$ level (FLSD test). The values in parenthesis are standard error of the means.

تا حد زیادی متوقف می‌شود. پارامترهای حاصل از تأثیر تنش‌های شوری و خشکی بر شاخص سطح برگ نی قمیش (جدول ۷) نشان داد که LAI ایجاد شده توسط این گیاه تحت تأثیر تنش شوری قرار نمی‌گیرد به طوری که حداکثر مقدار LAI ایجاد شده در سطوح مختلف تنش شوری در هر یک از تیمارهای تنش خشکی اختلاف معنی‌داری را نسبت به یکدیگر نشان ندادند و فقط در شرایط تنش شدید خشکی این مقدار معنی‌دار بود. به عبارتی تنش شوری تأثیر چندانی بر کاهش شاخص سطح برگ نی قمیش ایجاد نمی‌کند و این گیاه در شرایط تنش شوری با حفظ سطح برگ خود سعی بر افزایش فتوسنتز و تولید انرژی برای عبور از این شرایط دارد. نمودار تأثیر سطوح مختلف شوری و خشکی بر شاخص سطح برگ نی قمیش در طول فصل رشد (شکل ۵) نشان می‌دهد که شیب افزایش سطح برگ این گیاه در سطوح مختلف تنش شوری و خشکی در طول فصل رشد روند یکسانی را دارد و این شاخص گیاه نسبت به دیگر شاخص‌های اندازه‌گیری شده کمتر تحت استرس شوری و خشکی قرار می‌گیرد.

زمان رسیدن به ۵۰٪ حداکثر قطر ساقه نی قمیش بر خلاف سایر پارامترهای اندازه‌گیری شده که در آن نی قمیش تحت تأثیر تنش‌های شدید شوری و خشکی مقدار آن افزایش پیدا می‌کرد، در این شاخص مقدار X₀ در تنش‌های شدید شوری و خشکی کاهش پیدا کرد؛ به عبارتی نی قمیش در شرایط تنش شدید خشکی و شوری خیلی سریعتر به ۵۰٪ حداکثر قطر ساقه دست پیدا کرد و این نشان می‌دهد که قطر ساقه گیاه اولین شاخصه‌ای می‌باشد که نسبت به تنش‌های محیطی واکنش نشان می‌دهد و از همان ابتدای فصل و زمانی که تحت تنش قرار می‌گیرد دچار تغییر می‌شود. نمودار افزایش قطر ساقه نی قمیش در طول فصل رشد (شکل ۴) نیز نشانگر این موضوع است که تا حدود ۵۰ روز پس از کاشت قطر ساقه نی قمیش در تمامی شرایط تنش روند یکسان و سرعت رشد زیادی را دارد و پس از آن در شرایط تنش شدید شوری و خشکی این روند کاهش پیدا می‌کند. شیب نمودار B در شاخص قطر ساقه نی قمیش در طول فصل رشد نیز حکایت از آن دارد که قطر ساقه این گیاه در شرایط تنش شدید خشکی در ابتدای فصل رشد و تا حدود ۵۰ روز پس از کاشت با سرعت بیشتری افزایش پیدا می‌کند و پس از آن این روند ثابت می‌شود. در نهایت می‌توان این طور بیان کرد که نی قمیش در ابتدای فصل رشد بیشترین تمرکز خود را بر روی افزایش قطر ساقه به عنوان عضو اصلی این گیاه دارد و در زمان ظهور تنش‌های محیطی این رشد



شکل ۴- تأثیر سطوح مختلف شوری و خشکی بر قطر ساقه نی قمیش در طول فصل رشد

Figure 4- The effect of different levels of salinity and dryness on the stem diameter of *A. donax* during the growing season

جدول ۷- پارامترهای تأثیر سطوح مختلف شوری و خشکی بر شاخص سطح برگ گیاه قمیش بر اساس مدل لجستیک سه پارامتری در شرایط آب و هوایی شهر مشهد

Table 7- The parameters of the influence of different levels of salinity and dryness on the leaf area index of *A. donax* on the three-parameter logistic model in the climatic conditions of Mashhad city

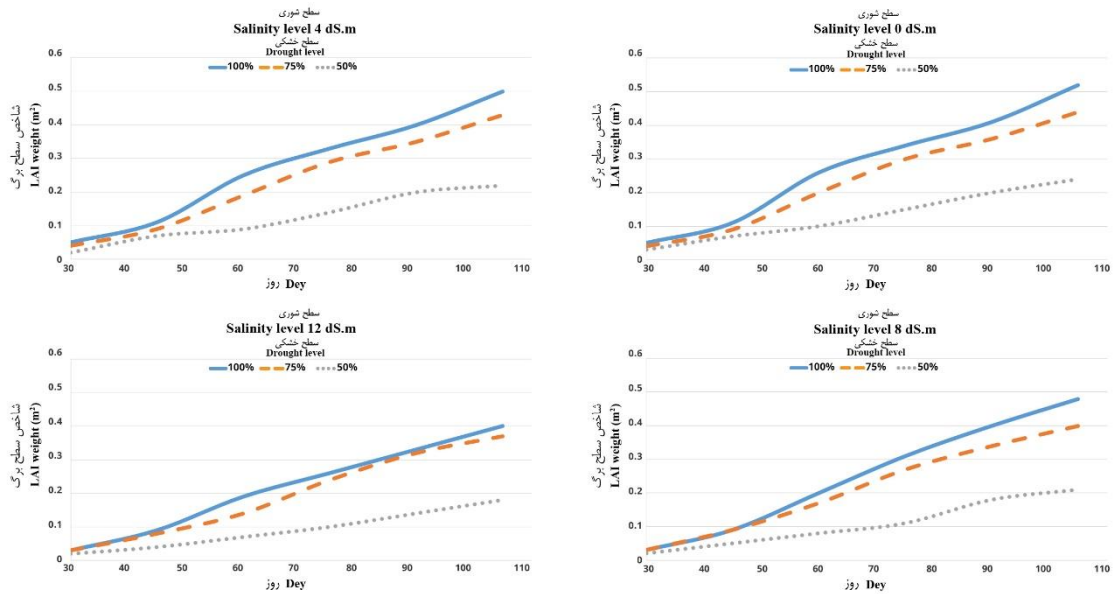
سطح خشکی Drought level (MPa)	سطح شوری Salinity level (dS.m)	A* (m ²)	X ₀ ** (Dey)	B***	R ² _{adj}	RMSE
I ₁	S ₁	0.52 (1) ^a	60 (0.8) ^b	1.44	0.96	1.58
I ₁	S ₂	0.5 (2) ^a	60 (0.6) ^b	1.36	0.93	1.47
I ₁	S ₃	0.48 (4) ^{ab}	64 (0.5) ^{ab}	1.35	0.94	1.36
I ₁	S ₄	0.4 (4) ^b	61 (0.3) ^b	1.30	0.93	1.45
I ₂	S ₁	0.44 (3) ^{ab}	62 (0.3) ^b	1.33	0.93	1.09
I ₂	S ₂	0.43 (1) ^{ab}	62 (0.4) ^b	1.29	0.94	1.08
I ₂	S ₃	0.4 (1) ^b	64 (0.8) ^{ab}	1.28	0.91	1.06
I ₂	S ₄	0.37 (2) ^{bc}	65 (0.6) ^{ab}	1.25	0.93	1.03
I ₃	S ₁	0.24 (4) ^d	62 (0.5) ^b	1.19	0.94	0.87
I ₃	S ₂	0.22 (4) ^d	63 (0.3) ^{ab}	1.17	0.92	0.85
I ₃	S ₃	0.21 (3) ^{de}	69 (0.3) ^a	1.18	0.91	0.88
I ₃	S ₄	0.18 (1) ^e	71 (0.4) ^a	1.15	0.90	0.76

*: حداکثر شاخص سطح برگ ** : زمان رسیدن به ۵۰٪ شاخص سطح برگ ***: شیب منحنی

میانگین‌های درون هر ستون که حروف متفاوت دارند، بر اساس آزمون FLSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری دارند. داده‌های داخل پرانتز خطای معیار میانگین می‌باشد.

***: slope of the curve ** : time to reach 50% of LAI *: maximum amount of LAI

The means within the column followed by different letters differ significantly at $p \leq 0.05$ level (FLSD test). The values in parenthesis are standard error of the means.



شکل ۵- تأثیر سطوح مختلف شوری و خشکی بر شاخص سطح برگ نی قمیش در طول فصل رشد

Figure 5- The effect of different levels of salinity and dryness on the leaf area index of *A. donax* during the growing season

Decruyenaere and Holt, and Brancourt-Hulmel, 2010 (2005).

این گیاه در خاک‌هایی با زهکشی خوب که رطوبت فراوان در دسترس است، بهترین رشد را دارد و می‌تواند از لبه آب به سمت سواحل و بسیار فراتر از منطقه‌ای که قبلاً توسط پوشش گیاهان چوبی ساحلی اشغال شده بود گسترش یابد (Springer, 2005). همچنین مشاهده شد که قمیش بیشتر در جاهایی که سطح آب نزدیک به سطح خاک یا در نزدیکی آن قرار دارد، به خوبی رشد می‌کند که شاید علت آن حساسیت این گیاه به تنش خشکی باشد و از طرفی کلونی‌های کوچک این گیاه می‌توانند شوری بیش‌ازحد را تحمل کنند اما در شرایط حضور گسترده آن‌ها در یک منطقه میزان تحمل به شوری در آنان کاهش پیدا می‌کند (Zuniga et al., 1983). با این حال استقرار این گیاه در مناطق خشک و آبرفتی مرکز کالیفرنیا تحت شرایط تنش خشکی نشان‌دهنده سازگاری این گیاه با این شرایط پس از استقرار است و این موضوع احتمال تحمل به سایر تنش‌ها را در این گیاه پس از استقرار در مکان جدید افزایش می‌دهد (Angelini et al., 2009).

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از کشت ریزوم قمیش در شرایط آب و هوایی شهر مشهد تحت تنش‌های شوری و خشکی نشان داد که رشد و توسعه این گیاه به شدت تحت تأثیر تنش‌های وارده قرار گرفت و افزایش میزان تنش منجر به کاهش در شاخص‌های رشد گردید. میزان زیست‌توده اندام هوایی و زیرزمینی تولید شده توسط این گیاه و همچنین ارتفاع و قطر ساقه نشان داد که تنش خشکی بیشتر از تنش شوری می‌تواند این پارمترها را تحت تأثیر قرار دهد، به عبارتی این گیاه به تنش خشکی حساسیت بالاتری دارد و تا حدودی به تنش شوری مقاوم است و شاید به همین علت است که فراوانی این گیاه در نواحی شمالی ایران بیشتر از سایر مناطق می‌باشد. نتایج تحقیقات مان و همکاران (Mann et al., 2013)، نشان می‌دهد که نی قمیش تحت خشکسالی شدید کمترین میزان بقا را نشان می‌دهد و ریزوم‌های این گیاه تحت این شرایط کمترین میزان رویش را نسبت به گیاهان شاهد مستقر در تالاب‌ها و حاشیه رودخانه‌ها دارند؛ همچنین افزایش تنش خشکی منجر به کاهش مقدار زیست‌توده، تعداد گره ساقه، تعداد برگ، ارتفاع گیاه و میزان فتوسنتز شد (Zub

منابع

- Abichandani, S.L. (2007). *The potential impact of the invasive species Arundo donax on water resources along the Santa Clara River: seasonal and diurnal transpiration*. University of California, Los Angeles. pp 44. <http://dx.doi.org/10.3390/hydrology2030134>
- Angelini, L.G., Ceccarini, L., Nassi, O., Di Nasso, N., & Bonari, E. (2009). Comparison of *Arundo donax* L. and *Miscanthus x giganteus* in a long-term field experiment in Central Italy: analysis of productive characteristics and

- energy balance. *Biomass and Bioenergy*, 33, 635–643. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2008.10.005>
3. Baker, H. (1974). The evolution of weeds. *Annual Review of Ecology and Systematics* 5, 24.
 4. Bell, G.P. (1997). *Ecology and management of Arundo donax, and approaches to riparian habitat restoration in southern California*. In: Plant Invasions: Studies from North America and Europe (eds Brock JH, Wade M, Pysek P, Green D), pp. 103–113.
 5. Beringer, T., Lucht, W., & Schaphoff, S. (2011). Bioenergy production potential of global biomass plantations under environmental and agricultural constraints. *Global Change Biology Bioenergy* 3, 299–312. <https://doi.org/10.1111/j.1757-1707.2010.01088>
 6. Centritto, M., Loreto, F., & Chartzoulakis, K. (2003). The use of low [CO₂] to estimate diffusional and non-diffusional limitations of photosynthetic capacity of salt-stressed olive saplings. *Plant, Cell & Environment*, 26, 585–594. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2003.00993>
 7. Chaves, M.M., Costa, J.M., & Saibo, N.J.M. (2011). Recent advances in photosynthesis under drought and salinity. *Advances in Botanical Research*, 57, 49–104. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-387692-8.00003-5>
 8. Chaves, M.M., Flexas, J., & Pinheiro, C. (2009). Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. *Annual Botanical*, 103, 551–560. <https://doi.org/10.1093/aob/mcn125>
 9. Cornic, G. (2000). Drought stress inhibits photosynthesis by decreasing stomatal aperture – not by affecting. *Trends in Plant Science*, 5, 187–188. [https://doi.org/10.1016/S1360-1385\(00\)01625-3](https://doi.org/10.1016/S1360-1385(00)01625-3)
 10. Cosentino, S.L., Patanè, C., Sanzone, E., Testa, G., & Scordia, D. (2016). Leaf gas exchange, water status and radiation use efficiency of giant reed (*Arundo donax* L.) in a changing soil nitrogen fertilization and soil water availability in a semi-arid Mediterranean area. *European Journal of Agronomy*, 72, 56–69. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.09.011>
 11. Curt, M.D., Sanz, M., & Mauri, P.V. (2018). Effect of water regime change in a mature *Arundo donax* crop under a xeric Mediterranean climate. *Biomass and Bioenergy*, 115, 203–209. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2018.04.018>
 12. Czech, B., & Krausman, P. (1997). Distribution and causation of species endangerment in the United State. *Invasive Plant Science and Management*, 4, 439–444.
 13. Danin, A. (2004). *Arundo* (Gramineae) in the Mediterranean reconsidered. *Willdenowia*, 34, 361–369.
 14. Decruyenaere, J.G., & Holt, J.S. (2005). Ramet demography of a clonal invader, *Arundo donax* (Poaceae), in Southern California. *Plant and Soil*, 277, 41–52.
 15. Flexas, J., Bota, J., Loreto, F., Cornic, G., & Sharkey, T.D. (2004). Diffusive and metabolic limitations to photosynthesis under drought and salinity in C3 plants. *Plant Biology*, 6, 269–279. <https://doi.org/10.1055/s-2004-820867>
 16. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2013). FAOSTAT. Agri-Environmental Indicators. Available at <http://faostat3.fao.org> (accessed 05 March 2014).
 17. Gasith, A., & Resh, V.H. (1999). Streams in Mediterranean climate regions: abiotic influences and biotic responses to predictable seasonal events. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 30, 51–81.
 18. Gordon, D.R., Tancig, K.J., Onderdonk, D.A., & Gantz, C.A. (2011). Assessing the invasive potential of biofuel species proposed for Florida and the United States using the Australian Weed Risk Assessment. *Biomass and Bioenergy*, 35, 74–79. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.08.029>
 19. Grzesiak, M.T., Waligórski, P., Janowiak, F., Marcińska, I., Hura, K., Szczyrek, P., & Głąb, T. (2013). The relations between drought susceptibility index based on grain yield (DSIGY) and key physiological seedling traits in maize and triticale genotypes. *Acta Physiol Plant*, 35, 549–565.
 20. Haworth, M., Cosentino, S.L., Marino, G. (2017). Physiological responses of *Arundo donax* ecotypes to drought: a common garden study. *GCB Bioenergy*, 9, 132–143. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12348>
 21. Hernández, I., Alegre, L., & Munné-Bosch, S. (2012). Drought-induced changes in flavonoids and other low molecular weight antioxidants in *Cistus clusii* grown under Mediterranean field conditions. *Tree Physiology*, 24, 1303–1311. <https://doi.org/10.1093/treephys/24.11.1303>
 22. Jørgensen, U. (2011). Benefits versus risks of growing biofuel crops: the case of *Miscanthus*. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 3, 24–30. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2010.12.003>
 23. Juneau, K.J., & Tarasoff, C.S. (2013). The seasonality of survival and subsequent growth of common reed (*Phragmites australis*) rhizome fragments. *Invasive Plant Science and Management*, 6, 79–86. <https://doi.org/10.1614/IPSM-D-12-00051.1>
 24. Lambert, A.M., Dudley, T.L., & Saltonstall, K. (2010). Ecology and impacts of the large-statured invasive grasses *Arundo donax* and *Phragmites australis* in North America. *Invasive Plant Science and Management*, 3, 489–494. <http://dx.doi.org/10.1614/IPSM-D-10-00031.1>
 25. Lauteri, M., Haworth, M., Serraj, R., Monteverdi, M.C., & Centritto, M. (2014). Photosynthetic diffusional constraints affect yield in drought stressed rice cultivars during flowering. *PLoS One*, 9, e109054. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0109054>
 26. Lawlor, D.W., & Cornic, G. (2002). Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to

- water deficits in higher plants. *Plant, Cell & Environment*, 25, 275–294. <https://doi.org/10.1046/j.0016-8025.2001.00814>
27. Long, S.P., & Bernacchi, C.J. (2003). Gas exchange measurements, what can they tell us about the underlying limitations to photosynthesis? Procedures and sources of error. *Journal of Experimental Botany* 54, 2393–2401. <https://doi.org/10.1093/jxb/erg262>
 28. Loreto, F., & Fineschi, S. (2015). Reconciling functions and evolution of isoprene emission in higher plants. *The New Phytologist*, 206, 578–582. <https://doi.org/10.1111/nph.13242>
 29. Mann, J., Barnet, J., Guy, B., & Joseph, M. (2013). Miscanthus 3 giganteus and *Arundo donax* shoot and rhizome tolerance of extreme moisture stress. *Global Change Biology*, 5, 693–700. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12039>
 30. Mantineo, M., D'Agosta, G.M., Copani, V., Patanè, C., & Cosentino, S.L. (2009). Biomass yield and energy balance of three perennial crops for energy use in the semi-arid Mediterranean environment. *Field Crops Research*, 114, 204–213. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.07.020>
 31. Mariani, C., Cabrini, R., Danin, A. (2010). Origin, diffusion and reproduction of the giant reed (*Arundo donax* L.): a promising weedy energy crop. *Annals of Applied Biology*, 157, 191–202. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2010.00419.x>
 32. Munns, R. (2002). Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell & Environment* 25, 239–250. <https://doi.org/10.1046/j.0016-8025.2001.00808>
 33. Pilu, R., Cassani, E., & Landoni, M. (2014). Genetic characterization of an Italian giant reed (*Arundo donax* L.) clones collection: exploiting clonal selection. *Euphytica*, 196, 169–181.
 34. Signarbieux, C., & Feller, U. (2011). Non-stomatal limitations of photosynthesis in grassland species under artificial drought in the field. *Environment and Experimental Botany*, 71, 192–197. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2010.12.003>
 35. Silva, E.N., Ferreira-Silva, S.L., Fontenele, A.V., Ribeiro, R.V., Viégas, R.A., & Silveira, J.A. (2010). Photosynthetic changes and protective mechanisms against oxidative damage subjected to isolated and combined drought and heat stresses in *Jatropha curcas* plants. *Journal of Plant Physiology*, 167, 1157–1164. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2010.03.005>
 36. Steinmaus, S., & Norris, R.F. (2002). Growth analysis and canopy architecture of velvetleaf grown under light conditions representative of irrigated Mediterranean-type agroecosystems. *Weed Science*, 50, 42–53. [https://doi.org/10.1614/0043-1745\(2002\)050\[0042:GAACAO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1614/0043-1745(2002)050[0042:GAACAO]2.0.CO;2)
 37. Trnka, M., Olesen, J.E., & Kersebaum, K.C. (2011). Agroclimatic conditions in Europe under climate change. *Global Change Biology*, 17, 2298–2318. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02396>
 38. Valli, F., Trebbi, D., Zegada-Lizarazu, W., Monti, A., Tuberosa, R., & Salvi, S. (2017). In vitro physical mutagenesis of giant reed (*Arundo donax* L.). *GCB Bioenergy*, 9, 1380–1389. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12458>
 39. Watts, D.A., & Moore, G.W. (2011). Water-use dynamics of an invasive reed, *Arundo donax*, from leaf to stand. *Wetlands*, 31, 725–734. <http://dx.doi.org/10.1007/s13157-011-0188-1>
 40. Wilhelm, C. (2014) Salt stress resistance – multisite regulation in focus. *Journal Plant Physiology*, 171, 1. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jplph.2013.11.001>
 41. Zub, H.W., & Brancourt-Hulmel, M. (2010). Agronomic and physiological performances of different species of *Miscanthus*, a major energy crop. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 30, 201–214. http://dx.doi.org/10.1007/978-94-007-0394-0_21
 42. Zúñiga, G.E., Argandoña, V.H., Niemeyer, H.M., & Corcuera, L.J. (1983). Hydroxamic acid content in wild and cultivated gramineae. *Phytochemistry*, 22(12), 2665–2668.