

The Effect of Soil Moisture Conditions on Some Quantity and Palatability Traits of *Opuntia ficus indica* L. in Dasht-e-Zahab

SAEED SHARAFI^{1*}, MOHAMMAD JAVAD NAHVINIA², EHSAN MOHAMMADI³

1. Department of Environmental Science and Engineering, Arak University, Arak, Iran.

2. Department of Irrigation Science and Engineering, Arak University, Arak, Iran.

3. Department of Water Engineering, Faculty of Water and Soil, University of Zabol, Zabol, Iran.

(Received: Sep. 14, 2019- Revised: July. 28, 2020- Accepted: July. 29, 2020)

ABSTRACT

Fodder plants are the most important crops in the world, because these plants provide fodder for millions of livestock in the world, which in turn feeds millions of people. In order to evaluate the effect of drought stress on some agronomic traits and forage palatability of cactus, an experiment was carried out on the basis of a randomized complete block design consisted of four treatments; the supply of water based on 56, 24, 15 and zero percent of the plant dry matter (rain-fed farming condition) with three replications in Research farm of Dasht-e-Zahab (2017-2018). The results showed that there is not a significant difference between the drought stress (23.34 and 18.28, respectively) and normal irrigation (23.17 and 20.18, respectively) in terms of length and width of pad in moderate drought. The maximum fresh yield was obtained in years of 2017 (65.46 t.ha⁻¹) and 2018 (64.88 t.ha⁻¹) in the no-stress treatment. The fresh yield was 60.04 t.ha⁻¹ in the moderate-stress treatment. Also, the maximum dry yield was obtained in the first year of no-stress treatment which did not have a significant difference with the moderate-stress treatment. The ratio of elements concentration in the young pads to the 1- and 2-year pads were respectively 33.43 and 23.4 percent for P, 0.14 and 21.48 percent for K, 2.47 and 21.55 percent for Ca and 66.01 for Na. The results showed that the deficit irrigation increased nutrition accumulation and forage palatability of the crop. Also, dry and wet forage showed a positive significant correlation with the length and width of pad and forage palatability. Therefore, it is possible to achieve similar forage with normal irrigation treatment by applying moderate drought stress. Cactus pear with its high efficiency in converting water to dry matter, produces significant forage and helps to revive vegetation in drought conditions.

Keywords: Drought Stress, Forage Production, New Pads, Nutrition Materials, Water Requirement.

اثر شرایط رطوبتی خاک بر برخی صفات کمی و خوش خوراکی کاکتوس علوفه‌ای (*Opuntia ficus indica* L.) در منطقه دشت ذهاب

سعید شرفی^{۱*}، محمد جواد نحوی‌نیا^۲، احسان محمدی^۳

۱. گروه علوم و مهندسی محیط‌زیست، دانشگاه اراک، اراک، ایران.

۲. گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه اراک، اراک، ایران.

۳. گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۶/۲۳ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۵/۷ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۵/۸)

چکیده

گیاهان علوفه‌ای از مهمترین گیاهان زراعی زیر کشت در جهان به‌شمار می‌آیند، زیرا این گیاهان علوفه میلیون‌ها دام را در جهان تأمین می‌نمایند که این دام‌ها نیز به نوبه خود غذای میلیون‌ها انسان هستند. به‌منظور ارزیابی تأثیر سطوح تنش خشکی بر برخی صفات زراعی و خوش‌خوراکی کاکتوس علوفه‌ای، آزمایشی در مزرعه تحقیقاتی دشت ذهاب در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی شامل؛ چهار تیمار تأمین آب به میزان ۵۶، ۲۴، ۱۵ درصد وزن خشک گیاه و شرایط دیم با سه تکرار در دو سال ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ اجرا شد. نتایج نشان داد که اثر تنش خشکی در هر دو سال آزمایش بر میزان کاهش طول و عرض پد در تیمار تنش متوسط (به‌ترتیب ۲۳/۳۴ و ۱۸/۲۸ میلی‌متر) در مقایسه با تیمار آبیاری نرمال (به‌ترتیب ۲۳/۱۷ و ۲۰/۱۸ میلی‌متر) از نظر آماری معنی‌داری نشد. بیشترین علوفه‌تر در تیمار بدون تنش در هر دو سال آزمایش حاصل شد (به‌ترتیب ۶۵/۴۶ و ۶۴/۸۸ تن در هکتار) و این در حالی بود که در تیمار تنش متوسط نیز ۶۰/۰۴ تن علوفه‌تر در هکتار تولید شده بود. بیشترین وزن علوفه خشک نیز در تیمار بدون تنش در سال اول آزمایش حاصل شد، که با تیمار تنش متوسط اختلاف معنی‌داری نداشت. نسبت غلظت عناصر در پدهای جوان به پدهای یکساله و دوساله برای عناصر فسفر ۲۳/۴ و ۳۳/۴۳ درصد، برای پتاسیم ۰/۱۴ و ۲۱/۴۸ درصد، برای کلسیم ۲/۴۷ و ۲۱/۵۵ درصد و برای سدیم ۶۶/۰۱ درصد بود. نتایج نشان داد که کم‌آبیاری باعث افزایش تجمع عناصر و خوش‌خوراکی علوفه شد. همچنین، علوفه خشک و علوفه تر همبستگی مثبت و معنی‌داری با طول و عرض پد، و میزان خوش‌خوراکی نشان دادند. بنابراین، می‌توان با اعمال تنش خشکی متوسط، به علوفه مشابه با تیمار آبیاری نرمال دست یافت. کاکتوس علوفه‌ای با داشتن کارایی بالا در تبدیل آب به ماده خشک، علوفه قابل توجهی را تولید کرده و به احیای پوشش‌های گیاهی سازگار با شرایط کم‌آبی کمک زیادی می‌کند.

واژه‌های کلیدی: پد جدید، تنش خشکی، تولید علوفه، مواد مغذی، نیاز آبی.

مقدمه

می‌شوند، لذا بایستی با یک مدیریت مطلوب امکان استفاده بهینه از منابع آب مناطق نیمه‌خشک را میسر نموده و به سطح زیر کشت و بازدهی این مناطق افزود. تنش خشکی و زمان نامناسب آبیاری بر بسیاری از فرایندهای فیزیولوژیک گیاه مانند فتوسنتز، انتقال مواد ذخیره‌ای و فتوسنتزی به دانه، تجمع و انتقال مواد غذایی در گیاه تأثیر دارد (Najafi Babadi et al., 2018).

کاکتوس علوفه‌ای^۱، گیاهی است چند ساله و گوشتی که در آب و هوای گرم و خشک از جمله مناطق گرمسیری جنوب و جنوب غربی ایران با استفاده از حداقل رطوبت خاک قابلیت رشد و نمو دارد و علوفه قابل ملاحظه‌ای (۳۵ تن در هکتار) را تولید می‌کند و می‌تواند تحولی در مراتع تخریب شده مناطق گرمسیری کشور بوجود آورد (Sharafi et al., 2012). کاکتوس علوفه‌ای یک

اگرچه آب فراوان‌ترین ترکیب کره‌زمین به حساب می‌آید و در تمام واکنش‌های شیمیایی اهمیت حیاتی دارد، اما کمبود آن مهم‌ترین عامل محدودکننده عملکرد محصولات کشاورزی در سراسر جهان به‌شمار می‌رود. در نواحی خشک و کم‌آب مانند ایران، گذشته از اینکه آب‌های موجود برای کشاورزی کافی نیست؛ راندمان مصرف آب واقعی پایین بوده و از مقدار آب آبیاری قبل از اینکه در اختیار گیاه قرار گیرد، بخش قابل توجهی به نحوی از بین می‌رود (Naiemi et al., 2018). در کشور ما از یک‌سو بهره‌وری آب پایین بوده و از سوی دیگر پراکندگی نزولات در ایران (مناطق خشک و نیمه خشک) اغلب منطبق با نیازهای زراعی نبوده و عمده محصولات دچار تنش‌های خشکی ممتد و یا موقت

* نویسنده مسئول: saeed-sharafi@araku.ac.ir

شب هنگام، زمانی که شرایط درجه حرارت و رطوبت مناسب است، جذب CO_2 برای چند ساعت افزایش می‌یابد. افزایش سریع در جذب CO_2 هنگامی رخ می‌دهد که نور خورشید در حوالی غروب اندک است (Sharafi et al., 2012; Iqbal et al., 2020). CO_2 جذب شده در گیاهان CAM به مانند فرآیند گیاهان سه-کربنه است و تبدیل آن به نشاسته به مانند گیاهان C_4 است (Liguri et al., 2013; Torres-ponce et al., 2015). در شب اسیدهای آلی در واکنش‌های بزرگ ذخیره شده و CO_2 به طور پیوسته از اسیدهای آلی ذخیره شده به داخل بافت‌های گیاهی در طول روز آزاد می‌شوند. فرآیند فتوسنتز در بافت‌های کلرانسیم صورت می‌گیرد (Liguri et al., 2013). راندمان مصرف آب (نسبت CO_2 تثبیت شده در طی فرآیند فتوسنتز به آب تلف شده از طریق فتوسنتز) کاکتوس $0.22/1.14$ مول بر مترمربع در روز CO_2 تثبیت شده به نسبت ۵۱ مول بر مترمربع آب تلف شده در روز) که سه برابر بیشتر از ذرت و نیشکر و پنج برابر بیشتر از گندم برنج، یونجه و غیره است (Saenz et al., 2013).

هر چند در شرایط تنش آبی ملایم نیز کاهش فتوسنتز و عملکرد مشاهده می‌شود، اما با انجام آبیاری می‌توان تا حدودی این اثرات منفی را کاهش و عملکرد را بهبود داد. از طرف دیگر در اغلب موارد کاهش هدایت روزنه‌ای و در پی آن کاهش ورود دی‌اکسیدکربن به داخل برگ‌ها مشاهده می‌گردد (Bacelar et al., 2007). در مجموع تنش خشکی منجر به تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن می‌شود که تداخل در فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای را در پی دارد (Tadina et al., 2007). تجمع اکسیژن رادیکالی منجر به ایجاد تنش اکسیداتیو می‌گردد، که پیامدهایی مانند اکسید شدن چربی‌ها، پروتئین‌ها، DNA، رنگدانه‌های فتوسنتزی و غیر فعال شدن آنزیم‌ها را در پی دارد (Del Buono et al., 2011). بنابراین رشد و تولید گیاه به شدت کاهش می‌یابد (Hasanuzzaman et al., 2010; Bacelar et al., 2007).

در مناطق خشک و نیمه‌خشک، کاکتوس علوفه‌ای به دلیل داشتن قابلیت هضم بالا برای دام، از مهمترین منابع تغذیه علوفه-ای به شمار می‌آید. کیفیت علوفه حاصل از کاکتوس ارتباط مستقیمی با سن پدها، فصل سال، اقلیم، نوع گونه، رقم، رطوبت و حاصلخیزی خاک و مدیریت زراعی دارد (Iqbal et al., 2020). قابلیت هضم آن حدود ۲۱۷ گرم بر کیلوگرم ماده خشک بوده (Cordova-Torres et al., 2015) که در مقایسه با گیاهان سورگوم (۱۱۲ تا ۱۸۰ گرم بر کیلوگرم ماده خشک) و کلزا (۱۱۰ تا ۱۲۹ گرم بر کیلوگرم ماده خشک) ۷۰ تا ۸۲ درصد بیشتر است (Iqbal et al., 2020). هم‌چنین میزان لیگنین کاکتوس علوفه‌ای حدود ۵۰ تا ۸۰ گرم بر کیلوگرم ماده خشک و میزان پروتئین

گونه چند منظوره بوده که علاوه بر علوفه، میوه‌های بسیار شیرین و مقوی دارد و در برخی کشورها، بازار خوبی را به خود اختصاص داده است (Ramos et al., 2013; Ciriminna et al., 2017). این گیاه را می‌توان در عرض‌های جغرافیایی ۲۵-۴۵ درجه در دو نیم‌کره شمالی و جنوبی که زمستان‌های ملایم و تابستان‌های گرم و خشک دارند، کشت نمود. انتظار می‌رود که در این مناطق تشعشع خورشیدی دریافتی بالا بوده، بنابراین تبخیر از سطح خاک افزایش یافته و کمبود آب مشکل بسیار جدی باشد (Barranco et al., 2010). بر همین اساس خشک‌سالی از ویژگی‌های مرسوم و طبیعی این مناطق است، که طی چند دهه‌ی گذشته به‌طور جدی به محصولات کشاورزی آسیب رسانده است. در این دوران به‌علت کاهش علوفه تعداد زیادی از دام‌ها تلف شده و به محصولات لبنی نیز خسارت زیادی وارد شده است. کاکتوس علوفه‌ای که اغلب تحت شرایط دیم کشت می‌شود، توانایی تحمل شرایط کم آبی و خاک‌های فقیر را دارد. هم‌چنین این گیاه سرشار از ویتامین A و مواد معدنی مغذی می‌باشد، بنابراین می‌تواند منبع علوفه‌ای مناسبی برای مناطق گرم و خشک کشور به‌ویژه مراتع کم بازده و اراضی حاشیه‌ای باشد. از طرف دیگر با توجه به عملکرد بالای این گیاه (تولید ۱۰۰-۲۰۰ تن علوفه‌خشک در هکتار) توانایی تأمین علوفه مورد نیاز دام‌ها را نیز دارد (Cushman, 2001).

اهمیت کاکتوس علوفه‌ای در مناطق خشک و نیمه خشک به‌دلیل تغذیه دام‌ها و تأمین علوفه در ماه‌های خشک سال می‌باشد (Gebremedhn, 2018). هزینه‌های کشت و پرورش این گیاه بسیار ارزان بوده و می‌تواند دوره‌های خشکی طولانی مدت را به‌راحتی تحمل نماید، بنابراین در اراضی غیرحاصل‌خیز نیز این گیاه می‌تواند عملکرد مناسبی داشته باشد. با توجه به فشار دام بر مراتع در فصل گرما و کاهش تولیدات دامی (مانند شیر) در این فصل، کشت این گیاه می‌تواند راه حل مناسبی برای رفع این مشکل باشد (Ben Salem and Louhaichi, 2014). با کشت این گیاه در مناطق کم‌باران، می‌توان در فصل‌های خشک سال و در یک بازه زمانی کوتاه، از ساقه آن در تغذیه دام و از میوه آن در تغذیه انسان استفاده کرد (Mengistu et al., 2016). هم‌چنین بر اساس مطالعات سازمان هواشناسی اداره کشاورزی اتیوپی، مقدار بارندگی ۸۰ میلی‌متر در فصل بهار برای کشت این گیاه مناسب بوده و این گیاه قابلیت تولید حدود ۲۰۰ تن در هکتار علوفه تر دارد. (Gebremedhn, 2018).

کاکتوس جزو گیاهان CAM بوده و مکانیسم آن با گیاهان سه و چهارکربنه متفاوت است. این گیاهان در شب روزنه‌ها را باز می‌کنند به همین دلیل بسیار مقاوم به خشکی هستند. گیاهان CAM به منظور انجام تبادلات گازی در روز بسته هستند و در

و از طرفی دیگر با مقادیر بسیار کمی از آب نیاز آبی آن تامین می گردد، بنابراین یافتن روشی که دقت بالایی در اعمال تنش خشکی-آبی داشته باشد، الزامی است. بر همین اساس، می بایست تنش‌ها با استفاده از روش‌های نوین تعیین نیاز آبی گیاهان، به‌ویژه گیاهان چندساله در مناطق خشک اعمال گردد. در این تحقیق، به‌منظور تعیین سطوح تنش، از بیوماس بافت‌های گیاهی خود گیاه کاکتوس استفاده شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش طی دو سال ۹۷-۱۳۹۶ در شهرستان سرپل‌ذهاب واقع در استان کرمانشاه با ارتفاع ۵۵۰ متر از سطح آزاد دریا، طول جغرافیایی ۴۵ درجه و ۴۹ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۲۸ دقیقه شمالی است. خصوصیات اقلیمی منطقه مورد مطالعه در جدول (۱) ارائه شده است.

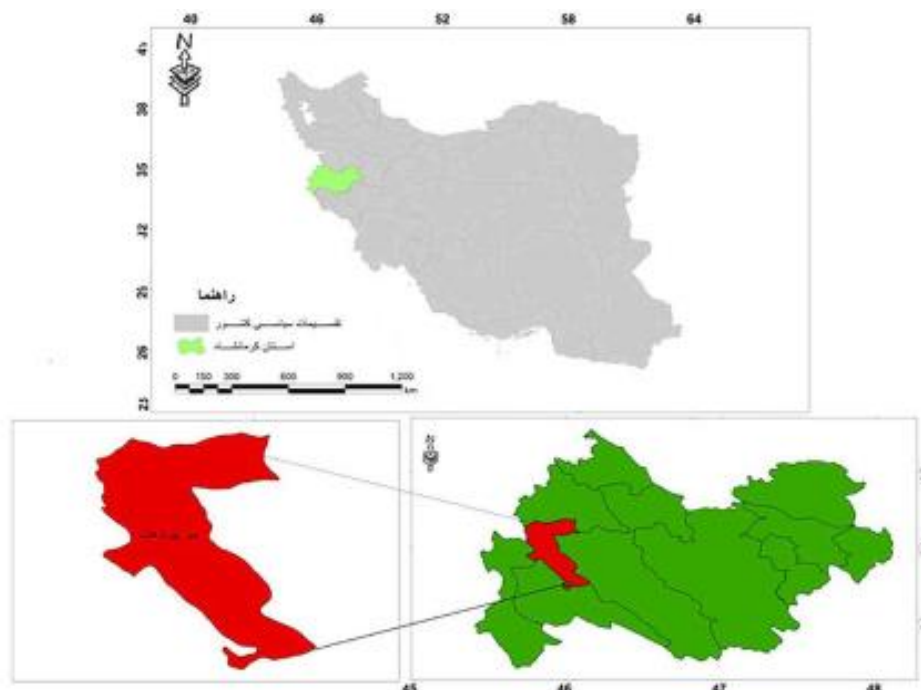
یکی از مشکلات موجود در خاک‌های دشت ذهاب وجود آهک فراوان در لایه فوقانی خاک و کمبود عناصر کم مصرف، کلسیم و منیزیم می‌باشد. به‌منظور ارزیابی کیفی خاک، تعداد ۱۰ نمونه از هر کرت به‌صورت تصادفی در دو مرحله برای هر سال نمونه‌برداری شد، تعداد ۱۰ نمونه در هر مزرعه برداشت شد (۱ کیلوگرم خاک). برای ایجاد یک نمونه، پس از مخلوط خاک‌ها با هم در کیسه‌های کاغذی قرار داده شدند و به آزمایشگاه انتقال داده شدند. سپس نمونه‌ها در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شد، تا به وزن ثابت برسد. نمونه‌های خاک پس از خشک شدن با استفاده از آسیاب برقی با محفظه تمام استیل آسیاب و نمونه‌های آسیاب شده تا زمان عصاره‌گیری در ظروف پلاستیکی که قبلاً با اسید رقیق شسته شده نگهداری شدند. دو گرم از هر نمونه توزین و به‌منظور تعیین غلظت کلسیم (Ca)، پتاسیم (K)، منیزیم (Mg)، سدیم (Na) و فسفر (P) موجود در نمونه‌ها با روش اکسیداسیون تر توسط HNO_2 و H_2O_2 هضم (Demirak et al., 2006) و توسط دستگاه‌های جذب اتمی و کوره گرافیتی (ICP-AES) اندازه‌گیری شدند (Li et al., 2004). خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در جداول ۲ و ۳ ارائه شده است.

خام آن (۴ تا ۸ درصد) در مقایسه با الیاف خام (۹ تا ۲۰ درصد) کمتر است (Soni et al., 2015). با توجه به فقر میزان پروتئین در کاکتوس علوفه‌ای، دام رغبتی به تغذیه از آن نخواهد داشت. لیکن، در صورتی که غلظت عناصر معدنی نظیر؛ فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و سدیم در آن افزایش یابد و در شرایط اعمال تنش خشکی، با توجه به شیب منفی پتانسیل اسمز، غلظت این عناصر در بافت‌های گیاهی افزایش یافته و خوش‌خوراکی آن (به منظور تغذیه دام) بهبود خواهد یافت (Sharafi et al., 2012).

(Sharafi et al., 2012) بهترین عملکرد علوفه تر و خشک کاکتوس علوفه‌ای در دشت مهران واقع در استان ایلام را در شرایط بدون تنش به‌ترتیب ۳۵/۱۶ و ۳/۶۷ تن در هکتار گزارش کردند. استان کرمانشاه ۱/۹ درصد از علوفه کشور را تولید می‌کند. سطح زیر کشت علوفه در استان کرمانشاه ۱۹۸۶۲ هکتار و متوسط میزان تولید علوفه در این استان برابر ۱۵/۵ تن در هکتار است. با توجه به مشکل کمبود آب به‌خصوص در ماه‌های تابستان در این استان و نیاز آبی بالای گیاهان علوفه‌ای نظیر یونجه و ذرت علوفه‌ای، انتخاب و کاشت یک گیاه مناسب، مقاوم به خشکی و دارای بازده بالا یکی از مهم‌ترین مدیریت‌های زراعی می‌باشد. بنابراین با توجه به مشکلات متعدد در خاک‌های کشور و به‌ویژه غرب کشور، نیاز مبرمی به احیای پوشش‌های گیاهی سازگار با شرایط کم‌آبی احساس می‌گردد. کاکتوس‌های علوفه‌ای با داشتن کارایی بالا نسبت به گراس‌ها و لگوم‌ها در تبدیل آب به ماده خشک، دارای تولید متنابهی از علوفه، میوه و سایر فرآورده‌های مفید که ارزش اقتصادی بالایی دارند، هستند (Nefzaoui and Ben Salem, 2001). گیاه کاکتوس به‌علت داشتن مقاومت بالا در برابر کمبود آب و میزان تولید، قابلیت هضم و سرعت رشد بسیار بالا می‌تواند گزینه مناسبی به‌عنوان کشت جایگزین منابع تغذیه علوفه‌ای فعلی نظیر؛ یونجه، سورگوم، ارزن علوفه‌ای، ذرت علوفه-ای و شبدر در منطقه باشد، لذا بررسی تاثیر تنش خشکی بر صفات کمی و خوش‌خوراکی گیاه کاکتوس علوفه‌ای در این منطقه ضرورت دارد. بنابراین هدف از این پژوهش ارزیابی اثرات شرایط مختلف رطوبت خاک بر صفات کمی و خوش‌خوراکی کاکتوس علوفه‌ای در منطقه دشت ذهاب استان کرمانشاه است. از آنجا که بخش قابل توجهی از پیکره گیاه کاکتوس را آب تشکیل می‌دهد

جدول ۱- خصوصیات اقلیمی منطقه دشت ذهاب طی دو سال آزمایش

سال	بارندگی (mm)	تبخیر و تعرق مرجع ($mm.y^{-1}$)	رطوبت نسبی (%)	درجه حرارت حداقل ($^{\circ}C$)	درجه حرارت حداکثر ($^{\circ}C$)	درجه حرارت میانگین ($^{\circ}C$)	تعداد روزهای یخبندان
۱۳۹۶	۴۲۰	۲۰۹۰/۴	۴۶	۱۲/۴	۲۸/۶	۲۰/۱	۳۰
۱۳۹۷	۳۸۱	۲۳۶۱/۷	۴۴	۱۳/۶	۳۰/۲	۲۱/۷	۷



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

جدول ۲. خصوصیات فیزیکی خاک محل آزمایش

عمق خاک (cm)	بافت خاک	جرم مخصوص ظاهری (g.cm ⁻³)	درصد اندازه ذرات خاک			نقطه پژمردگی دائم (PWP) (%)	کل آب قابل دسترس (mm)
			شن	سیلت	رس		
۱۵ - ۰	S-C-L	۱/۴۱	۶۱/۲	۶/۳	۳۲/۵	۱۲	۱۴
۳۰ - ۱۵	S-C-L	۱/۳۷	۵۸/۱	۵/۶	۳۷/۳	۹	۱۵
۴۵ - ۳۰	S-C-L	۱/۲۸	۵۷/۲	۸/۶	۳۵/۲	۷	۱۴

جدول ۳- خصوصیات شیمیایی خاک محل آزمایش

اسیدیته خاک	شوری (dS.m ⁻¹)	ماده آلی (%)	نیتروژن	فسفر (mg.kg ⁻¹)	پتاسیم
۷/۵	۰/۱۲	۱/۷۱	۰/۱۸	۲	۲۱۸

در طی فصل رشد گیاه بود. در مرحله بعدی سه دسته ۷ تایی از بوته‌های هم‌اندازه (بعد از توزین) به مدت ۳۶ ساعت در داخل آون قرار داده می‌شدند (سه تکرار). آب موجود در نمونه‌های گیاهی حدود ۱۲ درصد وزن خشک گیاه تعیین شد. همچنین پس از قرار دادن بوته‌ها به مدت ۶، ۱۲ و ۲۴ ساعت در آون (در دمای ۱۰۴ درجه سانتی‌گراد) و توزین مجدد، آب موجود در نمونه‌های گیاهی به ترتیب معادل ۱۰۰، ۸۰ و ۲۵ درصد آب موجود در گیاه یا معادل ۵۶، ۲۴ و ۱۵ درصد وزن خشک گیاه مشاهده شد. بر اساس نتایج مشاهدات آزمایشگاهی، تیمارهای این تحقیق شامل؛ تیمار بدون تنش (شرایط آبی نرمال) معادل تأمین ۱۰۰ درصد

برای انجام این مطالعه، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو سال (۱۳۹۶-۱۳۹۷) اجرا شد. تیمارهای آبیاری بر اساس وزن خشک گیاه کاکتوس علوفه‌ای، پیشنهاد شده توسط Proietti et al., (۲۰۱۳) اعمال گردید. به منظور تعیین میزان آب موجود در نمونه‌های گیاهی و تعیین عمق آبیاری مورد نیاز، از مزرعه تحقیقاتی مجاور، واقع در دشت ذهاب، که در آن گیاه کاکتوس علوفه‌ای به‌طور همزمان با این مطالعه به‌صورت کامل آبیاری می‌شد، اقدام به نمونه‌برداری در طول فصل رشد گردید. این نمونه‌برداری‌ها به‌صورت هفتگی تا پیش از شروع بارندگی‌ها انجام می‌شد. در همین راستا، ابتدا یک متر مربع از مساحت بوته‌هایی که آبیاری کامل شده بودند، انتخاب می‌شد. ارتفاع بوته‌های انتخاب شده ۷۵ سانتی‌متر در کل کرت

پد مادری)، میانگین تعداد پد روی پد (تعداد پد جدید روی پدهای روییده شده از پد مادری یا پدهای ثانویه) (شکل ۲)، طول پد، عرض پد، عملکرد علوفه‌تر، علوفه‌خشک و خوش‌خوراکی کاکتوس علوفه‌ای (غلظت عناصر کلسیم، منیزیم، پتاسیم، سدیم و فسفر در علوفه) بود. به‌منظور ارزیابی خوش‌خوراکی علوفه، تعداد ۱۰ نمونه از هر کرت به‌صورت تصادفی در دو مرحله نمونه‌برداری شد، تعداد ۱۰ نمونه در هر مزرعه برداشت شده (۱ کیلوگرم محصول) و برای ایجاد یک نمونه با هم مخلوط شدند و در کیسه‌های کاغذی قرار داده و به آزمایشگاه منتقل گردید. نمونه‌های محصول از اندام خوراکی برداشت و با آب مقطر شستشو داده شد، سپس نمونه‌ها در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شد، تا به وزن ثابت برسد. نمونه‌ها پس از خشک شدن با استفاده از آسیاب برقی با محفظه تمام استیل آسیاب و نمونه‌های آسیاب شده تا زمان عصاره‌گیری در ظروف پلاستیکی که قبلاً با اسید رقیق شسته شده نگهداری گردید. ۲ گرم از هر نمونه توزین و به‌منظور تعیین غلظت کلسیم (Ca)، پتاسیم (K)، منیزیم (Mg)، سدیم (Na) و فسفر (P)، سر موجود در نمونه‌ها با روش اکسیداسیون تر توسط HNO_3 و H_2O_2 هضم (Demirak et al., 2006) و توسط دستگاه‌های جذب اتمی و کوره گرافیتی (ICP-AES) اندازه‌گیری شدند (Li et al., 2004).



شکل ۲- نمایش پد روی پد مادری و پد روی پد

به‌منظور تجزیه و تحلیل آماری داده‌های آزمایش، ابتدا آزمون مقادیر نرمال‌سازی داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگوروف-اسمیرنوف^۶، آندرسون-دارلینگ^۷ و کای-اسکوور^۸ (در سطح ۱ و ۵ درصد) انجام گردید. سپس برای تجزیه واریانس، از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۲ و برای مقایسه میانگین صفات از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد استفاده شد. برای صفاتی که اثر متقابل تیمارها معنی دار بود، اقدام به برش‌دهی^۸ تاثیر متقابل

آب موجود در گیاه (۵۶ درصد وزن خشک گیاه: N)، تأمین ۸۰ درصد آب موجود در گیاه (۲۴ درصد وزن خشک گیاه، معادل تنش متوسط: MD)، تأمین ۲۵ درصد آب موجود در گیاه (۱۵ درصد وزن خشک گیاه، معادل تنش شدید: WS) و عدم آبیاری یا تنش بسیار شدید (دیم: RF) در نظر گرفته شدند. سپس آبیاری با استفاده از مقادیر تعیین شده، توسط کنتور حجمی قرائت شده و با استفاده از نوارهای پلاستیکی در ساعات اولیه صبح در طول فصل زراعی انجام می‌شد.

به‌منظور آماده‌سازی بستر کشت، ابتدا زمین مورد نظر برای اجرای آزمایش، به عمق ۳۰-۲۵ سانتی‌متر شخم زده شد. هر کرت آزمایش از سه ردیف کاشت به فاصله دو متر و طول ۱۰ متر تشکیل گردید. فاصله بوته در روی هر ردیف نیز دو متر در نظر گرفته شد. بین هر دو تیمار دو متر و بین دو کرت اصلی نیز دو متر و فاصله بین دو تکرار نیز سه متر در نظر گرفته شد. به‌منظور کشت گیاهان، پدهای مورد نیاز (رقم اتیوپی، توده آفریقا) از سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه تهیه گردید. به‌طور تقریبی، طول و ارتفاع پدها، ۵ × ۳ سانتی‌متر بود. برای انجام کشت موفقیت‌آمیز و استقرار مطلوب گیاهان و ریشه‌زایی بهتر، دو سوم پدها در زیر خاک قرار گرفتند. به‌منظور انجام کشت ارگانیک و با توجه به کمبود میزان ماده آلی خاک و توصیه کارشناسان سازمان جهاد کشاورزی، قبل از کاشت نیز از کود دامی پوسیده معادل صد تن در هکتار برای بهبود وضعیت خاک محل آزمایش مورد استفاده قرار گرفت و همچنین برای جلوگیری از هرگونه خسارت چرا یا آسیب جوندگان به‌وسیله فنس اطراف محل آزمایش محصور گردید. پس از کاشت (اول اردیبهشت ۱۳۹۶) تا زمان اعمال تیمارهای تنش (۱۰ اردیبهشت ماه)، به هیچ وجه آبیاری صورت نگرفت. در زمان وقوع بارندگی موثر، تاریخ تعیین شده برای آبیاری‌ها بر اساس محاسباتی که شرح داده شد، به همان نسبت به تعویق افتاد. مقدار عمق آبیاری در طول فصل زراعی در تیمار آبیاری نرمال، تنش متوسط، تنش شدید به ترتیب برابر ۱۱۰، ۷۰ و ۴۰ میلی‌متر بود. با توجه به نوع طرح، در طول دوره رشد و نمو گیاه زمان دقیق ظهور اندام‌های هوایی جدید و میوه ثبت و برای دستیابی به سرعت و روند رشد، به فاصله هر یک ماه یک بار طول و عرض پدها اندازه‌گیری شد. در مرحله برداشت نیز به‌منظور برآورد میزان عملکرد علوفه تر و خشک نمونه‌گیری انجام شد. صفات مورد بررسی شامل؛ میانگین پد روی پد مادری (تعداد پد جدید روی

6 - Anderson-Darling
7 - Chi-Square
8 - Slicing

1- Normal
2- Moderate Drought
3- Water Stressed
1- Rain-fed Farming
5 - Kolmogorov-Smirnov

شده است. همانطور که جدول (۴) نشان می‌دهد، اثر سال برای صفات تعداد پد روی پد مادری، طول پد، علوفه‌تر و علوفه‌خشک در سطح یک درصد معنی‌دار گردید. اثر سطوح کم‌آبیاری برای صفات تعداد پد روی پد مادری، پد روی پد، طول و عرض پد، علوفه‌تر و علوفه‌خشک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. همچنین برهم‌کنش اثر سال × کم‌آبیاری برای صفات تعداد پد روی پد مادری، علوفه‌تر و علوفه‌خشک در سطح ۱ درصد معنی‌دار و برای صفت طول پد در سطح ۵ درصد معنی‌دار شدند (جدول ۴).

شد (SAS, 2009). در نهایت ضریب همبستگی پیرسون بین کلیه صفات کمی و خوش‌خوراکی علوفه حاصل از کاکتوس علوفه‌ای تعیین شد.

نتایج و بحث

نتایج مقادیر نرمال‌سازی داده‌ها نشان داد که هیچ یک از صفات مورد بررسی در این آزمایش در سطح یک درصد و پنج درصد معنی‌دار نشد (جدول ۳).

نتایج تجزیه واریانس صفات مورد بررسی در جدول (۴) ارائه

جدول ۳- مقادیر آماره نرمال‌سازی داده‌های مورد بررسی با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف (K-S)، آندرسون-دارلینگ (A-D) و کای اسکور (C-S)

صفات آزمایش	K-S	A-D	C-S
علوفه‌تر	۰/۱۵ ^{n.s}	۱/۰۷ ^{n.s}	۲/۸۳ ^{n.s}
علوفه‌خشک	۰/۱۶ ^{n.s}	۰/۷۵ ^{n.s}	۲/۷۶ ^{n.s}
عرض پد	۰/۲۵ ^{n.s}	۲/۵ ^{n.s}	۵/۳۱ ^{n.s}
طول پد	۰/۳۲ ^{n.s}	۲/۵۹ ^{n.s}	۰/۲۳ ^{n.s}
پد روی پد	۰/۲۵ ^{n.s}	۰/۸۴ ^{n.s}	۰/۱۵ ^{n.s}
پد روی پد مادری	۰/۱۱ ^{n.s}	۰/۵۴ ^{n.s}	۰/۶۹ ^{n.s}

n.s، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح کمتر از ۵ و ۱ درصد.

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس صفات کمی کاکتوس علوفه‌ای در دو سال آزمایش

منابع تغییر	درجه‌آزادی	علوفه‌تر	علوفه‌خشک	عرض پد	طول پد	پد روی پد	پد روی پد مادری
سال	۱	۵۷۸**	۱۳/۷۴**	۰/۱۹ n.s	۲۸/۸۲**	۰/۶۶ n.s	۵۱/۰۴**
تکرار	۲	۴۱/۲۵*	۰/۵۴*	۱/۷۴ n.s	۵/۷۳*	۰/۹۱ n.s	۳/۷۹ n.s
کم‌آبیاری	۳	۴۵۳۹/۸**	۵۴/۴**	۴۷۰/۶**	۷۰۲/۵۱**	۹/۶۶**	۱۳۶/۳۷**
سال × کم‌آبیاری	۳	۳۷۳/۷۷**	۴/۶۳**	۳/۶۳ n.s	۶/۳۷*	۰/۳۳ n.s	۱۷/۹۳**
خطای آزمایش	۶	۷/۷۴	۰/۱۱	۱/۸۴	۱/۶۸	۰/۵۸	۲/۷۳
ضریب تغییرات	-	۵۳/۳	۲۶/۲۵	۱۶/۰۷	۱۷/۱۱	۲۴/۲۳	۱۹/۵

n.s، * و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح کمتر از ۵ درصد، ۱ درصد و غیر معنی‌دار.

میزان علوفه‌تر و خشک در سال دوم تحقیق باشد. بیشترین تعداد پد روی پد مادری در تیمار بدون تنش (۱۲) و از طرف دیگر بیشترین تعداد پد روی پد به ترتیب در تیمارهای تنش متوسط (۳/۱۶)، تنش شدید (۲/۸۳) و بدون تنش (۲/۳۴) مشاهده شد و کمترین تعداد پد روی پد مادری در سال دوم (۷/۹۱) با شیب $R^2=0/94$ -۴/۹۳ و برعکس بیشترین علوفه‌تر و علوفه‌خشک به ترتیب در سال اول مشاهده شد (به ترتیب ۳۸/۷ و ۴/۶۸ تن در هکتار با شیب -۲۲/۹۶ و -۲/۷۴) $(R^2=0/93)$. شیب خط رگرسیونی طول پد، علوفه‌تر و خشک در سال ۱۳۹۶ نسبت به سال ۱۳۹۷ کمتر (منفی‌تر) بود، در حالی که شیب خط رگرسیونی پد روی پد مادری در سال ۱۳۹۷ نسبت به سال ۱۳۹۶ کمتر بود. با توجه کاهش ۹/۲۸ درصدی مقادیر بارندگی و افزایش ۱۱/۴۷ درصدی تبخیر و تعرق در سال دوم آزمایش می‌تواند عامل کاهش

مقادیر متوسط مربوط به طول پد، پد روی پد مادری، بایومس و ماده خشک در تیمارهای مختلف و رابطه رگرسیونی مربوطه در سال ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ در شکل ۳ نشان داده شده است. نتایج مربوط به مقایسه میانگین تیمارها (شکل ۳) نشان داد که بیشترین تعداد پد روی پد مادری در سال دوم (۷/۹۱) با شیب $R^2=0/94$ -۴/۹۳ و برعکس بیشترین علوفه‌تر و علوفه‌خشک به ترتیب در سال اول مشاهده شد (به ترتیب ۳۸/۷ و ۴/۶۸ تن در هکتار با شیب -۲۲/۹۶ و -۲/۷۴) $(R^2=0/93)$. شیب خط رگرسیونی طول پد، علوفه‌تر و خشک در سال ۱۳۹۶ نسبت به سال ۱۳۹۷ کمتر (منفی‌تر) بود، در حالی که شیب خط رگرسیونی پد روی پد مادری در سال ۱۳۹۷ نسبت به سال ۱۳۹۶ کمتر بود. با توجه کاهش ۹/۲۸ درصدی مقادیر بارندگی و افزایش ۱۱/۴۷ درصدی تبخیر و تعرق در سال دوم آزمایش می‌تواند عامل کاهش

گردید (شکل ۲b).

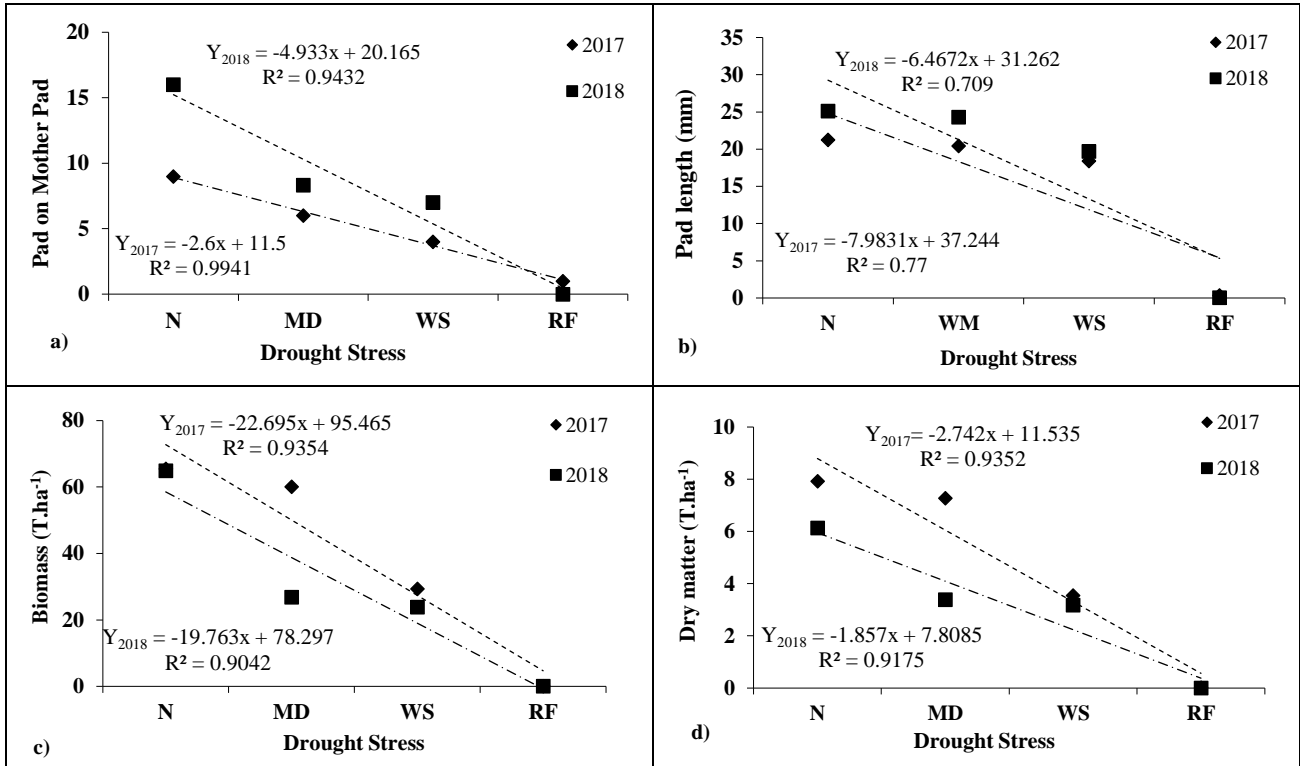
بیشترین علوفه‌تر در تیمار بدون تنش در هر دو سال آزمایش حاصل شد (به ترتیب ۶۵/۴۶ و ۶۴/۸۸ تن در هکتار) و این در حالی بود که در تیمار تنش متوسط نیز ۶۰/۰۴ تن علوفه‌تر در هکتار تولید شده بود. این امر ممکن است ناشی از بارندگی بیشتر در سال اول (۴۲۰ میلی‌متر بارندگی در سال اول در مقایسه با ۳۸۱ میلی‌متر در سال دوم) آزمایش باشد (شکل ۲c). هم‌چنین بیشترین وزن علوفه خشک نیز در تیمار بدون تنش در سال اول آزمایش (۷/۹۱ تن در هکتار) حاصل شد که با تیمار تنش متوسط (۷/۲۶ تن در هکتار) اختلاف معنی‌داری نداشت. از طرف دیگر میزان علوفه‌خشک تولید شده در تیمار بدون تنش در سال دوم (۶/۱۲ تن در هکتار) کمتر از دو تیمار ذکر شده بود (شکل ۲d). هم‌چنین در تیمار دیم علوفه‌تر و علوفه‌خشک بسیار ناچیز گزارش گردید، که در سال دوم آزمایش این مقدار به صفر رسید (شکل ۲c-d).

در شرایط تنش خشکی میزان جذب دی‌اکسیدکربن خالص پدهای مادری دارای پد جدید به‌طور معنی‌داری کمتر از شرایط آبیاری نرمال (بدون تنش) می‌باشد (Sharafi et al., 2012)، از طرفی تعداد بیشتر پدهای جوان در شرایط تنش عامل منفی جهت دوام این گیاه است. برخلاف قاعده منظمی که در سایر گیاهان زراعی C₃ و C₄ وجود دارد، افزایش مقصدها (پدهای جدید) در کاکتوس علوفه‌ای سبب افزایش ظرفیت فتوسنتزی مبدا پد مادری نمی‌شود (Iqbal et al., 2020). استفاده از میزان آب مناسب در کاکتوس علوفه‌ای سبب جذب مطلوب دی‌اکسیدکربن خالص در طول روز و شب از طریق ترکیب مسیر فتوسنتزی CAM (پد مادری) و C₃ (پدهای جدید) و نیز افزایش راندمان مصرف آب، تعادل کربن گیاه و استفاده از نور خورشید در شرایط مناسب و نامناسب می‌گردد (Dodd et al., 2002). هم‌چنین مسیر C₃ سبب می‌شود که در شرایط فراوانی آب، گیاهان CAM بهترین زنجیره انتقال کربن را داشته باشند (Cushman, 2001). بنابراین فتوسنتز روزانه گیاهان C₃ و C₄ تحت تأثیر تنش آب از طریق بسته شدن روزنه‌ها قرار می‌گیرد (Yordanov et al., 2000)، که این امر سبب کاهش دی‌اکسیدکربن مورد نیاز در مزوفیل برگ می‌گردد (Warren, 2004). از آنجایی که گیاهان CAM در طول شب روزنه‌های باز دارند، در شرایط گرما و شرايطی که برای گیاهان C₃ و C₄ تنش محسوب می‌شود، می‌توانند جذب دی‌اکسیدکربن داشته باشند (Pimienta-Barrios et al., 2002).

Opuntia در شرایط تنش نیز پد تولید می‌کنند که این عمل سبب از بین رفتن پدهای تولیدی ضعیف که در شرایط تنش ظاهر می‌شوند، می‌گردد (Pimienta et al., 2002)، این در حالی است که گونه‌های وحشی این مکانیسم را ندارند و در واقع برای اجتناب از تنش از تولید پد جدید خودداری می‌کنند. بنابراین در شرایط بدون تنش، پدهای جدید میزان فتوسنتز بیشتری برای پد مادری انجام می‌دهند (Gifford and Evans, 1981; Wang et al., 2003). به عبارت دیگر افزایش پدهای تولیدی روی پد مادری تأثیر زیادی بر میزان جذب خالص دی‌اکسیدکربن خواهند داشت (Pimienta et al., 2002).

بیشترین وزن علوفه‌تر و علوفه‌خشک تولیدی در تیمار بدون تنش به دست آمد (۶۵/۱۷ و ۷/۰۱ تن در هکتار) که با سایر تیمارهای از نظر آماری اختلاف معنی‌داری داشت (جدول ۲). با توجه به اینکه عملکرد ماده خشک کاکتوس علوفه‌ای متأثر از وزن علوفه‌تر گیاه است و وزن علوفه‌تر نیز، از آبیاری تأثیر می‌پذیرد (Felker and Russell, 1987). بنابراین بر اساس نتایج محققین بیشترین وزن علوفه خشک در مناطق خشک بین ۵ تا ۱۵ تن در هکتار گزارش شده است (Santos et al., 2016). سیستم فتوسنتزی گیاهان خانواده CAM مکانیسمی است، که از طریق جذب دی‌اکسیدکربن در شب، کوتیکول ضخیم و تعداد کم روزنه‌ها سبب کاهش تبخیر و تعرق از گیاه می‌شود. از طرفی سیستم ذخیره آب به گیاهان CAM این اجازه را می‌دهد که دوره‌های تنش خشکی را در زمانی که آب قابل دسترس خاک کاهش می‌یابد، تحمل کنند (Smith et al., 1997).

در بررسی بر هم‌کنش بین اثر سال و سطوح تنش خشکی مشخص گردید که بیشترین تعداد پد روی پد مادری در سال دوم آزمایش و در شرایط بدون تنش آبی (۱۶) مشاهده شد، که با تیمارهای بدون تنش در سال اول (۹) و تنش متوسط در سال دوم (۸/۳۳) که روند تغییرات آن در طول دو سال آزمایش به ترتیب ۴۳/۷۵ و ۴۷/۹۳ درصد بود (شکل ۲a). در سال اول آزمایش به دلیل اینکه گیاه در حال سازگاری در محیط جدید می‌باشد، کلیه صفات زراعی مورد بررسی تحت تأثیر قرار می‌گیرد. بنابراین در سال دوم آزمایش نتایج اختلاف معنی‌داری را نشان می‌دهد. هم‌چنین بیشترین طول پد در تیمارهای بدون تنش (۲۵/۱۲) و تنش متوسط (۲۴/۲۸) در سال دوم مشاهده شد، که روند تغییرات آن نسبت به تیمارهای مشابه در سال اول آزمایش (۲۱/۲۲ و ۲۰/۴۱) به ترتیب برابر ۱۵/۵۲ و ۱۵/۹۳ درصد گزارش



شکل ۲- برهم کنش بین اثر سال و سطوح تنش خشکی (N: بدون تنش، MD: تنش متوسط، WS: تنش شدید و RF: تنش بسیار شدید) بر تعداد پد روی پد مادری (a)، طول پد (b)، وزن تر (c) و ماده خشک (d) کاکتوس علوفه‌ای

پدهای یکساله (252 mg.kg^{-1}) و دوساله (219 mg.kg^{-1}) به ترتیب $23/4$ و $33/43$ درصد بیشتر بود. نسبت غلظت عناصر در پدهای جوان در مقایسه با پدهای یکساله و دوساله برای عناصر پتاسیم ($0/14$ و $21/48$ درصد)، کلسیم ($2/47$ و $21/55$ درصد) و سدیم ($66/01$ درصد به طور مشابه) بود. بیشترین غلظت منیزیم در پدهای دوساله 1261 میلی گرم بر کیلوگرم بود که در مقایسه با پدهای یکساله (1019 mg.kg^{-1}) $19/19$ درصد اختلاف داشت (جدول ۴).

با توجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴)، نشان داد که اثر سال و کم آبیاری بر کلیه صفات مورد بررسی در سطح یک درصد (به جز کلسیم) معنی دار شد، از طرف دیگر برهم کنش سال \times کم آبیاری برای صفات غلظت سدیم، کلسیم، منیزیم و پتاسیم در سطح یک درصد معنی دار شد. هم چنین نتایج جدول (۴) نشان داد که رابطه معکوسی بین سن پد و غلظت عناصر فسفر، پتاسیم، کلسیم و سدیم موجود در پد وجود دارد. بیشترین غلظت فسفر در پدهای جوان (329 mg.kg^{-1}) بود که نسبت به

جدول ۴- میانگین غلظت عناصر معدنی در پدهای جوان، یکساله و دوساله کاکتوس علوفه‌ای (میلی گرم بر کیلوگرم)

صفت	سدیم	منیزیم	کلسیم	پتاسیم	فسفر
جوان	306 a	1203 ab	10317 a	1378 a	329 a
یکساله	104 b	1019 b	10062 a	1376 a	252 b
دوساله	104 b	1261 a	8093 b	1082 b	219 c
احتمال خطا					
سال	(<0/0001)**	(<0/0001)**	(0/02)*	(<0/0001)**	(0/04)*
کم آبیاری	(<0/0001)**	(<0/0001)**	(0/001)**	(<0/0001)**	(0/001)**
سال \times کم آبیاری	(<0/0001)**	(<0/0001)**	(0/001)**	(<0/0001)**	(0/18) ^{n.s}
ضریب تغییرات	7/84	10/52	9/58	9/74	2/53

میانگین‌های دارای حروف مشابه در یک ستون تفاوت معنی داری بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد ندارند.

با عرض پد، منیزیم با کلسیم، سدیم با پتاسیم، فسفر با پتاسیم و فسفر با سدیم مشاهده شد (** $0/97$). علوفه خشک و علوفه تر

با توجه به نتایج ضریب همبستگی پیرسون (جدول ۵)، بیشترین همبستگی مثبت بین علوفه خشک با علوفه تر، طول پد

پتاسیم، سدیم و فسفر) مثبت و در سطح یک درصد معنی دار شد (جدول ۵). بر اساس نتایج Salehi et al. (2019) متغیرهای افزایش دهنده (مانند میزان عناصر معدنی) و کاهش دهنده‌ی کیفیت علوفه (مانند درصد الیاف خام)؛ بر هضم‌پذیری علوفه تأثیر دارند.

همبستگی مثبت و معنی‌داری با طول و عرض پد، کلسیم، منیزیم، پتاسیم، سدیم و فسفر نشان دادند. همبستگی صفت پد روی پد با هیچ یک از صفات پد روی پد مادری، کلسیم، منیزیم، پتاسیم، سدیم و فسفر معنی دار نشد. همچنین همبستگی بین کلیه عناصر مورد بررسی در این پژوهش (کلسیم، منیزیم،

جدول ۵- ضرایب همبستگی پیرسون برای صفات علوفه خشک، علوفه تر، عرض پد، طول پد، پد روی پد، پد روی پد مادری، کلسیم، منیزیم، پتاسیم، سدیم و فسفر در کاکتوس علوفه‌ای

کد	صفات	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱
۱	علوفه خشک											
۲	علوفه تر	۰/۹۷**										
۳	عرض پد	۰/۸۷**	۰/۸۸**									
۴	طول پد	۰/۸۴**	۰/۸۶**	۰/۹۷**								
۵	پد روی پد	۰/۴۹*	۰/۴۵*	۰/۶۷**	۰/۶۶**							
۶	پد روی پد مادری	۰/۶۱*	۰/۷۴**	۰/۶۹**	۰/۷۳**	۰/۳۸ ^{n.s}						
۷	کلسیم	۰/۴۸*	۰/۵۵*	۰/۳۳ ^{n.s}	۰/۳۵ ^{n.s}	۰/۱۱ ^{n.s}	۰/۵۱*					
۸	منیزیم	۰/۴۹*	۰/۵۶*	۰/۳۳ ^{n.s}	۰/۴۱ ^{n.s}	۰/۱۸ ^{n.s}	۰/۱۸ ^{n.s}	۰/۹۷**				
۹	پتاسیم	۰/۴۴*	۰/۵۹*	۰/۴۳*	۰/۴۹*	۰/۱۴ ^{n.s}	۰/۷۷**	۰/۸۶**	۰/۸۷**			
۱۰	سدیم	۰/۴۲*	۰/۵۸*	۰/۴۴*	۰/۵۱*	۰/۱۴ ^{n.s}	۰/۸۲**	۰/۹۶**	۰/۸۳**	۰/۹۷**		
۱۱	فسفر	۰/۴۲*	۰/۵۷*	۰/۴۴*	۰/۴۹*	۰/۲۴ ^{n.s}	۰/۸۱**	۰/۷۸**	۰/۸۴**	۰/۹۷**	۰/۹۷**	

n.s، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح کمتر از ۵ و ۱ درصد.

تیمار بدون تنش (آبیاری نرمال) دست یافت. هر چه سن پد کمتر باشد، خوش خوراکی آن بیشتر است و از طرف دیگر، کم‌آبیاری باعث افزایش تجمع عناصر و در نتیجه خوش خوراکی علوفه حاضر می‌شود. بر همین اساس، علوفه خشک و علوفه تر همبستگی مثبت و معنی‌داری با طول و عرض پد، و میزان خوشخوراکی کاکتوس نشان دادند. بنابراین، با توجه به مشکل کمبود آب به خصوص در ماه‌های تابستان در منطقه دشت ذهاب و نیاز آبی بالای سایر گیاهان علوفه‌ای، گیاه کاکتوس علوفه‌ای، مقاوم به خشکی بوده و به احیای پوشش‌های گیاهی سازگار با شرایط کم‌آبی کمک زیادی می‌کند. نتایج نشان داد که کاکتوس علوفه‌ای با داشتن کارایی بالا در تبدیل آب به ماده خشک، علوفه قابل توجهی را تولید می‌کند. "هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

نتیجه‌گیری

با توجه به مشکلات متعدد در خاک‌های غرب کشور و نیاز مبرم به احیای پوشش‌های گیاهی علوفه‌ای سازگار با شرایط کم‌آبی این تحقیق با هدف بررسی ارزیابی اثرات شرایط مختلف رطوبت خاک بر صفات کمی و خوش خوراکی کاکتوس علوفه‌ای در منطقه دشت ذهاب انجام شد. نتایج این پژوهش نشان داد که کاکتوس علوفه‌ای با تولید علوفه‌تر به ترتیب برابر ۶۵/۴۶ و ۶۴/۸۸ تن در هکتار در تیمار بدون تنش و تولید ۶۰/۰۴ تن علوفه‌تر در هکتار در تیمار تنش متوسط شرایط مساعدی را برای پرورش این گیاه نشان داد. همچنین بیشترین وزن علوفه خشک نیز در تیمار بدون تنش در سال اول آزمایش (۷/۹۱ تن در هکتار) حاصل شد، که با تیمار تنش متوسط (۷/۲۶ تن در هکتار) اختلاف معنی‌داری نداشت. بنابراین با اعمال تنش خشکی متوسط، می‌توان به علوفه مشابه با

REFERENCES

- Bacelar, E.A., Santos, D.L., Moutinho-Pereira, J.M., Lopes, J.I., Goncalves, B.C., Ferreira, T.C and Correia, C.M. (2007). Physiological behavior, oxidative damage and ant oxidative protection of olive trees grown under different irrigation regimes. *Plant Soil*, 29(2): 1–12.
- Ben Salem, H. and Louhaichi, M. (2014). Promoting Cactus as an alternative and sustainable livestock feed. In Cactusnet. Retrieved June 15, 2015, Food and Agriculture Organization, International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA), from <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3935.7604>.
- Ciriminna, R., Delisi, R., Albanese, L., Meneguzzo, F and Pagliaro, M. (2017). *Opuntia ficus indica* L. seed oil: Biorefinery and bioeconomy aspects. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 119(8). <https://doi.org/10.1002/ejlt>.

201700013

- Cushman, J.C. (2001). Crassulacean acid metabolism: a plastic photosynthetic adaptation to arid environments. *Plant Physiology*, 127: 1439–1448.
- Del Buono, D., Ioli, G., Nasini, L and Proietti, P. (2011). A comparative study on the interference of two herbicides in wheat and Italian ryegrass and on their antioxidant activities and detoxification rates. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 59:12109–12115.
- Demirak, A., Yilmaz, F., Tuna, A.L and Ozmdemir, N. (2006). Heavy metals in water, sediment and tissues of *Leuciscus cephalus* from a stream in southwestern Turkey. *Chemosphere*, 63(9): 8-1451.
- Dodd, A.N., Borland, A.M., Haslam, R.P., Griffith, H and Maxwell, K. (2002). Crassulacean acid metabolism: plastic, fantastic. *Journal of Expert Botany*, 53: 569–580.
- Felker, P and Russell, C.E. (1987). Influence of herbicides and cultivation on the growth of *Opuntia* in plantations. *Journal of Horticulture Sciences*, 63: 149–155.
- Gebremedhn Abay, N. (2018). Cactus (*Opuntia ficus-indica* L.): current utilization and future threats as cattle forage in Raya-Azebo. *Environmental Management and Sustainable Development*, 7(3): 1-14.
- Gifford, R.M and Evans, L.T. (1981). Photosynthesis, carbon partitioning, and yield. *Annual Review Plant Physiology*, 32: 485–509.
- Hasanuzzaman, M., Hossain, M.A and Fujita, M. (2010). Selenium in higher plants: physiological role, antioxidant metabolism and abiotic stress tolerance. *Journal of Plant Sciences*, 5: 354–375.
- Iqbal, M.A., Hamid, A., Imatiz, H. Rizwan, M., Imran, M., Sheikh, U.A.A and SAIRA, I. (2020). Cactus Pear: A weed of dry-lands for supplementing food security under changing climate. *Planta Daninha*, 38: 1761-1872.
- Li, X., Lee, S.L., Wong, S.C., Shi, W and Thornton, I. (2004). The study of metal contamination in urban soils of Hong Kong using a GIS-based approach. *Environmental Pollution*, 129 (1):113-24.
- Mengistu, M., Kefelegn, K and Gebretsaie, W.M. (2016). Effects of supplementing *Cactus cladode* and *Acacia senegal* branches on intake, digestibility and body weight gain of Tigray highland sheep fed barley straw. *Journal of Fisheries and Livestock Production*, 4 (4):1-4.
- Naiemi, T., Fahmideh, L. and Fakheri, B. (2018). Effect of drought stress on anti-oxidants activities, purin and carbohydrate in some of Durum Wheat genotypes (*Triticum turgidum* L.) in seedling growth stage. *Journal of Plant Breeding*, 10 (26): 22-31.
- Najafi Babadi, K., Hasibi, P., Roshanfekar, H. and Bromand Nasab, S. (2018). Effect of drought stress on chlorophyll florescence and forage yield of two cultivar of Millet. *Journal of Agronomy*, 16 (2): 333-344.
- Nefzaoui, A. and Ben Salem, H. (2001 January). *Opuntia spp.* A strategic fodder and efficient tool to combat desertification in the WANA region. p. 73–90 In C. Mondragon-Jacobo and S. Perez-Gonzalez (2ed.) *Cactus (Opuntia spp.) as forage*. FAO plant production and protection paper 169, FAO, Rome, Italy.
- Osmond, C.B. (1978). Crassulacean acid metabolism: a curiosity in context. *Annual Review Plant Physiology*, 29: 379–414.
- Pimienta-Barrios, E., Gonza lez, M.E., Castillo-Aranda, D and Nobel, P.S. (2002). Ecophysiology of a wild platyopuntia exposed to prolonged drought. *Environment Experimental Botany*, 47: 77–86.
- Proietti, P., Nasini, L., Del Buono, D and Damato, R. (2013). Selenium protects olives (*Olea europaea* L.) from drought stress. *Scientia Horticulturae*, 164: 165-171.
- Ramos, A.O., Ferreira, M.A., Vêras, A.S.C., Costa, S.B.M., Conceição, M.G and Silva, E.C. (2013). Different fiber sources in diets based on spineless cactus in sheep feeding. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Anima*, 14:1-12.
- Salehi, Z., Amirnia, R., Rezaeichiyaneh, I and Behrozyar, H.K. (2019). Evaluation of yield and some qualitative traits of forage in intercropping of triticale with annual legumes. *Agricultural Science and Sustainable Production*, 28(4): 59-76 (In Farsi).
- Santos, T.N., Dutra, E.D., Prado, A.G., Leite, F.C.B., Souza, R.F.R., Santos, D.C. (2016). Potential for biofuels from the biomass of prickly pear cladodes: challenges for bioethanol and biogas production in dry areas. *Biomass Bioenergy*, 85:215-22.
- SAS Institute. (2009). The SAS system for Windows Release 9.2. SAS Institute, Cary NC.
- Sharafi, S., Ghassemi, S., Jouyban, Z and Akhlaghi, S. (2012). Effect of water stress on agronomic traits of cactus pear (*Opuntia ficus indica* L.). *Life Science Journal*, 9(1):83-87.
- Smith, S.D., Monson, R.K and Anderson, J.E. (1997). *Physiological Ecology of North American Desert Plants*. (1th ed.). Springer, Heidelberg.
- Tadina, N.M., Kreft, G.I., Breznik, B and Gaberscik, A. (2007). Effects of water deficit and selenium on common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench.) plants. *Photosynthetic*, 45: 472–476.
- Wang, X., Felker, P., Paterson, A., Mizrahi, Y., Nerd, A and Mondragon-Jacobo, C. (2003). Cross hybridization and seed germination in *Opuntia* species. *Journal Professional Association for Cactus Development*, 1: 49-60.
- Warren, C.R. (2004). The photosynthetic limitation posed by internal conductance to CO₂ movement is increased by nutrient supply. *Journal of Experimental Botany*, 55(406), 2313–2321.
- Yordanov, I., Velikova, V and Tsonev, T. (2000). Plant responses to drought, acclimation and stress tolerance. *Photosynthetica*, 38(2), 171–186.