University of Birjand

Journal homepage:
https://escs.birjand.ac.ir

تنشهای محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses In Crop Sciences

https://doi.org/10.22077/ESCS.2024.6937.2247

*Original article*

# The effect of drought stress on yield and some morphological and agronomic traits of cactus (*Opuntia ficus-indica* L.) in Shahmaran region of Kerman

**H. Najafinezhad[1], M.A. Javaheri[2*], N. Koohi[3]**

1. *Associate Professor of Agricultural and Horticultural Research Department, Kerman Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Kerman, Iran*
2. *Associate Professor of Agricultural and Horticultural Research Department, Kerman Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Kerman, Iran*
3. *Assistant Professor of Agricultural Engineering Research Department, Kerman Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Kerman, Iran*

Received 7 November 2023; Accepted 20 December 2023

## *Extended abstract*

### Introduction

Lack of fodder for feeding livestock is one of the main problems of dry areas, especially in the southern regions of Iran. In this situation, the climate changes and the decrease of rainfall in the southeast of the country in recent years, have doubled the important of compatible plants with the potential to produce fodder in water shortage conditions. Fodder cactus is a drought-resistant plant that adapts to dry and low-water conditions as a source for fodder production in dry areas. This research was conducted to explore the effect of drought stress on yield, water productivity, and some agronomic characteristics of cactus as a new crop in the climatic conditions of Shahmaran region of Kerman, Iran.

### Materials and methods

The experiment was carried out in the form of randomized complete block design with four replications. Three treatments of normal irrigation, moderate and severe drought stress were considered based on 160, 210 and 260 mm cumulative pan evaporation. The cladodes (*Opuntia ficus-indica*) used for planting, originating from Tunisia. In each plot, 32 cladodes were planted at a distance of 2 meters between rows and 1.5 meter between cladodes on a row. At the time of irrigation of each treatment, volumetric soil moisture was measured at the active depth of root development using a calibrated Time-Domain Reflectometry device (Trime-FM, IMKO, Ettlingen, Germany). To calculate the fodder yield of cactus, the cladodes produced on plants in each plot were harvested and weighed. For measuring the length, width, and thickness of the cladode in each plot, 10 cladodes were randomly selected, and the average of each trait was finally determined.

### Results and discussion

The number of pads produced under the influence of drought stress was significant. The highest number of pads per plant was observed in the normal irrigation treatment (27.7 pads per plant) and the lowest in the severe drought stress treatment (15 pads per plant). The maximum thickness of the pad under normal irrigation condition was 2.4 cm and the minimum thickness was observed under severe drought

* Corresponding author: Mohammad Ali Javaheri; E-Mail: javaheri310@yahoo.com

© 2025, The Author(s). Published by University of Birjand. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0).

stress condition. The main reason in reducing the thickness of the pad in water stress condition was the decreasing of the pad moisture content.The effect of drought stress on the length and width of the pad, was significant. Minimum length and width of the pad was observed with 29.5 and 18 cm in severe drought stress treatment and the maximum with 37.7 and 24.7 cm in normal irrigation treatment.The percentage of pad dry matter at the time of sampling was significantly affected by water stress treatments. The dry matter percentage was the lowest in the normal irrigation treatment with 8% and the highest in the severe water stress treatment with 12.7%.The weight of the each pad and the yield of wet and dry fodder per hectare were significant under the influence of different water stress treatments. The wet weight of the pad per plant was the highest in the normal irrigation treatment with 1245 g and the lowest in the severe water stress treatment with 870 g. Normal irrigation treatment produced the highest yield by producing 112 and 8.97 $t.ha^{-1}$ of fresh and dry fodder, respectively. The lowest wet and dry yield belonged to severe water stress treatment with production of 46.77 and 6.05 $t.ha^{-1}$.The highest water productivity for wet and dry cactus fodder was 41.02 and 3.29 kg m-3 respectively, which belonged to the normal irrigation regime. There was no significant difference between moderate and severe water stress treatments for dry fodder in terms of water productivity.

**Conclusion**

Overall, the research results showed that drought stress has a significant effect on fodder yield, water productivity, cladode thickness, cladode length and width, cladode weight, and crude protein of cactus fodder. Despite the physiology of the cactus and its resistance to water stress, with the increase of drought stress, the wet and dry yield, water productivity, and fodder protein content showed a significant decline. According to the results, reduction of 58.2% in wet fodder yield and of 32.5% in dry fodder yield were seen in severe drought stress treatment compared to normal irrigation. The average water consumption was 2507.6 $m^3.ha^{-1}$. According to the results, in order to benefit from the potential of the cactus to produce fodder, it is necessary to avoid long-term and severe drought stress. The vegetative growth period of cactus was mainly found in spring and early summer. With the cooling of the air from late fall to early March, the plant is going to be entered the stage of growth stagnation. Due to the evergreen nature of the plant, the fodder of this plant can be used for feeding livestock in the fall and winter seasons, when there is a lack of fresh fodder. This research determined that there is a possibility of growing and developing cactus plant as a new plant in Shahmaran region with a subtropical climate. Also, through cultivation of this plant with low water consumption, part of the fodder shortage for livestock in Kerman province can be resolved.

**Keywords:** Cactus, Cladode, Fodder, Water productivity, Water stress, Yield

تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences

https://doi.org/10.22077/ESCS.2024.6937.2247

*مقاله پژوهشی*

# تأثیر تنش خشکی بر عملکرد و برخی صفات مورفولوژیک و زراعی کاکتوس (*Opuntia ficus-indica* L.) در منطقه شاهماران کرمان

**حمید نجفی‌نژاد[1]، محمدعلی جواهری[2*]، نادر کوهی[3]**

۱. دانشیار بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان
۲. دانشیار بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان
۳. استادیار بخش تحقیقات فنی مهندسی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان

**مشخصات مقاله**

*واژه‌های کلیدی:*
بهره‌وری مصرف آب
پد
تنش خشکی
کاکتوس
علوفه
عملکرد

تاریخ دریافت:
۱۴۰۲/۰۸/۱۶

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۲/۰۹/۲۹

**چکیده**

**این مطالعه با هدف تأثیر تیمارهای مختلف تنش آبی بر عملکرد، بهره‌وری مصرف آب و برخی خصوصیات زراعی گیاه کاکتوس در منطقه شاهماران در جنوب استان کرمان در سال ۱۳۹۸ انجام شد. طرح آزمایشی به‌صورت بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار روی بوته‌های کاکتوس سه‌ساله انجام شد. تیمارهای موردمطالعه شامل سه رژیم آبیاری بر اساس ۱۶۰، ۲۱۰ و ۲۶۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از سطح تشتک تبخیر کلاس A بود. نتایج نشان داد با افزایش سطح تنش آبی طول، عرض و ضخامت پد (ساق برگ) به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. بیشترین تعداد پد تولیدشده (۲۷/۷ عدد در بوته) متعلق به تیمار آبیاری نرمال و کمترین آن (۱۵ عدد در بوته) در تیمار تنش شدید خشکی (رژیم آبیاری ۲۶۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از سطح تشتک تبخیر) مشاهده شد. بیشترین ضخامت پد در شرایط آبیاری نرمال (۲/۴ سانتی‌متر) و کمترین آن (۰/۹ سانتی‌متر) در شرایط تنش شدید خشکی به دست آمد. تأثیر تنش خشکی بر گسترش طول و عرض پد که شاخصی از سطح فتوسنتز کننده گیاه هستند معنی‌دار بود، به‌طوری‌که کمترین طول و عرض پد (به ترتیب ۲۹/۵ و ۱۸ سانتی‌متر) در تیمار تنش شدید خشکی و بیشترین آن (۳۷/۷ و ۲۴/۷ سانتی‌متر) در تیمار آبیاری نرمال حاصل شد. نتایج نشان داد تنش آبی شدید بیشترین مقدار پتاسیم و کمترین مقدار فیبر را در علوفه خشک ایجاد کرد. رژیم آبیاری ۱۶۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی موجب تولید بالاترین مقدار عملکرد علوفه تر و خشک (به ترتیب با تولید ۱۱۲ و ۸/۹۷ تن در هکتار) گردید. در این تیمار بهره‌وری مصرف آب ۳/۲۹ کیلوگرم ماده خشک بر مترمکعب آب به دست آمد. بیشترین پروتئین خام علوفه (۷/۹ درصد) نیز به رژیم آبیاری ۲۱۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی تعلق داشت. بر اساس نتایج حاصل از این تحقیق، امکان کشت و تولید علوفه از گیاه دائمی کاکتوس با مصرف آب کم در منطقه شاهماران کرمان وجود دارد.**

## مقدمه

کاکتوس علوفه‌ای گیاهی چندساله است که در تمام قاره‌ها و در بسیاری از کشورها به‌منظور تولید علوفه و میوه کشت می‌شود، اما بیشترین سطح زیر کشت کاکتوس (بالغبر ۲۲۰۰۰۰۰ هکتار) به کشورهای برزیل، مکزیک، تونس، آفریقای جنوبی و اتیوپی تعلق دارد (Grunwaldt et al., 2015). علوفه این گیاه ازلحاظ کربوهیدرات، آسکوربیک اسید و املاح معدنی بخصوص کلسیم غنی بوده و می‌توان در جیره غذایی انواع دام (گاو، گوسفند و بز)، با مخلوط ۲۰ الی ۳۰ درصد علوفه کاکتوس و ۷۰ الی ۸۰ درصد سایر علوفه‌ها نیاز غذایی دام را تأمین کرد (Gregory, 1992; Chiteva and Wairagau, 2013). کاکتوس گیاهی مقاوم به خشکی و دارای ارزش اقتصادی و اکولوژیک است که میوه و پد آن به‌عنوان منبع غذایی برای انسان و حیوانات مصرف دارد (Dubeux et al.,2021).

* نگارنده پاسخگو: محمدعلی جواهری. پست الکترونیک: javaheri310@yahoo.com

یکی از راهکارهای افزایش تولید با منابع محدود آب استفاده از گیاهان مقاوم به خشکی با کارایی مصرف آب بالا است. کاکتوس جنس *Opuntia* ازجمله گیاهان CAM است که کارایی آن در استفاده از آب ۴ تا ۱۰ میلی مول دی‌اکسید کربن در هر مول آب است و در مقایسه با گیاهان $C_3$ (سه کربنه) با ۱ تا ۱/۵ و C4 (چهارکربنه) با ۲ تا ۳ میلی مول دی‌اکسید کربن در هر مول آب از کارایی بالاتری برخوردار است. قابلیت این گیاه در ذخیره کردن مقدار قابل‌توجهی آب در اندام‌ها امکان مقاومت بیشتر آن را در شرایط خشکی فراهم کرده به‌نحوی‌که با توجه به شرایط، در هرسال پتانسیل تولید ۴ تا ۱۰۰ تن علوفه تر در هکتار را دارد (Nobel and Hartsock, 2001). ازلحاظ بهره‌وری مصرف آب کاکتوس (*Opuntia* spp.) با مصرف ۲۶۷ لیتر آب یک کیلوگرم ماده خشک تولید می‌نماید درحالی‌که برای تولید یک کیلوگرم ماده خشک ارزن ۴۰۰ لیتر، سورگوم ۶۶۶ لیتر و یونجه ۱۰۰۰ لیتر آب مصرف می‌نماید (Dekock, 1998). کاکتوس علوفه‌ای در تبدیل آب به ماده خشک کارایی بالاتری نسبت به گراس‌ها و لگوم‌ها داشته به‌طوری‌که در مناطقی با بارندگی ۱۵۰ میلی‌متر تا ۱۰۰ تن در هکتار توانایی تولید علوفه تر دارد و محصولی مناسب برای کشت در مناطق کم بازده است (Nobel, 2006).

کمبود علوفه برای پرورش دام یکی از دغدغه‌های اساسی مناطق خشک و کم آب بخصوص مناطق جنوبی ایران است. در این شرایط تغییرات اقلیمی و کاهش بارش‌ها در جنوب شرق کشور طی سال‌های اخیر جایگاه گیاهان سازگار و دارای پتانسیل تولید علوفه در شرایط کم‌آبی را دوچندان نموده است. کاکتوس علوفه‌ای به‌عنوان یک گیاه مقاوم به خشکی و سازگار به شرایط خشک و کم آب به‌عنوان منبعی برای تولید علوفه در مناطق خشک مطرح است (Tarekegn et al., 2017). این گیاه با مقاومت ویژه‌ای که به وضعیت نامساعد محیطی ازجمله درجه حرارت‌های بالا، خشکی‌های طولانی‌مدت و خاک‌های فقیر دارد می‌تواند راه‌حل مناسبی برای تأمین بخشی از کمبود علوفه و جایگزینی با محصولات با نیاز آبی بالا باشد (Maltsberger, 1996).

کاکتوس علاوه بر تولید علوفه، قابلیت تولید میوه خوراکی را نیز دارا است (Nobel and Hartsock, 1983; Liguori et al., 2013). کاکتوس‌ها دارای ریشه‌سطحی و کم‌عمقی هستند. در این گیاه نفوذ عمقی ریشه‌ها ۵۰-۳۰ سانتی‌متر و گسترش افقی ریشه‌ها ۸-۴ متر است (Nobel, ; Goldstein et al., 19912001). در بررسی سازگاری و عملکرد شش کولتیوار کاکتوس در اتیوپی بیان شده است که صفات تولید ماده خشک و متوسط وزن پد (ساق برگ)[1] بهترین شاخص‌ها برای ارزیابی عملکرد و سازگاری کاکتوس است (Alemu et al., 2017). باوجوداینکه بیش از ۹۰ درصد وزن تر کاکتوس‌ها را آب تشکیل می‌دهد، اما امکان تبخیر آب از سطح پد بسیار ضعیف است، چون آب موجود در گیاه خالص نبوده و در ترکیب با موسیلاژ است و همین حالت چسبندگی، مانع تبخیر آب می‌شود. به‌علاوه سطح خارجی پد حالت واکسی دارد و به‌شدت نور خورشید را منعکس می‌نماید (Rezaei et al., 2013). تراکم کاشت، نوع خاک، منطقه و کود دهی نقش مهمی در تولید ماده خشک در این گیاه داشته و بر اساس تحقیقات انجام‌شده در برزیل با کشت متراکم (۴۰۰۰۰ بوته در هکتار)، مصرف مناسب کود و آبیاری ۴۰ تن ماده خشک در سال تولیدشده است که قابل‌توجه می‌باشد (Garcia de cortazer and Nobel, 1990). در بررسی تأثیر چهار تیمار عدم آبیاری و رژیم‌های آبیاری ۷ روز، ۱۵ روز و ۳۰ روز یک‌بار بر عملکرد و برخی صفات کاکتوس در منطقه ایلام بیان شده است که با رژیم‌های آبیاری ۱۵ روز یک‌بار بیشترین عملکرد تر و خشک به دست آمده است (Ghasemi et al., 2011). تنش طولانی‌مدت خشکی اثرات فیزیولوژیک متعددی بر روی کاکتوس دارد، بعد از دو الی سه ماه تنش خشکی، هدایت روزنه‌ای کاهش می‌یابد. همچنین کاهش فتوسنتز پد در شرایط تنش به دلیل کاهش محتوی نسبی آب پد، کاهش ضخامت بافت پارانشیم و کاهش محتوی کلروفیل گزارش شده است (Pimienta- Barrios et al., 2007). استراتژی گیاه کاکتوس تحت شرایط تنش خشکی توقف تولید پدهای جدید، کاهش اندازه پد و کاهش فعالیت‌های متابولیکی است (Campos et al., 2021).

با توجه به کمبود علوفه، بحران کم‌آبی، فقر مراتع و ادامه خشک‌سالی‌ها طی دهه‌های گذشته در استان کرمان، بررسی عملکرد گیاهان علوفه‌ای جدید و مقاوم به خشکی ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است. مطالعه مذکور با هدف بررسی عملکرد، بهره‌وری مصرف آب و برخی خصوصیات زراعی این گیاه تحت تأثیر تیمارهای مختلف تنش خشکی در مزرعه تحقیقاتی

[1] Cladode

نسخه پیش از انتشار

شاهماران کرمان وابسته به مرکز تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی کرمان انجام شد.

## مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی عملکرد و امکان کاشت کاکتوس علوفه‌ای در منطقه شاهماران تحت شرایط تنش خشکی، آزمایشی در مزرعه تحقیقاتی شاهماران به مدت یک سال زراعی (۱۳۹۹-۱۳۹۸) اجرا شد. منطقه اجرای پروژه دارای اقلیم نیمه گرمسیری با مختصات جغرافیایی ۲۸ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۵ درجه و ۵۳ دقیقه طول شرقی با ارتفاع متوسط ۱۲۱۰ متر از سطح دریا در فاصله ۲۶۰ کیلومتری جنوب غربی شهر کرمان بود. طرح آزمایشی به‌صورت بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار و سه تیمار آبیاری نرمال، تنش متوسط و تنش شدید خشکی بود. سه تیمار آبیاری نرمال، تنش متوسط و تنش شدید خشکی به ترتیب بر اساس ۱۶۰، ۲۱۰ و ۲۶۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از سطح تشتک تبخیر کلاس A بود. منشأ کاکتوس موردمطالعه کشور تونس بود که از طریق مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی ایلام دریافت گردید. پدهای مورداستفاده قبل از کاشت در زمین اصلی به مدت ۱۴ روز در محیط معمولی (سایه) نگهداری شدند تا در زمان کاشت (۲۰ اسفند) ریشه‌زایی آن‌ها تسریع گردد (Ghasemi et al., 2011). قبل از اجرای آزمایش، خاک مزرعه مورد تجزیه فیزیکی و شیمیایی قرار گرفت که نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی در جدول ۱ آورده شده است. عملیات آماده‌سازی زمین قبل از اجرای طرح شامل شخم به عمق ۳۵ سانتی‌متر، دیسک، لولر، کودپاشی (۶۹ کیلوگرم $P_2O_5$ به فرم سوپرفسفات تریپل) و دیسک بود. در هر کرت تعداد ۳۲ پد بالغ به فاصله ۲×۱/۵ متر از یکدیگر کشت گردید (فاصله ردیف‌ها ۲ متر و فاصله پدها درروی ردیف ۱/۵ متر). کشت پدها در داخل خاک به نحوی انجام شد که یک‌سوم طول پدها در داخل خاک قرار گرفت.

**جدول ۱. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک**

**Table 1. Result of the physico-chemical properties of soil**

| Soil depth | Soil texture | F.C | P.W.P | B.D | O.C | P | K | EC | pH |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| cm | | --------%-------- | | g.cm$^{-3}$ | % | ---------mg.kg$^{-1}$--------- | | dS m$^{-1}$ | |
| 0-30 | C.L | 21.2 | 10.1 | 1.43 | 0.58 | 12 | 264 | 3 | 7.9 |
| 30-60 | C.L | 20.1 | 9.6 | 1.46 | 0.25 | 7.8 | 227 | 2.4 | 7.7 |

در زمان آبیاری هر تیمار، حجم آب آبیاری به‌اندازه‌ای بود که رطوبت خاک را تا عمق مؤثر توسعه ریشه به ظرفیت زراعی برساند. گسترش افقی و نفوذ عمودی مؤثر توسعه ریشه با حفر پروفیل برای بوته‌های کاکتوس در طول فصل رشد گیاه تعیین شد. متوسط گسترش افقی و نفوذ عمودی ریشه به ترتیب ۹۳ و ۴۷ سانتی‌متر بود. اندازه‌گیری رطوبت حجمی خاک در عمق فعال توسعه ریشه و در زمان آبیاری هر تیمار با استفاده از دستگاه Time–Domain Reflectometry مدل (Trime-FM, IMKO,Ettlingen, Germany) کالیبره شده انجام شد. برای کالیبره کردن دستگاه TDR هم‌زمان با قرائت رطوبت حجمی ۱۴ نمونه خاک با دستگاه (مدت یک هفته با رطوبت‌های مختلف)، رطوبت وزنی خاک به روش مستقیم با استفاده از آون اندازه‌گیری و سپس رطوبت وزنی با استفاده از وزن مخصوص ظاهری خاک به رطوبت حجمی تبدیل شد. با استفاده از رطوبت حجمی قرائت‌شده و رطوبت حجمی اندازه‌گیری شده معادله زیر با $R^2=0.96$ انتخاب شد.

$$Y=4.5072e^{0.0762x} \quad [۱]$$

Y: رطوبت حجمی تصحیح‌شده، x: رطوبت حجمی قرائت‌شده با دستگاه.

میزان آب موردنیاز هر کرت در هر مرحله آبیاری بر اساس کسر رطوبت موجود خاک از ظرفیت زراعی و بر اساس معادلات زیر محاسبه شد (Fotouhi et al., 2009).

$$In= (\theta fc-\theta i) \times d \quad [۲]$$

$$Ig= In/e \quad [۳]$$

$$V= Ig \times A \quad [۴]$$

که در این روابط، θfc: رطوبت حجمی خاک در ظرفیت زراعی، θi: رطوبت حجمی خاک در زمان آبیاری، d: عمق توسعه ریشه (میلی‌متر)، In: عمق خالص آب آبیاری (میلی‌متر)، e: کارایی آبیاری (۹۰ درصد)، Ig: عمق ناخالص آب آبیاری (میلی‌متر)، A: مساحت زمین برای آبیاری کرت (مترمربع)، V: حجم آب موردنیاز برای آبیاری کرت (لیتر).

نسخه پیش از انتشار

پس از محاسبه حجم آب موردنیاز برای هر کرت، با استفاده از سه عدد کنتور حجمی ۰/۵ اینچی تحت‌فشار که در مدخل ورود آب به کرت روی لوله‌های پلی‌اتیلنی ۳۲ میلی‌متری نصب بود، آب واردشده به کرت اندازه‌گیری شد. سیستم آبیاری مورد آزمایش قطره‌ای بود، به‌نحوی‌که آب توسط لوله پلی‌اتیلنی تحت‌فشار به قطر ۶۰ میلی‌متر به محل آزمایش منتقل شد و برای آبیاری هر تیمار از لوله پلی‌اتیلنی مجزایی به قطر ۳۲ میلی‌متر استفاده شد. برای اندازه‌گیری حجم آب مصرف‌شده در هر تیمار، روی هر لوله ۳۲ میلی‌متری یک عدد کنتور نیم اینچی نصب شد. برای آبیاری بوته‌های هر کرت از لوله پلی‌اتیلنی ۱۶ میلی‌متری و برای آبیاری هر بوته سه‌ساله کاکتوس تعداد چهار عدد قطره‌چکان ساخت کارخانه ایران دریپ با دبی دو لیتر در ساعت استفاده شد. جدول ۲ حجم آب مصرف‌شده و متوسط رطوبت حجمی خاک در زمان آبیاری هر تیمار و تعداد آبیاری آمده است.

**جدول ۲. حجم آب مصرف شده در هکتار، متوسط رطوبت حجمی خاک و تعداد آبیاری برای هر بوته در هر نوبت آبیاری**

**Table 2. Amount of water consumed per hectare, average of volumetric soil moisture and number of irrigations**

| Irrigation regimes | Number of irrigations | Average of volumetric soil moisture | Water consumption |
|---|---|---|---|
| mm | | % | $m^3.ha^{-1}$ |
| 160 | 14 | 12.8 | 2729.2 |
| 210 | 11 | 11.6 | 2559.6 |
| 260 | 8 | 9 | 2234.2 |

در ۲۰ آذرماه تعداد پدهای تولیدشده بر روی پد مادری هر بوته در هر کرت شمارش گردید. برای محاسبه عملکرد علوفه کاکتوس پدهای تولیدشده بر روی پنج بوته کاکتوس در هر کرت برداشت و توزین گردید. از تعداد شش پد متعلق به بوته‌های برداشت‌شده ابتدا یک نمونه تهیه و پس از توزین با قرار دادن نمونه‌ها در آون تهویه‌دار تحت دمای ۶۸ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت و توزین مجدد، با استفاده از فرمول زیر درصد ماده خشک محاسبه گردید (AOAC, 1990).

$$\%DM=100-[DW_1-DW_2/DW_1]\times 100 \quad [۵]$$

%DM: درصد ماده خشک، $DW_1$: وزن تر نمونه، $DW_2$: وزن خشک نمونه

برای اندازه‌گیری طول و عرض پد و ضخامت پد در هر کرت ۱۰ عدد پد به‌طور تصادفی از پدهای تولیدشده انتخاب شد و پس از اندازه‌گیری درنهایت میانگین هر صفت تعیین شد. نمونه‌های خشک‌شده در آون برای تعیین میزان فیبر و تجزیه کیفی مورداستفاده قرار گرفت. میزان NDF (سلولز، همی‌سلولز و لگنین) و ADF (سلولز و لگنین) دیواره سلولی با استفاده از دستگاه فایبرتک مدل TM به روش ون‌سوئست (Van-Soest et al., 1991) در آزمایشگاه تجزیه کیفی علوفه بخش تحقیقات علوم دامی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرمان انجام شد. سدیم و پتاسیم با استفاده از دستگاه فلیم‌فتومتر (Model 410, Sherwood Scientific Ltd, UK) به ترتیب در طول‌موج‌های ۵۹۰ و ۷۶۶/۵ نانومتر موردانداز‌ه‌گیری قرار گرفتند (AOAC, 1990). نیتروژن کل نمونه با روش کجدال توسط دستگاه کجل‌تک مدل ۱۰۳۰ اندازه‌گیری شد و برای تعیین میزان پروتئین خام ضریب ۶/۲۵ مورداستفاده قرار گرفت (Sparks, 1996). نتایج به دست آمده برای هر صفت با استفاده نرم‌افزار SAS.9.2 مورد تجزیه واریانس قرار گرفت و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار LSD در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد.

## نتایج و بحث

### *تعداد پد در بوته*

تعداد پد تولیدشده تحت تأثیر تنش خشکی معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین تعداد پد تولیدشده ۲۷/۷ عدد در یک بوته متعلق به تیمار آبیاری نرمال و کمترین آن ۱۵ عدد در تیمار تنش شدید خشکی مشاهده شد (جدول ۴). کاکتوس قادر است در سطوح بسیار پایین رطوبت خاک مقداری رشد داشته باشد. در شرایط تنش تولید پد و رشد گیاه بسته به‌شدت تنش کاهش می‌یابد و یا متوقف می‌شود (Scalisi et al., 2016). در شرایط تنش خشکی کاهش فتوسنتز گیاه به دلیل کاهش محتوی نسبی آب پد، کاهش سطح فتوسنتز کننده گیاه و کاهش محتوی کلروفیل گزارش شده است (Pimienta-Barrios et al., 2007). احتمالاً، به دلیل کاهش تولید مواد فتوسنتزی و کاهش مواد ذخیره‌شده در اندام‌های گیاه برای رشد مجدد و تولید پد جدید در فصل بهار و همچنین فقدان رطوبت کافی در خاک، گیاه تحت تنش شدید قادر به تولید تعداد زیاد پد نبوده است.

نسخه پیش از انتشار

### ضخامت پد

در تیمار تنش شدید خشکی (رژیم آبیاری ۲۶۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از سطح تشتک تبخیر) ضخامت پد معیاری برای سنجش مقاومت به خشکی و شدت تنش خشکی در گیاه است. این صفت تحت تأثیر تیمارهای مختلف تنش خشکی معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین ضخامت پد در شرایط آبیاری نرمال با ۲/۴ سانتی‌متر و کمترین آن در شرایط تنش شدید خشکی با ۰/۹ سانتی‌متر مشاهده شد (جدول ۴). درصد کاهش ضخامت پد در تیمار تنش شدید خشکی (رژیم آبیاری ۲۶۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از سطح تشتک تبخیر) در مقایسه با شرایط آبیاری نرمال (رژیم آبیاری ۱۶۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از سطح تشتک تبخیر) ۶۲/۵ درصد بود (جدول ۴). همچنین درصد کاهش ضخامت پد در تیمار تنش متوسط (رژیم آبیاری ۲۱۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از سطح تشتک تبخیر) در مقایسه با آبیاری نرمال ۴۱/۷ درصد بود (جدول ۴). مهم‌ترین عامل کاهش ضخامت پد در شرایط تنش خشکی کاهش رطوبت پد بوده است. در کاکتوس با اعمال تنش خشکی به‌تدریج از ضخامت پد کاسته می‌شود به‌نحوی‌که با ادامه تنش، پد چروکیده و نازک می‌شود. عمده آب جذب‌شده توسط گیاه در بافت پارانشیمی پد ذخیره می‌گردد که در طی مراحل تنش خشکی صرف فعالیت‌های متابولیکی گیاه می‌شود؛ بنابراین با مصرف آب ذخیره‌شده در پد در طی دوره تنش و با گذشت زمان از ضخامت پد کاسته می‌شود که حاصل این شرایط کاهش ضخامت پد و چروکیده شدن آن است. در تحقیقی نیز بیان شده است که در شرایط تنش خشکی آب موجود در بافت پارانشیمی پد که به‌صورت یک لایه شفاف و ضخیم است کاهش‌یافته و متعاقب آن ضخامت بافت پارانشیمی پد کاهش می‌یابد (Liguori et al., 2013).

**جدول ۳. جدول تجزیه واریانس صفات مختلف کاکتوس تحت تأثیر تنش خشکی در منطقه شاهماران کرمان**

**Table 3. Analysis of variance for different traits of cactus as affected by drought stress in Shahmaran region of Kerman**

| S.O.V | df | Cladode length | Cladode width | Cladode length/ cladode width | Cladode thickness | No. cladodes per plant |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Replication** | 3 | 8.305 | 1.0 | 0.013 | 0.027 | 17.88 |
| **Drought stress** | 2 | 70.58** | 46.083** | 0.0281 | 2.3175** | 166.08** |
| **Error** | 6 | 3.8 | 0.75 | 0.01 | 0.01 | 4.97 |
| **CV(%)** | - | *5.7* | *4* | *6.3* | *6.6* | *10.7* |

ns، * و ** به ترتیب معنی‌دار و غیر معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد

ns, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

**جدول ۴. مقایسه میانگین صفات مختلف کاکتوس تحت تأثیر تنش خشکی در منطقه شاهماران کرمان**

**Table 4. Mean comparison of different traits of cactus as affected by drought stress in Shahmaran region of Kerman**

| Drought stress | Cladode length | Cladode width | Cladode length/ cladode width | Cladode thickness | No. cladodes per plant for each year |
|---|---|---|---|---|---|
| | ----------cm---------- | | | Cm | |
| **Normal (160 mm)** | 37.75±1.43$^{a}$ | 24.75±0.48$^{a}$ | 1.52±0.05$^{a}$ | 2.4±0.04$^{a}$ | 27.75±1.93$^{a}$ |
| **Moderate drought stress (210 mm)** | 35±1.08$^{a}$ | 20.75±0.47$^{b}$ | 1.69±0.03$^{a}$ | 1.42±0.08$^{b}$ | 19.75±1.1$^{b}$ |
| **Severe drought stress (260 mm)** | 29.5±0.86$^{b}$ | 18±0.4$^{c}$ | 1.64±0.06$^{a}$ | 0.9±0.06$^{c}$ | 15±1.41$^{c}$ |
| **LSD 0.05** | *3.37* | *1.5* | *0.19* | *0.18* | *3.8* |

Values are shown as mean ± standard error of mean. Averages with the same letters in each column and each year according to LSD test at the level of 5% probability are not significant. NS:Not significant

### طول و عرض پد

بر اساس نتایج حاصله تأثیر تنش خشکی بر طول و عرض پد که شاخصی از سطح فتوسنتز کننده گیاه هستند معنی‌دار بود (جدول ۳)، به‌طوری‌که کمترین طول و عرض پد به ترتیب با ۲۹/۵ و ۱۸ سانتی‌متر در تیمار تنش شدید خشکی و بیشترین آن به ترتیب با ۳۷/۷ و ۲۴/۷ سانتی‌متر در تیمار آبیاری نرمال مشاهده شد (جدول ۴). بر اساس نتایج این تحقیق با افزایش تنش خشکی کاهش ضخامت پد مشاهده

شد (جدول ۴). این امر می‌تواند به دلیل کاهش رطوبت پد و متعاقب آن کاهش فتوسنتز در گیاه تحت شرایط تنش خشکی باشد. کاهش طول و عرض پد در شرایط تنش خشکی به دلیل کاهش فتوسنتز گیاه، کاهش محتوی نسبی آب پد، کاهش محتوی کلروفیل و همچنین کاهش تولید ماده خشک در گیاه گزارش شده است که با نتیجه حاصل از این تحقیق مطابقت دارد (Pimienta- Barrios et al., 2007; Campos et al., 2021). نتایج این تحقیق نشان داد که در شرایط تنش شدید خشکی طول پد بیشتر از عرض آن تحت تأثیر قرار گرفت (جدول ۴).

### درصد ماده خشک

درصد ماده خشک پد در زمان نمونه‌برداری تحت تأثیر تیمارهای تنش خشکی معنی‌دار بود (جدول ۵). درصد ماده خشک در تیمار آبیاری نرمال با ۸ درصد کمترین و در تیمار تنش خشکی شدید با ۱۲/۷ درصد بیشترین بود (جدول ۶). کاهش درصد رطوبت پد در شرایط تنش خشکی را می‌توان به فقدان رطوبت کافی در خاک و متعاقب آن مصرف آب ذخیره‌شده در بافت پارانشیمی برای فعالیت‌های حیاتی گیاه و کاهش ضخامت بافت پارانشیمی پد که محل ذخیره آب در پد است مربوط دانست (Liguori et al., 2013; Scalisi et al., 2016). در تیمار تنش شدید خشکی بیشترین درصد ماده خشک مشاهده شد. بیشتر بودن درصد ماده خشک در تیمار تنش شدید خشکی را می‌توان به درصد رطوبت کمتر پد در زمان نمونه‌برداری و همچنین افزایش غلظت پروتئین‌های محلول ناشی از افزایش پیش ماده‌های تولیدکننده پروتئین‌ها و فراهمی مواد معدنی و آلی برای مقابله با تنش (از طریق حفظ قدرت پروتوپلاسم در تحمل صدمات ناشی از تنش خشکی) مربوط دانست (Ait-El-Mokhtar et al., 2020; Thomas et al., 1992).

### وزن پد و عملکرد علوفه

وزن پد و عملکرد علوفه تر و خشک در هکتار تحت تأثیر تیمارهای مختلف تنش خشکی معنی‌دار بود (جدول ۵). وزن تر پد در بوته در تیمار آبیاری نرمال با ۱۲۴۵ گرم بیشترین و در تیمار تنش شدید خشکی با ۸۷۰ گرم کمترین مقدار بود (جدول ۶). تیمار آبیاری نرمال به ترتیب با تولید ۱۱۲ و ۸/۹۷ تن در هکتار علوفه تر و خشک بیشترین عملکرد را تولید نمود. کمترین عملکرد تر و خشک متعلق به تیمار تنش خشکی شدید به ترتیب با تولید ۴۶/۷۷ و ۶/۰۵ تن در هکتار بود (جدول ۶)؛ بنابراین، کاهش عملکرد علوفه با افزایش شدت تنش خشکی را می‌توان به کاهش وزن پد، کاهش طول و عرض پد، کاهش ضخامت پد و کاهش تعداد پد در شرایط تنش مرتبط دانست (جدول‌های ۳ و ۶). در تحقیقی وزن پد بهترین شاخص برای ارزیابی عملکرد و سازگاری کاکتوس بیان شده است (Alemu et al., 2017). همچنین کاهش وزن تر و خشک گیاه، کاهش محتوی نسبی آب گیاه، کاهش فتوسنتز و اختلال در فعالیت آنزیم‌های فتوسنتزی و به هم خوردن تعادل هورمونی گیاه در شرایط تنش گزارش شده است (Pimienta- Barrios et al., 2007; Farooq et al., 2008). نشان داده شده است که تحت شرایط تنش خشکی کاهش تولید پد و وزن پد و متعاقب آن کاهش محتوی آب و فعالیت فتوسنتزی گیاه عامل مهمی در کاهش عملکرد علوفه کاکتوس بوده است. در مطالعه‌ای با افزایش تنش خشکی روز کاهش عملکرد و اجزای عملکرد کاکتوس گزارش شده است که با نتیجه این تحقیق مطابقت دارد (Ghasemi et al., 2011).

### بهره‌وری مصرف آب

تأثیر تنش خشکی بر شاخص بهره‌وری مصرف آب معنی‌دار بود (جدول ۵). بیشترین بهره‌وری مصرف آب برای علوفه خشک کاکتوس ۳/۲۹ کیلوگرم بر مترمکعب آب مصرفی بود که به رژیم آبیاری نرمال تعلق داشت اما بین تیمارهای تنش خشکی متوسط و شدید ازلحاظ بهره‌وری مصرف آب تفاوت معنی‌دار نبود (جدول ۶). عوامل مؤثر بر شاخص بهره‌وری مصرف آب شامل حجم آب مصرف‌شده و مقدار تولید ماده خشک است. در رژیم آبیاری نرمال در برابر هر واحد آب مصرف‌شده ماده خشک بیشتری تولید شد که نتیجه آن افزایش بهره‌وری مصرف آب در این تیمار بود. بر اساس نتایج فوق می‌توان اظهار نمود که بهره‌وری مصرف آب نمی‌تواند ارتباط مستقیمی با تنش خشکی و مقاومت به خشکی گیاه داشته باشد. عوامل متعددی ازجمله حاصلخیزی خاک، ظرفیت نگهداری رطوبت خاک، تبخیر از خاک و تعرق گیاه می‌تواند بهره‌وری مصرف آب را تحت تأثیر قرار داده و به کاهش و یا افزایش آن منجر شود (Najafinezhad et al., 2019). با توجه به مقاومت به خشکی کاکتوس و کاهش بهره‌وری مصرف آب در شرایط تنش خشکی می‌توان اظهار نمود که در شرایط تنش شدید به دلیل کاهش تولید بیوماس

نسخه پیش از انتشار

شاخص بهره‌وری مصرف آب کاهش یافته است. برخی مطالعات نیز حداکثر کارایی مصرف آب را در شرایط تنش ملایم گزارش نموده‌اند (Musick and Dusek, 1971; Najafinezhad et al., 2019). با توجه به فیزیولوژی متفاوت گیاه کاکتوس در مقایسه با گیاهان زراعی و بسته بودن روزنه‌های کاکتوس در روز می‌توان مهم‌ترین دلیل کاهش بهره‌وری مصرف آب کاکتوس در شرایط تنش خشکی را به طولانی بودن طول دوره تنش خشکی و فقدان رطوبت کافی در خاک و متعاقب آن کاهش ضخامت پد و کاهش فتوسنتز گیاه مرتبط دانست. تأثیر تنش رطوبتی بر شاخص بهره‌وری مصرف آب در گونه‌های مختلف گیاهی و همچنین بسته به‌شدت تنش متفاوت گزارش شده است (Najafinezhad et al., 2019). در تحقیقی کاهش بهره‌وری مصرف آب در کاکتوس *Opuntia ficus* indica با افزایش تنش رطوبتی گزارش شده است که با نتیجه حاصل از این تحقیق مطابقت دارد (Snyman,2004).

**جدول ۵. جدول تجزیه واریانس صفات مختلف کاکتوس تحت تأثیر تنش خشکی در منطقه شاهماران کرمان**

**Table 5. Analysis of variance for different traits of cactus as affected by drought stress in Shahmaran region of Kerman**

| S.O.V | df | Dry matter yield | Green mass yield | Water productivity for dry yield | Cladode weight | Dry matter |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Replication** | 3 | 3.870$^{*}$ | 209.794 | 0.631$^{**}$ | 11307.63 | 1.478 |
| **Drought stress** | 2 | 9.2588$^{**}$ | 4390.94$^{**}$ | 0.50$^{*}$ | 150543.75$^{**}$ | 23.3425$^{**}$ |
| **Error** | 6 | 0.477 | 49.32 | 0.0809 | 3165.97 | 0.386 |
| **CV(%)** | - | *9.5* | *9.23* | *9.86* | *5.4* | *6.11* |

**جدول ۶. مقایسه میانگین صفات مورد بررسی کاکتوس تحت تأثیر تنش خشکی در منطقه شاهماران کرمان**

**Table 6. Mean comparison of different traits of cactus as affected by drought stress in Shahmaran region of Kerman**

| Drought stress | Dry matter yield | Green mass yield | Water Productivity for dry yield | Cladode weight | Dry matter |
|---|---|---|---|---|---|
| | ----------t.ha$^{-1}$---------- | | kg.m$^{-3}$ | gr | % |
| **Normal (160 mm)** | 8.977±0.62$^{a}$ | 112±2.97$^{a}$ | 3.29±0.21$^{a}$ | 1245±51.8$^{a}$ | 8±0.4$^{c}$ |
| **Moderate drought stress (210 mm)** | 6.782±0.59$^{b}$ | 69.27±4.65$^{b}$ | 2.65±0.26$^{b}$ | 971.2±26.5$^{b}$ | 9.75±0.25$^{b}$ |
| **Severe drought stress (260 mm)** | 6.055±0.67$^{b}$ | 46.77±6.82$^{c}$ | 2.71±0.3$^{b}$ | 870±31.9$^{c}$ | 12.7±0.57$^{a}$ |
| **LSD 0.05** | *1.19* | *12.15* | *0.49* | *97.3* | *1.07* |

Values are shown as mean ± standard error of mean. Averages with the same letters in each column and each year according to LSD test at the level of 5% probability are not significant. NS:Not significant

### *پروتئین خام*

تأثیر تنش خشکی بر محتوی پروتئین علوفه معنی‌دار بود (جدول ۷). کمترین مقدار پروتئین خام علوفه به مقدار ۶/۷۵ درصد به تیمار تنش خشکی شدید تعلق داشت. در دو تیمار تنش نرمال و متوسط مقدار پروتئین خام علوفه تفاوت معنی‌داری نداشتند (جدول ۸). در شرایط تنش خشکی به دلیل کاهش تولید ماده خشک و عملکرد گیاه، افزایش غلظت نیتروژن در علوفه گیاهان ذرت و سورگوم نیز گزارش شده است (Najafinezhad et al., 2019)؛ بنابراین کاهش معنی‌دار پروتئین خام علوفه کاکتوس تحت تنش شدید خشکی می‌تواند ناشی از کاهش محتوی آب پد و متعاقب آن اختلال در جذب نیتروژن و سنتز پروتئین باشد. از جنبه دیگر با توجه به کاهش عملکرد علوفه گیاه تحت تنش شدید خشکی (جدول ۶) می‌توان بیان نمود که در شرایط تنش شدید خشکی به دلیل کاهش رطوبت خاک و کاهش جذب نیتروژن از خاک، غلظت نیتروژن در بافت گیاه کاهش یافته است. تحت شرایط تنش شدید خشکی کاهش تولید ماده خشک و جذب نیتروژن در تعدادی از گونه‌های گیاهی (گندم و پنبه) گزارش شده است که می‌تواند تأییدی بر کاهش پروتئین خام علوفه کاکتوس تحت تنش شدید خشکی باشد (Tanguilig et al.,1987).

نسخه پیش از انتشار

**جدول ۷. تجزیه واریانس صفات کیفی علوفه کاکتوس تحت تأثیر تنش خشکی در منطقه شاهماران کرمان**

**Table 7. Analysis of variance for quality traits of cactus as effected by drought stress in 2018 in Shahmaran region of Kerman**

| S.O.V | df | Crude protein | K | Na | NDF | ADF |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Replication** | 3 | 0.0886 | 0.1296 | 0.00011656 | 2.705 | 2.5828 |
| **Drought stress** | 2 | 2.1615$^{**}$ | 76.13$^{**}$ | 0.00610$^{**}$ | 12.707$^{**}$ | 11.394 |
| **Error** | 6 | 0.1523 | 0.966 | 0.00009 | 1.325 | 3.91 |
| **CV(%)** | | *5.1* | *9.2* | *10.9* | *4.32* | *9.8* |

*، ** و n.s به ترتب معنی‌دار و غیر معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد

ns, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

**جدول ۸. مقایسه میانگین صفات کیفی کاکتوس تحت تأثیر تنش خشکی در منطقه شاهماران کرمان**

**Table 8. Mean comparison of quality traits of cactus as affected by drought stress in Shahmaran region of Kerman**

| Drought stress | Crude protein | K | Na | NDF | ADF |
|---|---|---|---|---|---|
| | % | | | | |
| **Normal (160 mm)** | 7.53±0.12$^{a}$ | 8.05±0.24$^{b}$ | 0.069±0.003$^{b}$ | 26.49±0.72$^{a}$ | 21.45±0.1$^{a}$ |
| **Moderate drought stress (210 mm)** | 7.9±0.39$^{a}$ | 8.22±0.22$^{b}$ | 0.067±0.004$^{b}$ | 27.94±0.22$^{a}$ | 20.65±0.16$^{a}$ |
| **Severe drought stress (260 mm)** | 6.75±0.08$^{b}$ | 15.69±0.29$^{a}$ | 0.136±0.006$^{a}$ | 24.4±0.52$^{b}$ | 18.21±0.42$^{a}$ |
| **LSD 0.05** | *0.674* | *1.7* | *0.017* | *1.99* | *3.42* |

Values are shown as mean ± standard error of mean. Averages with the same letters in each column according to LSD (Least significant differences) test at the level of 5% probability are not significant

### *سدیم و پتاسیم علوفه*

محتوی سدیم و پتاسیم علوفه تحت تأثیر تیمارهای مختلف تنش خشکی معنی‌دار بود (جدول ۷). بیشترین مقدار سدیم و پتاسیم در ماده خشک علوفه در تیمار تنش شدید خشکی به ترتیب با ۰/۱۳ و ۱۵/۶۹ درصد مشاهده شد اما بین سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۸). پتاسیم یکی از عناصر ضروری موردنیاز گیاه بوده که نقش مهمی در بقای گیاهان تحت تنش ایفا می‌نماید. این عنصر با حفظ پتانسیل اسمزی و تورژسانس سلول و تنظیم وظایف روزنه‌ای تحت تنش خشکی سرعت فتوسنتز، رشد و عملکرد گیاه تحت تنش را تقویت می‌کند (Khadem et al., 2010). افزایش غلظت یون پتاسیم و سدیم در گیاه تحت شرایط تنش را می‌توان ناشی از جذب بیشتر این یون‌ها در شرایط تنش دانست. در گزارش‌های متعددی افزایش مقدار جذب و تجمع پتاسیم در گیاهان مختلف تحت تنش خشکی بیان شده است (Tanguilig et al., 1987; Khadem et al., 2010).

### *فیبر نامحلول در شوینده خنثی (NDF) و فیبر نامحلول در شوینده اسیدی (ADF)*

مقدار NDF علوفه تحت تأثیر تیمارهای مختلف تنش خشکی معنی‌دار بود (جدول ۷). کمترین مقدار فیبر NDF به تیمار تنش شدید خشکی (۲۴/۴ درصد) تعلق داشت درحالی‌که بین دو تیمار آبیاری نرمال و تنش خشکی متوسط تفاوت معنی‌دار نبود (جدول ۸). مقدار ADF علوفه تحت تأثیر تیمارهای مختلف تنش خشکی معنی‌دار نبود (جدول ۷). همچنین کمترین مقدار فیبر ADF به تیمار تنش شدید خشکی (۱۸/۲۱ درصد) تعلق داشت (جدول ۸) مقدار NDF و ADF در کاکتوس علوفه‌ای به ترتیب ۳۴ و ۱۶/۶ درصد گزارش شده است (Mondragon-Jacobo and Perez-Gonzalez, 2001). مقدار NDF و ADF فیبر نشان می‌دهد علوفه کاکتوس به لحاظ داشتن میزان فیبر از کیفیت خوبی برای تغذیه دام برخوردار است. فیبر نامحلول در شوینده خنثی (NDF) بیانگر دیواره سلولی (سلولز، همی سلولز و لگنین) و قابلیت هضم علوفه است. علوفه با فیبر کمتر از سرعت هضم بیشتری برخوردار بوده و می‌تواند انرژی بیشتری برای دام تأمین نماید (Waghorn et al., 2007)؛ بنابراین می‌توان اظهار نمود در شرایط تنش شدید خشکی در کاکتوس به دلیل اختلال در فتوسنتز و تولید کربوهیدرات‌های ساختمانی درنهایت فیبر کمتری تولیدشده است.

### نتیجه‌گیری نهایی

درمجموع نتایج تحقیق نشان داد که تنش خشکی تأثیر معنی‌داری بر عملکرد علوفه، بهره‌وری مصرف آب، ضخامت

نسخه پیش از انتشار

پد، طول و عرض پد، وزن پد و پروتئین خام علوفه کاکتوس داشت. علیرغم فیزیولوژی گیاه کاکتوس و مقاومت به خشکی آن، با افزایش تنش خشکی عملکرد تر و خشک، بهره‌وری مصرف آب و پروتئین علوفه کاهش معنی‌داری نشان داد. بر اساس نتایج این تحقیق کاهش ۵۸/۲ درصدی در عملکرد علوفه تر و کاهش ۳۲/۵ درصدی در عملکرد علوفه خشک در تیمار تنش شدید خشکی نسبت به تیمار آبیاری نرمال مشاهده شد. متوسط مصرف آب ۲۵۰۷/۶ مترمکعب در هکتار بود. با توجه به نتایج به دست آمده به‌منظور بهره‌مندی از پتانسیل گیاه برای تولید علوفه، ضرورت دارد از ایجاد تنش خشکی طولانی‌مدت و شدید در گیاه اجتناب شود. دوره رشد رویشی کاکتوس در منطقه موردمطالعه عمدتاً در فصل بهار و اوایل تابستان بود و با خنک شدن و سرد شدن هوا از اواخر پاییز تا اوایل اسفند گیاه وارد مرحله رکود رشد گردید. با توجه به همیشه‌سبز بودن گیاه می‌توان از علوفه این گیاه در فصول پاییز و زمستان که کمبود علوفه تازه وجود دارد برای تعلیف دام استفاده نمود. این تحقیق مشخص نمود که امکان کشت و توسعه گیاه کاکتوس به‌عنوان یک گیاه جدید در منطقه شاهماران با اقلیم نیمه گرمسیری وجود دارد و می‌توان با توسعه کشت این گیاه در منطقه و با مصرف کم آب بخشی از کمبود علوفه در استان کرمان را مرتفع نمود.

## منابع


Alemu, T., Belete, Shimelash., Aynalem, Haile., 2017. Adaptation and performance evaluation of prickly pear cactus, *Opuntia ficus* indica L. for fodder production in Gumara-Maksegnit Watershed, North Gondar, Ethiopia. World Journal of Agricultural Sciences. 13 , 150-154. https://doi.org/10.5829/idosi.wjas.2017.150.154

Ait-El-Mokhtar, M., Boutasknit, A., Ben-Laouane, R., Anli, M., El Amerany, F., Toubali, S., 2020. Vulnerability of oasis agriculture to climate change in morocco. In: Impacts of Climate Change on Agriculture and Aquaculture. IGI Global, Hershey, PA. pp. 76–106. https://doi.org/10.4018/978-1-7998-3343-7.ch004

AOAC., 1990. Association of official analytical chemists, Washington DC. 15th ed.

Chiteva, R., Wairagau, N., 2013.Chemical and nutritional content of *Opuntia ficus* indica L. African Journal of Biotechnology. 12, 3309-3312. https://doi.org/10.5897/AJB12.2631

Campos, A.R.F., da Silva, A.J.P., van Lier, Q. de J., do Nascimento, F.A.L., Fernandes, R.D.M., de Almeida, J.N., da Silva Paz, V.P. 2021. Yield and morphology of forage cactus cultivars under drip irrigation management based on soil water matric potential thresholds. Journal of Arid Environments. 193, 1045-1064. https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2021.104564

Dekock, G.C., 1998. The use of cactus pear (*Opuntia* spp.) as a fodder source in the arid areas in Southern Africa. p.83-95, In: Proceedings of International Symposium on Cactus Pear and Nopalitos Processing and Uses. Universidad de Chile, Santiago, and FAO International Cooperation Network on Cactus Pear.

Dubeux, J.C.B., Jr., dos Santos, M.V.F., da Cunha, M.V., dos Santos, D.C., de Almeida Souza, R.T., de Mello, A.C.L., de Souza, T.C. 2021. Cactus (Opuntia and Nopalea) nutritive value: a review. Animal Feed Science and Technology. 275, 114890. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2021.114890

Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., Basra, S.M.A., 2008. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. Agronomy of Sustainable Development. 29, 185-212. https://doi.org/10.22092/jsb.2008.1036

Fotouhi, K., Ahmdaly, J., Noorjo, A., Pedram, A., Khorshid, A., 2009. Irrigation management under water discharge permit at the different stages of sugar beet grown in Miandoab region. Journal of Sugar Beet. 24, 43–60 [In Persian with English Summary]. https://doi.org/10.22092/jsb.2008.1036

Garcia de Cortazar, V., Nobel, P.S., 1990. Worldwide environmental productivity indices and yield predictions for a CAM plant, Opuntia ficus-indica, including effects of doubled $CO_2$ levels. Agricultural and Forest Meteorology. 49, 261-279. https://doi.org/10.1016/0168-1923(90)90001-M


نسخه پیش از انتشار

Grunwaldt, J.M., Guevara, J.C., Grunwaldt, E.G., 2015. Review of scientific and technical bibliography on the use of Opuntia spp. as forage and its animal validation. Journal of Professional Association for Cactus Development. 17, 13-32. https://doi.org/10.56890/jpacd.v17i.59

Ghasemi, S., Ramezani, M., Fatemi Nik, F., Rafeei, F., 2011. The possibility of cultivating forage cactus in low yielding areas. Sixth National Conference on New Ideas in Agriculture. Islamic Azad University of Khorasgan. [In Persian with English Summary].

Goldstein, G., Ortega, J.K.E., Nerd, A., Nobel, P.S., 1991. Diel patterns of water potential components for the crassulacean acid metabolism plant Opuntia ficus-indica when wellwatered or droughted. Plant Physiology. 95, 274–80. https://doi.org/10.1104/pp.95.1.274

Gonzalez, C.L., 1989. Potential of fertilization to improve nutritive value of prickly pear cactus (*Opuntia lindheimeri* Engelm.). Journal of Arid Environments. 16, 87-94. https://doi.org/10.1016/S0140-1963(18)31050-4

Gregory, R.A., Felker, P., 1992. Crude protein and phosphorus contents of 8 contrasting Opuntia forage clones. Journal of Arid Environments. 22, 323–331. https://doi.org/10.1016/S0140-1963(18)30574-3

Khadem, S.A., Galavi, M., Ramrodi, M., Mousavi, S.R., Rousta, M.J., Moghadam, M. R., 2010. Effect of animal manure and superabsorbent polymer on corn leaf relative water content, cell membrane stability and leaf chlorophyll content under dry condition. Australian Journal of Crop Science. 4(8), 642-647. https://www.researchgate.net/publication/215581966

Liguori, G., Inglese, G., Pernice, F., Sortino, G., Inglese, P., 2013. CO2 uptake of *Opuntia ficus* indica L. Mill. whole trees and single cladodes, in relation to plant water status and cladode age. Italian Journal of Agronomy. 83, 14-20. https://doi.org/10.4081/ija.2013.e3

Maltsberger, B., 1996. Cactus as a resource for cattle and wildlife (Online). verified 28 June 2006, Available at: www.jpacd.org. https://hdl.handle.net/20.500.11766/67791

Mondragon-Jacobo, C., Perez-Gonzalez, S., 2001. Cactus (*Opuntia* spp.) as Forage. FAO Plant Productionand Protection Paper169. Rome: Food and Agri-culture Organization of the United Nations, P. 146.

Musick, J.T., Dusek, D.A., 1971. Grain sorghum response to number, timing, and size of irrigation in the southern High Plains. Transactions, American Society of Agricultural and Biological Engineers. 14, 401- 410.

Najafinezhad, H., Javaheri, M.A., Koohi, N., Shakeri, p., 2019. Forage yield and quality and water productivity of kochia, millet, sorghum and maize under water deficit stress conditions. Seed and plant production journal. 35, 261-283. [In Persian with English Summary]. https://doi.org/10.22092/sppj.2020.125210.1066

Nobel, P.S., 2001. Ecophysiology of Opuntia ficus-indica, in: Mondragón-Jacobo, C., Perez-Gonzalez, S. (Eds.), Cactus (*Opuntia* spp.) as forage, FAO Plant. FAO, Rome, IT, pp. 13–20.

Nobel, P.S., 2006. Parenchyma-chlorenchyma water movement during drought for the hemiepiphytic cactus Hylocereus undatus. Ann. Bot. 97, 469–474. https://doi.org/10.1093/aob/mcj054

Nobel, P.S., Hartsock, T.L., 1983. Relationships between potosynthetically active radiation,nocturnal acid accumulation, and CO2 uptake for a crassulacean acid metabolism plant, Opuntia ficus-indica. Plant Physiology. 71, 71–75. https://doi.org/10.1104/pp.71.1.71

Pimienta-Barrios, E., Castillo-Cruz, I., Zanudo-Hernandez, J., Mendez-Moran, L., Nobel, P.S., 2007. Effects of shade, drought and daughter cladodes on the CO2 uptake by cladodes of Opuntia ficus indica. Annals of Applied Biology. 151, 137–44. https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2007.00160.x

Rezaei, K., Nouri, M., Ghaderi Daneshmand, N., 2013. Stable multi-purpose application of thornless cactus (*Opuntia ficus* indica). The first national conference on medicinal plants and sustainable agriculture. Hamedan. Shahid Mofteh University, 18 October. [In Persian with English Summary].

Scalisi, A., Morandi, B., Inglese, P., Lo Bianco, R., 2016. Cladode growth dynamics in Opuntia fi-cus-indica under drought. Environmental and Experimental Botany, 122, 158-167.

https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2015.10.003

Snyman, H.A., 2004. Effect of various water applications on root development of Opuntia ficus-indica and O. robusta under greenhouse growth conditions. Journal of the Professional Association for Cactus Development. 6, 35-61.

Sparks, D. L., 1996. Methods of soil analysis. Part 3 - Chemical methods. SSSA Book Series No. 5. SSSA and ASA, Madison WI. https://doi.org/10.2136/sssabookser5.3

Tarekegn, A., Shimelash, B., Haile, A., 2017. Adaptation and performance evaluation of prickly pear cactus, *Opuntia ficus* indica L. for fodder production in Gumara-Maksegnit Watershed, North Gondar, Ethiopia. World Journal of Agricultural Sciences. 13, 150-154. https://doi.org/10.5829/idosi.wjas.2017.150.154

Tanguilig, V.C., Yambao, E.B., Toole, J.C.O., DeDatta, S.K., 1987. Water stress effects on leaf elongation, leaf water potential, transpiration, and nutrient uptake of rice, maize, and soybean. Plant Soil. 103, 155-168. https://doi.org/10.1007/BF02370385

Thomas, J. C., Armond, R. L., Bohnert, H. J. 1992. Influence of NaCl on growth, proline, and phosphoenolpyruvate carboxylase levels in Mesembryanthemum crystallinum suspension cultures. Plant Physiology. 98, 626-631. https://doi.org/ 10.1104/pp.98.2.626

Van-Soest, P.J., Robertson, J.B., Lewis, B.A., 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. Journal of Dairy Science.74, 3583-3597. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2

Waghorn, G.C., Burke, J. L., Kolver, E.S., 2007. Principles of feeding value. In pastures and supplements for grazing animals. Occasional publication No. 14. Eds. Rattray, P.V., Brookes, I.M., Nicol, A.M. New Zealand Society of Animal Production, Hamilton, New Zealand.pp: 35-59.

نسخه پیش از انتشار