

Evaluation of yield, water use efficiency and some agronomic characteristics of cactus (*Opuntia ficus-indica*) under the different irrigation periods

Hamid Najafinezhad^{*1} and Nader Koohi²

1. Agricultural and Horticultural Research Department, Kerman Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Kerman, Iran.

2- Agricultural engineering Research Department, Kerman Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Kerman, Iran

(Received: March 14, 2021 - Accepted: May 29, 2021)

ABSTRACT

To evaluate the yield and possibility of cactus cultivation, an experiment was conducted in a randomized complete block design with four replications during 2016- 2018(three years) in Orzoeyeh region, Kerman. In each year, three different irrigation periods were considered as follow: every 9, 14 and 19 days in the first year, 14, 19 and 24 days in the second, and 16, 21 and 26 days in the third year. The highest number of pads per plant was obtained in 14 and 16 days irrigation periods in the second and third years. In the second year, the highest wet (53.9 t ha⁻¹) and dry (4.69 t ha⁻¹) yields and water use efficiency (4.53 kg m⁻³) was belonged to the 14-day irrigation period. In the third year, the highest wet (108.74 t ha⁻¹) and dry yield (8.42 t ha⁻¹) and water use efficiency (4.37 kg m⁻³) were obtained from 16-day irrigation period. The highest crude protein in the third year was belonged to the 21 (8.06%) and 16 days (7.75%) irrigation periods, respectively. Based on the results, it is possible to cultivate and develop this perennial plant with low water consumption in Orzoeyeh region and to complete plant establish and sustainable yield, it is recommended to start the forage harvest from the second year.

Keywords: Cactus, drought stress, forage, pad, yield.

**بررسی عملکرد، بهره‌وری مصرف آب و برخی خصوصیات زراعی کاکتوس (*Opuntia ficus-indica*)
تحت تأثیر دوره‌های مختلف آبیاری**

حمید نجفی‌نژاد^{۱*} و نادر کوهی^۲

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

مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۲۴ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۳/۸)

چکیده

به منظور بررسی عملکرد و امکان کشت کاکتوس علوفه‌ای در منطقه ارزوئیه استان کرمان، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار به مدت سه سال (۱۳۹۵، ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷) انجام شد. تیمارها شامل دوره‌های مختلف آبیاری بود که در سال اول سه دور آبیاری نه، ۱۴ و ۱۹ روز یک‌بار، در سال دوم ۱۴، ۱۹ و ۲۴ روز و در سال سوم ۱۶، ۲۱ و ۲۶ روز در نظر گرفته شد. بیشترین تعداد پد در بوته در سال دوم و سوم به ترتیب در دور آبیاری ۱۴ و ۱۶ روز به دست آمد. در سال دوم بیشترین عملکرد تر (۵۳/۹ تن در هکتار) و خشک (۴/۶۹ تن در هکتار) و بهره‌وری مصرف آب (۴/۵۳) کیلوگرم ماده خشک بر متر مکعب آب) به دور آبیاری ۱۴ روز تعلق داشت. در سال سوم در دور آبیاری ۱۶ روز به ترتیب با تولید ۱۰۸/۷۴ و ۸/۴۲ تن در هکتار علوفه تر و خشک و ۴/۳۷ کیلوگرم ماده خشک بر متر مکعب آب بیشترین عملکرد و بهره‌وری مصرف آب به دست آمد. بیشترین مقدار پروتئین خام علوفه (سال سوم) به ترتیب به دور آبیاری ۲۱ روز (۸/۰۶ درصد) و ۱۶ روز (۷/۷۵ درصد) تعلق داشت. بر اساس نتایج حاصل از این تحقیق، امکان کشت و توسعه این گیاه دائمی با مصرف آب کم در منطقه ارزوئیه وجود دارد و برای استقرار کامل گیاه و عملکرد پایدار توصیه می‌شود که برداشت علوفه از سال دوم آغاز شود.

واژه‌های کلیدی: پد، تنش خشکی، کاکتوس، علوفه، عملکرد.

مقدمه

جنوبی ایران است. در این شرایط، تغییرات اقلیمی و کاهش بارش‌ها در جنوب شرق کشور طی سال‌های

کمبود علوفه برای پرورش دام، یکی از دغدغه‌های اساسی مناطق خشک و کم آب به خصوص مناطق

شرایط، پتانسیل تولید چهار تا ۱۰۰ تن علوفه تر در هکتار را دارد، ضمن این‌که علاوه بر تولید علوفه، قابلیت تولید میوه خوراکی را نیز دارا است (Nobel & Hartsock, 1983; Liguori *et al.*, 2013). از لحاظ بهره‌وری مصرف آب، کاکتوس یک کیلوگرم ماده خشک را با مصرف ۲۶۷ لیتر آب تولید می‌کند، درحالی‌که ارزن، سورگوم و یونجه برای تولید یک کیلوگرم ماده خشک، به ترتیب ۴۰۰، ۶۶۶ و ۱۰۰۰ لیتر آب مصرف می‌کنند (Dekoch, 1998). بهره‌وری مصرف آب علوفه کاکتوس، ۶/۲ کیلوگرم ماده خشک برای هر متر مکعب آب گزارش شده است که در مقایسه با اغلب گیاهان زراعی، چهار تا پنج برابر است (Han & Felker, 1997). کاکتوس‌ها دارای ریشه سطحی و کم عمقی هستند؛ در این گیاه، نفوذ عمقی ریشه‌ها ۵۰-۳۰ سانتی‌متر و گسترش افقی ریشه‌ها چهار تا هشت متر است (Goldstein *et al.*, 1991; Nobel, 2001). نتایج بررسی سازگاری و عملکرد شش کولتیوار کاکتوس در انٹیوپی نشان داد که صفات تولید ماده خشک و متوسط وزن پدها، بهترین شاخص‌ها برای ارزیابی عملکرد و سازگاری کاکتوس می‌باشد (Tarekegn *et al.*, 2017). بهترین دما برای رشد کاکتوس، محدوده ۲۶-۱۸ درجه سانتی‌گراد است، ولی اکثر گونه‌های کاکتوس، تحمل دمای بالای ۴۰ درجه سانتی‌گراد را دارند (Pimienta & munoz, 1995). با وجود این‌که 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 نیست و با موسیلاژ ترکیب شده است و همین حالت چسبندگی، مانع تبخیر آب می‌شود. به علاوه سطح خارجی پد، حالت واکسی دارد و به شدت 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 دارد و بر اساس تحقیقات انجام شده در برزیل، با کشت متراکم (۴۰۰۰۰ بوته در هکتار)، مصرف مناسب کود و آبیاری، ۴۰ تن ماده خشک در سال تولید شده است که قابل توجه می‌باشد (Garcia de cortazer &

اخیر، نیاز به گیاهان سازگار و دارای پتانسیل تولید علوفه در شرایط کم آبی را دو چندان نموده است. کاکتوس علوفه‌ای، به عنوان یک گیاه مقاوم به خشکی و سازگار به شرایط خشک و کم آب، در نقش منبعی برای تولید علوفه در مناطق خشک مطرح است (Tarekegn *et al.*, 2017). این گیاه با مقاومت ویژه‌ای که به وضعیت نامساعد محیطی از جمله درجه حرارت‌های بالا، خشکی‌های طولانی مدت و خاک‌های فقیر دارد، می‌تواند راه حل مناسبی برای تامین بخشی از کمبود علوفه و جایگزینی با محصولات با نیاز آبی بالا باشد (Maltsberger, 1996).

کاکتوس علوفه‌ای گیاهی چند ساله است که در تمام قاره‌ها و در بسیاری از کشورها برای تولید علوفه و میوه کشت می‌شود، اما بیشترین سطح زیر کشت کاکتوس (بالغ بر ۲۲۰۰۰۰۰ هکتار) به کشورهای برزیل، مکزیک، تونس، آفریقای جنوبی و انٹیوپی تعلق دارد (Grunwaldt *et al.*, 2015). علوفه این گیاه از لحاظ کربوهیدرات، آسکوربیک اسید و املاح معدنی به خصوص کلسیم غنی است 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 تامین کرد (Gregory, 1992; Chiteva & Wairagau, 2013). علوفه کاکتوس از پروتئین کمی برخوردار است و یکی از روش‌های افزایش پروتئین در این گیاه، مصرف کود نیتروژن و فسفر است. در آزمایشی با مصرف ۲۲۴ کیلوگرم نیتروژن و ۱۱۲ کیلوگرم فسفر، مقدار پروتئین کاکتوس از ۴/۵ درصد به ۱۰/۵ درصد افزایش یافت (Gonzalez, 1989). علوفه کاکتوس دارای مقداری اگزالات است که منجر به اختلال گوارشی در دام و باند نمودن کلسیم می‌شود که در این خصوص پیشنهاد شده است که علوفه کاکتوس به صورت مخلوط با علوفه گراس‌ها (سیلوی ذرت و سورگوم) مصرف شود (Nefzaoui & Bensalm, 2014). قابلیت این گیاه در ذخیره کردن مقدار قابل توجهی آب در اندام‌ها، امکان مقاومت بیشتر آن را در شرایط خشکی فراهم کرده است. این گیاه در هر سال با توجه به

چهار تکرار و با سه دور آبیاری مختلف در هر سال انجام شد. با توجه به دائمی بودن گیاه کاکتوس و توسعه سیستم ریشه‌ای پس از استقرار و همچنین مقاومت به خشکی گیاه، دورهای آبیاری برای هر سال متفاوت در نظر گرفته شد. در سال اول، دورهای آبیاری بر مبنای نه، ۱۴ و ۱۹ روز یکبار، در سال دوم بر مبنای ۱۴، ۱۹ و ۲۴ روز و در سال سوم بر مبنای ۱۶، ۲۱ و ۲۶ روز تنظیم شد. در این پژوهش، پدهای مورد نیاز با منشاء کشور تونس از طریق مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی ایلام تهیه شد. قبل از کاشت در زمین اصلی، پدها به مدت ۱۴ روز در محیط معمولی (سایه) نگهداری شدند تا در زمان کاشت (۲۰ اسفند)، ضمن جلوگیری از پوسیدگی، ریشه زایی آن‌ها تسریع شود.

قبل از اجرای آزمایش در سال اول، خاک مزرعه مورد تجزیه فیزیکی و شیمیایی قرار گرفت که نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۱ آورده شده است. عملیات آماده سازی زمین شامل شخم به عمق ۳۰ سانتی‌متر، دیسک، لولر، کودپاشی (۶۹ کیلوگرم P_2O_5 به فرم سوپرفسفات تریپل)، دیسک و ایجاد جوی به فاصله دو متر از یکدیگر بود. در سال اول در هر کرت، ۱۶ پد بالغ به فاصله ۱/۵ در دو متر از یکدیگر کشت شدند (فاصله ردیف‌ها ۲ متر و فاصله بوته‌ها در روی ردیف ۱/۵ متر)؛ بدین ترتیب هر کرت سطحی معادل ۴۸ مترمربع را داشت. کشت پدها در داخل خاک به نحوی انجام شد که یک سوم طول پدها در داخل خاک قرار گرفت. در سال اول، ۴۶ کیلوگرم نیتروژن به فاصله ۷۰ روز پس از کاشت، در سال دوم ۶۹ کیلوگرم نیتروژن و ۴۶ کیلوگرم P_2O_5 و در سال سوم ۹۲ کیلوگرم نیتروژن به فرم اوره و ۴۶ کیلوگرم P_2O_5 به فرم سوپرفسفات تریپل در هکتار در عمق ۲۰ سانتی‌متری خاک مصرف شد (Mondragon-Jacobo & Perez-Gonzalez 2001). در سال دوم و سوم، نصف کود شیمیایی در ۲۵ اسفند و مابقی ۱۰ اردیبهشت مصرف شد. در سال اول پس از کاشت پدها (۲۰ اسفند) و برای ریشه‌زایی و استقرار کامل گیاه، دور آبیاری تا اول شهریور هر نه روز یکبار انجام شد و از اول شهریور تا پنج آذر، دورهای مختلف

(Nobel, 1990). در بررسی تاثیر چهار تیمار عدم آبیاری و دورهای آبیاری هفت، ۱۵ و ۳۰ روز یکبار بر عملکرد و برخی صفات کاکتوس در منطقه ایلام بیان شده است که با دور آبیاری ۱۵ روز یکبار، بیشترین عملکرد تر و خشک به دست آمد (Ghasemi *et al.*, 2011). تنش خشکی طولانی مدت، اثرات فیزیولوژیک متعددی بر روی کاکتوس دارد و 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).

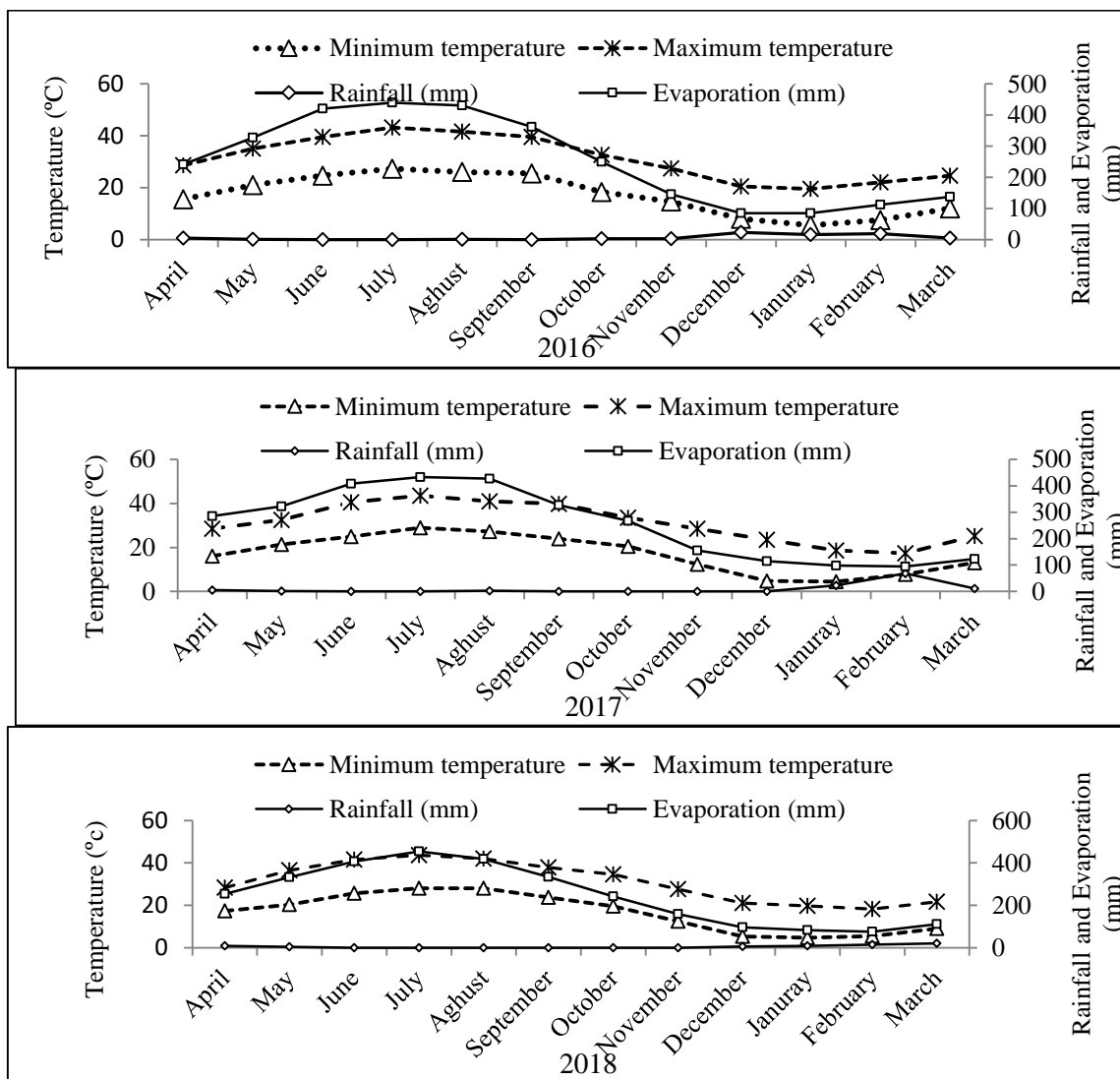
با توجه به کمبود علوفه، بحران کم آبی، فقر مراتع و ادامه خشکسالی‌ها طی دهه‌های گذشته در استان کرمان، بررسی عملکرد گیاهان علوفه‌ای جدید و مقاوم به خشکی ضرورتی اجتناب ناپذیر است. کاکتوس علوفه‌ای از جمله گیاهان علوفه‌ای مقاوم به خشکی است که تاکنون هیچگونه مطالعه علمی در خصوص بررسی عملکرد و بهره‌وری مصرف آب آن در استان انجام نشده است. بنابراین مطالعه حاضر با هدف بررسی عملکرد، بهره‌وری مصرف آب و برخی خصوصیات زراعی این گیاه در شرایط تنش کم آبی در شهرستان ارزوئیه استان کرمان با اقلیم نیمه گرمسیری انجام شد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی عملکرد و امکان کاشت کاکتوس علوفه‌ای، آزمایشی تحت تنش خشکی در مزرعه تحقیقاتی ارزوئیه به مدت سه سال (۱۳۹۵، ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷) اجرا شد. شهرستان ارزوئیه با اقلیم نیمه گرمسیری و مختصات جغرافیایی ۲۸ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۵ درجه و ۵۳ دقیقه طول شرقی با ارتفاع متوسط ۱۲۰۰ متر از سطح دریا در فاصله ۲۷۰ کیلومتری جنوب غربی شهر کرمان قرار دارد. اطلاعات مربوط به دمای حداکثر و حداقل، تبخیر و بارندگی ماهانه منطقه ارزوئیه کرمان در طی سال‌های مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با

بوته‌های کاکتوس در طول فصل رشد گیاه در هر سال تعیین شد. در سال اول، متوسط گسترش افقی و نفوذ عمودی ریشه به ترتیب ۳۵ و ۲۷ سانتی‌متر، در سال دوم به ترتیب ۶۵ و ۴۲ سانتی‌متر و در سال سوم به ترتیب ۹۳ و ۴۷ سانتی‌متر بود.

آبیاری اعمال شد. دوره‌های مختلف آبیاری در سال دوم و سوم آزمایش از ۳۰ فروردین تا پنج آذر اعمال شد. از آذر تا پایان فروردین سال بعد، به دلیل خنک شدن هوا و وقوع بارندگی، آبیاری قطع شد. گسترش افقی و نفوذ عمودی موثر توسعه ریشه با حفر پروفیل برای



شکل ۱- دمای حداکثر، حداقل، تبخیر و بارندگی ماهانه منطقه ارزوئیه کرمان در طی سه سال مطالعه (۱۳۹۵-۱۳۹۷)
 Fig. 1. Monthly maximum and minimum temperature, monthly evaporation and rainfall during three years (2016-2018) in Orzoeyeh region of Kerman

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک
 Table 1. Physiochemical properties of soil

Soil depth	Soil texture	F.C(%)	P.W.P (%)	B.D (g cm ⁻³)	O.C(%)	N (%)	P (mg kg ⁻¹)	K (mg kg ⁻¹)	EC (dS m ⁻¹)	pH
0-30	C.L	21.4	10.3	1.43	0.51	0.051	11	253	3.7	7.9
30-60	C.L	20.4	9.8	1.46	0.28	0.028	7.6	239	2.9	7.8

EC: هدایت الکتریکی، FC: ظرفیت مزرعه، PWP: نقطه پژمردگی دائم، BD: چگالی حجمی، OC: کربن آلی و CL: لوم رسی.

EC: Electrical Conductivity, F.C: Field Capacity, P.W.P: Permanent Wilting Point, B.D: Bulk Density, O.C: Organic Carbon, C.L: Clay loam.

بر اساس معادلات زیر محاسبه شد (Fotouhi *et al.*, 2009):

$$I_n = (\theta_{fc} - \theta_i) \times d$$

$$I_g = I_n / e$$

$$V = I_g \times A$$

که در آن‌ها، θ_{fc} : رطوبت حجمی خاک در ظرفیت زراعی، θ_i : رطوبت حجمی خاک در زمان آبیاری، d : عمق توسعه ریشه (میلی‌متر)، I_n : عمق خالص آب آبیاری (میلی‌متر)، e : کارایی آبیاری (۹۰ درصد)، I_g : عمق ناخالص آب آبیاری (میلی‌متر)، A : مساحت زمین برای آبیاری کرت (مترمربع)، و: حجم آب مورد نیاز برای آبیاری کرت (لیتر) است.

پس از محاسبه حجم آب مورد نیاز برای هر کرت، با استفاده از سه عدد کنتور حجمی ۰/۵ اینچی تحت فشار که در مدخل ورود آب به کرت روی لوله‌های پلی‌اتیلنی ۰/۵ اینچی نصب بود، آب وارد شده به کرت اندازه‌گیری شد. در جدول ۲ حجم آب مصرف شده و تعداد آبیاری در طول فصل رشد به تفکیک سال اجرای آزمایش آمده است.

سیستم آبیاری آزمایش قطره‌ای بود و حجم آب آبیاری در هر نوبت به اندازه‌ای بود که رطوبت خاک را تا عمق موثر توسعه ریشه به ظرفیت زراعی برساند. اندازه‌گیری رطوبت حجمی خاک در عمق فعال توسعه ریشه و در زمان آبیاری هر تیمار با استفاده از دستگاه T.D.R (Time-Domain Reflectometry) مدل Trime-FM 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 و با استفاده از آن اندازه‌گیری و سپس رطوبت وزنی با استفاده از وزن مخصوص ظاهری خاک به رطوبت حجمی تبدیل شد. با استفاده از رطوبت حجمی قرائت شده و رطوبت حجمی اندازه‌گیری شده، معادله زیر با $R^2=0.96$ انتخاب شد:

$$Y = 4.5072e^{0.0762x}$$

که در آن، Y : رطوبت حجمی تصحیح شده و x : رطوبت حجمی قرائت شده با دستگاه است. میزان آب مورد نیاز هر کرت در هر مرحله آبیاری بر اساس کسر رطوبت موجود خاک از ظرفیت زراعی و

جدول ۲- حجم آب مصرف شده در هکتار، متوسط رطوبت حجمی خاک، تعداد آبیاری و متوسط حجم آب مصرف شده برای هر

بوته در هر نوبت آبیاری در طول سه سال (۱۳۹۷-۱۳۹۵)

Table 2. Water volum consumed per hectare, average of volumetric soil moisture, number of irrigations and average volume of water consumed per plant in each irrigation over three-year period (2016-2018)

Year	Irrigation periods (day)	Number of irrigations	Average of volumetric soil moisture (%)	Water consumption per plant in each irrigation (liter)	Water consumption ($m^3 ha^{-1}$)
2016	9	27	18.2	2.8	249.4
	14	22	14.1	3.3	246.2
	19	20	12.5	3.53	235.5
2017	14	16	13.7	19.4	1035.4
	19	12	12.1	24.7	990.5
	24	9	9.5	30.6	919.9
2018	16	14	12.8	41.4	1931.8
	21	11	11.6	49.4	1811.4
	26	8	9	59.3	1581.6

برداشت شده تهیه شد و پس از وزن کردن، با قرار دادن نمونه‌ها در آن تهویه‌دار در دمای ۶۸ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۲۰ ساعت و اندازه‌گیری مجدد وزن، درصد ماده خشک با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد (AOAC, 1990):

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

در تاریخ ۱۰ آذرماه سال اول (۱۳۹۵)، تمام پدهای تولید شده بر روی پد مادری در هر کرت شمارش شد. برای محاسبه عملکرد علوفه کاکتوس در سال اول، پدهای تولید شده بر روی چهار بوته کاکتوس در هر کرت برداشت و وزن شد. برای محاسبه ماده خشک ابتدا یک نمونه از تعداد شش پد متعلق به بوته‌های

خشکی در پنج ماه اول فصل رشد اعمال نشد و با توجه به این‌که پدهای جدید، عمدتاً در فصل بهار بر روی پد مادری تولید شدند، بنابراین اعمال دور آبیاری متفاوت ۱۴ و ۱۹ روز یکبار از شهریور ماه به بعد، تاثیر معنی‌داری بر روی تعداد پد نداشت. در سال دوم و سوم، تعداد پد تولید شده تحت تاثیر تیمار دور آبیاری معنی‌دار بود (جدول ۳). در سال دوم، بیشترین تعداد پد تولید شده به ترتیب به دوره‌های آبیاری ۱۴ و ۱۹ روز تعلق داشت و در تیمار تنش شدید خشکی (دور آبیاری ۲۴ روز یکبار)، کمترین تعداد پد (۱۴/۷۵ عدد) مشاهده شد (جدول ۴). در سال سوم نیز بیشترین تعداد پد تولید شده، ۲۷ عدد در یک بوته و متعلق به دور آبیاری ۱۶ روز یکبار (تنش خشکی کم) و کمترین آن در تیمار تنش شدید خشکی (دور آبیاری ۲۶ روز یکبار) با تولید ۱۷/۷ عدد پد در یک بوته مشاهده شد (جدول ۴). کاکتوس قادر است در سطوح بسیار پایین رطوبت خاک، مقداری رشد داشته باشد، اما در شرایط تنش شدید، تولید پد و رشد گیاه بسته به شدت تنش کاهش می‌یابد و یا متوقف می‌شود (Scalisi *et al.*, 2016). همچنین در شرایط تنش خشکی، کاهش فتوسنتز پد به دلیل کاهش محتوی نسبی آب پد، کاهش سطح فتوسنتز کننده گیاه و کاهش محتوی کلروفیل گزارش شده است (Pimienta- Barrios *et al.*, 2007). بنابراین می‌توان بیان نمود که به دلیل کاهش تولید مواد فتوسنتزی و کاهش مواد ذخیره شده در اندام‌های گیاه برای رشد مجدد و تولید پد جدید در فصل بهار و همچنین فقدان رطوبت کافی در خاک، گیاه تحت تنش شدید و متوسط قادر به تولید تعداد زیاد پد نبوده است

طول و عرض پد

در هر سه سال مطالعه، طول و عرض پد که شاخصی از سطح فتوسنتز کننده گیاه هستند، تحت تاثیر تنش خشکی معنی‌دار بود، به طوری که کمترین طول و عرض پد در تیمار تنش شدید خشکی (دور آبیاری زیاد) و بیشترین آن در تیمار تنش کم (کمترین دور آبیاری) مشاهده شد (جدول ۳، ۴).

که در آن، DM_1 : درصد ماده خشک، DW_1 : وزن تر نمونه و DW_2 : وزن خشک نمونه است. در سال دوم و سوم، برداشت (چهار بوته در هر کرت) برای محاسبه عملکرد به ترتیب در تاریخ ۱۵ و ۱۸ آذر انجام شد. برای اندازه‌گیری طول، عرض و قطر پد در هر کرت، پد به طور تصادفی از پدهای تولید شده همان سال انتخاب شدند و پس از اندازه‌گیری، در نهایت میانگین هر صفت تعیین شد. نمونه‌های خشک شده در زمان برداشت، برای تعیین میزان فیبر و تجزیه کیفی مورد استفاده قرار گرفت. برای تعیین میزان NDF (سلولز، همی سلولز و لگنین) و ADF (سلولز و لگنین) دیواره سلولی با استفاده از روش ون سوئست (Van-Soest *et al.*, 1991) نیاز به تهیه محلول‌های شوینده خنثی و اسیدی است. پس از تهیه محلول‌های گفته شده، اندازه‌گیری صفات مذکور با استفاده از دستگاه فایبر تک مدل TM 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 فلیم‌فتمتر به ترتیب در طول موج‌های ۵۹۰ و ۷۶۶/۵ نانومتر مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند (AOAC, 1990). نیترژن کل نمونه با روش کج‌دال و توسط دستگاه کجل‌تک مدل ۱۰۳۰ اندازه‌گیری شد و برای تعیین میزان پروتئین خام، ضریب ۶/۲۵ مورد استفاده قرار گرفت (Sparks, 1996). در پایان هر سال، نتایج به دست آمده برای هر صفت با استفاده نرم افزار SAS.9.2 مورد تجزیه واریانس قرار گرفت و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

تعداد پد

در سال اول، اثر دوره‌های مختلف آبیاری بر تعداد پد تولید شده بر روی پد مادری معنی‌دار نبود (جدول ۳). تعداد پد تولید شده بر روی پد کشت شده در سال اول، به طور متوسط ۵/۴ عدد بود (جدول ۴). در سال اول برای استقرار و ریشه‌زایی پد اولیه، تیمار تنش

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات مختلف کاکتوس تحت تاثیر تنش خشکی در منطقه ارزوئیه کرمان در سه سال (۱۳۹۷-۱۳۹۵)

Table 3. Variance analysis of different cactus traits affected by drought stress during three years (2016-2018) in Orzoeyah region of Kerman

Year	S.O.V	df	Cladode length	Cladode width	Cladode length/ cladode width	Cladode diameter	No. cladodes per plant
2016	Replication	3	33.416 ^{ns}	5.4964 ^{ns}	0.07 ^{ns}	0.052 ^{ns}	0.528 ^{ns}
	Irrigation period	2	30.08**	4.216*	0.05 ^{ns}	0.203**	0.334 ^{ns}
	Error	6	1.75	0.84	0.017	0.013	1.11
	CV(%)	-	5.6	6.8	7.69	11.4	19.4
2017	Replication	3	3.43 ^{ns}	3.014 ^{ns}	0.0678 ^{ns}	0.0033 ^{ns}	15.417 ^{ns}
	Irrigation period	2	75.266**	6.576*	0.083 ^{ns}	0.231**	44.08**
	Error	6	2.098	0.852	0.021	0.007	4.75
	CV(%)	-	5.5	6	8.47	4.5	11.7
2018	Replication	3	2.08 ^{ns}	1.157 ^{ns}	0.0024 ^{ns}	0.0164 ^{ns}	52.97 ^{ns}
	Irrigation period	2	54.33**	31.08**	0.0064 ^{ns}	2.763**	96.58**
	Error	6	2.33	1.36	0.019	0.0156	8.806
	CV(%)	-	8.6	5.43	4.5	8	13.85

^{ns}, * و **: به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.
^{ns}, * and **: non significant and significant at 5% and 1% of probability levels, respectively.

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات مختلف کاکتوس، تحت تاثیر تنش خشکی در منطقه ارزوئیه کرمان در سه سال (۱۳۹۷-۱۳۹۵)

Table 4. Mean comparison of different cactus traits affected by drought stress during three years (2016-2018) in Orzoeyah region of Kerman

Year	Irrigation period (day)	Cladode length (cm)	Cladode width (cm)	Cladode length/ cladode width	Cladode diameter (cm)	No. cladodes per plant for each year
2016	9	25±1.58a	14.5±0.98a	1.73±0.08a	1.25±0.1a	5.75±0.48a
	14	25±2.27a	13.3±0.55ab	1.86±0.1a	1.025±0.03b	5.25±0.63a
	19	20.2±1.25b	12.45±0.73b	1.63±0.1a	0.8±0.09c	5.25±0.25a
2017	14	30.45±0.66a	16.47±0.59a	1.85±0.07a	2.1±0.04a	20.5±1.85a
	19	26.02±0.95b	15.6±0.9a	1.68±0.13ab	1.92±0.03b	20.5±1.55a
	24	21.77±0.75c	13.9±0.2b	1.56±0.07b	1.62±0.05c	14.75±0.63b
2018	16	36.75±1.03a	23.75±0.48a	1.55±0.06a	2.42±0.08a	27±2.61a
	21	35.25±0.75a	22.25±0.48a	1.58±0.04a	1.42±0.06b	19.5±2.53b
	26	29.75±0.25b	18.35±0.71b	1.63±0.07a	0.77±0.05c	17.7±2.1b

اعداد به صورت میانگین ± خطای استاندارد نشان داده شده است. میانگین‌های دارای حرف مشترک در هر ستون و در هر سال، بر اساس آزمون دانکن فاقد اختلاف آماری معنی دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشند.

Values are shown as mean ± standard error. Averages with the same letters in each column and each year are not significant based on Duncan's multiple range test at 5% of probability level.

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). در هر سه سال مطالعه، تاثیر دوره‌های مختلف آبیاری بر نسبت طول به عرض پد معنی دار نبود (جدول ۳). با توجه به کاهش طول و عرض پد تحت تاثیر تنش خشکی می‌توان بیان نمود که چون طول و عرض پد در شرایط تنش کاهش یافته است، تغییرات نسبت طول به عرض پد تحت تاثیر تنش معنی دار نشده است (جدول ۴).

بر اساس نتایج این تحقیق (جدول ۴)، با افزایش دور آبیاری و تنش خشکی، قطر و رطوبت پد کاهش یافت. از طرفی، همبستگی بین طول و عرض پد با قطر و رطوبت پد، مثبت و معنی دار بود (جدول ۵). بنابراین می‌توان بیان نمود که کاهش طول و عرض پد در شرایط تنش، ناشی از کاهش رطوبت پد و متعاقب آن کاهش فتوسنتز در گیاه بوده است. کاهش طول و عرض پد در شرایط تنش خشکی، به دلیل کاهش فتوسنتز گیاه، محتوی نسبی آب پد، محتوی کلروفیل

جدول ۵- همبستگی ساده صفات مختلف کاکتوس در منطقه ارزوئیه کرمان
Table 5. Simple correlation between different traits of cactus in Orzoeyeh region of Kerman

Traits	Number of cladodes	Cladode length	Cladode width	Cladode diameter	Cladode moisture	Dry matter	Cladode weight	Dry yield	Forage protein	Forage potassium	Forage sodium	NDF	ADF
No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	1												
2	0.41 ^{ns}	1											
3	0.44 ^{ns}	0.83 ^{**}	1										
4	0.39 ^{ns}	0.83 ^{**}	0.81 ^{**}	1									
5	0.26 ^{ns}	0.84 ^{**}	0.75 ^{**}	0.81 ^{**}	1								
6	-0.4 ^{ns}	-0.89 ^{**}	-0.81 ^{**}	-0.86 ^{**}	-0.96 ^{**}	1							
7	0.41 ^{ns}	0.7 ^{**}	0.63 [*]	0.93 ^{**}	0.71 ^{**}	-0.72 ^{**}	1						
8	0.95 ^{**}	0.59 [*]	0.62 [*]	0.82 ^{**}	0.43 ^{ns}	-0.53 [*]	0.88 ^{**}	1					
9	0.12 ^{ns}	0.78 ^{**}	0.76 ^{**}	0.58 [*]	0.86 ^{**}	-0.85 ^{**}	0.41 ^{ns}	0.2 ^{ns}	1				
10	-0.39 ^{ns}	-0.89 ^{**}	-0.88 ^{**}	-0.78 ^{**}	-0.84 ^{**}	0.93 ^{**}	-0.6 [*]	-0.49 ^{ns}	-0.88 ^{**}	1			
11	-0.4 ^{ns}	-0.84 ^{**}	-0.81 ^{**}	-0.69 ^{**}	-0.81 ^{**}	0.88 ^{**}	-0.54 ^{ns}	-0.45 ^{ns}	-0.90 ^{**}	0.96 ^{**}	1		
12	0.30 ^{ns}	0.56 [*]	0.57 [*]	0.4 ^{ns}	0.57 [*]	-0.66 ^{**}	0.27 ^{ns}	0.27 ^{ns}	0.80 ^{**}	-0.75 ^{**}	-0.84 ^{**}	1	
13	0.24 ^{ns}	0.7 ^{**}	0.68 ^{**}	0.5 ^{ns}	0.67 ^{**}	-0.75 ^{**}	0.35 ^{ns}	0.28 ^{ns}	0.86 ^{**}	-0.88 ^{**}	-0.95 ^{**}	0.89 [*]	1

^{ns}, * and **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

^{ns}, * and **: non significant and significant at 5% and 1% of probability levels, respectively.

قطر پد

قطر پد معیاری برای سنجش مقاومت به خشکی و شدت تنش خشکی در گیاه است که تحت تاثیر دوره‌های مختلف آبیاری معنی‌دار بود (جدول ۳). به‌طور کلی، بیشترین قطر پد در شرایط تنش خشکی کم (کمترین دور آبیاری) و کمترین آن در شرایط تنش شدید (بیشترین دور آبیاری) مشاهده شد (جدول ۴). با توجه به همبستگی مثبت و معنی‌دار قطر پد با رطوبت پد (جدول ۵) می‌توان اظهار نمود که مهم‌ترین عامل کاهش قطر پد در شرایط تنش خشکی، کاهش رطوبت پد بوده است. در کاکتوس با اعمال تنش خشکی، به تدریج از قطر پد کاسته می‌شود، به نحوی که با ادامه تنش، پد چروکیده و تا می‌شود. عمده آب جذب شده در پد در بافت پارانشیمی پد ذخیره می‌شود که در طی مراحل تنش خشکی، صرف فعالیت‌های متابولیکی گیاه می‌شود؛ بنابراین با مصرف آب ذخیره شده در پد در طی دوره تنش و با گذشت زمان، از قطر پد کاسته می‌شود که

حاصل این شرایط، کاهش ضخامت پد و چروکیدگی شدن آن است. در تحقیقی بیان شده است که در شرایط تنش خشکی، آب موجود در بافت پارانشیمی پد که به صورت یک لایه شفاف و ضخیم است، کاهش یافته و متعاقب آن، ضخامت بافت پارانشیمی پد کاهش می‌یابد (Liguori *et al.*, 2013).

درصد ماده خشک

در هر سه سال، تاثیر دور آبیاری بر درصد ماده خشک پد در زمان نمونه‌برداری معنی‌دار بود (جدول ۶). درصد ماده خشک در تیمار تنش خشکی کم (کمترین دور آبیاری)، کمترین و در تیمار تنش خشکی شدید (بیشترین دور آبیاری)، بیشترین بود (جدول ۷). در این تحقیق، همبستگی رطوبت و درصد ماده خشک پد، منفی و معنی‌دار بود (جدول ۵). کاهش رطوبت پد در شرایط تنش را می‌توان به عدم تامین رطوبت کافی در خاک و متعاقب آن مصرف آب ذخیره شده در بافت پارانشیمی برای فعالیت‌های حیاتی گیاه و کاهش ضخامت بافت پارانشیمی پد که محل ذخیره آب در پد

می‌باشد نسبت داد. در تیمار تنش شدید خشکی (بیشترین دور آبیاری)، بیشترین درصد ماده خشک مشاهده شد. می‌توان گفت که بیشتر بودن درصد ماده خشک در تیمار تنش شدید خشکی را با رطوبت کمتر (بیشترین دور آبیاری)، بیشترین درصد ماده خشک مشاهده شد. می‌توان گفت که بیشتر بودن درصد ماده

جدول ۶- تجزیه واریانس صفات مختلف کاکتوس، تحت تاثیر تنش خشکی در منطقه ارزوئیه کرمان در سه سال (۱۳۹۵-۱۳۹۷)
Table 6. Variance analysis of different traits of cactus affected by drought stress during three years (2016-2018) in Orzoeyah region of Kerman

Year	S.O.V	df	Dry matter yield	Green mass yield	Water productivity for green yield	Water productivity for dry yield	Cladode weight	Dry matter
2016	Replication	3	0.054 ^{ns}	2.885 ^{ns}	50.225 ^{ns}	0.93 ^{ns}	8606.95 ^{ns}	1.637 ^{ns}
	Irrigation period	2	0.0064 ^{ns}	5.008 ^{ns}	56.526 ^{ns}	0.1306 ^{ns}	6926.13 ^{**}	2.141 ^{**}
	Error	6	0.0103	2.221	36.912	0.179	802.94	0.191
	CV(%)	-	15.1	17	17.2	15.3	5.93	5.6
2017	Replication	3	2.236 ^{ns}	118.489 ^{ns}	121.890 ^{ns}	2.277 ^{ns}	10506.77 ^{ns}	2.834 ^{ns}
	Irrigation period	2	2.46 ^{**}	724.65 ^{**}	521.334 ^{**}	1.2903 [*]	55815.7 ^{**}	13.05 ^{**}
	Error	6	0.234	14.094	13.84	0.212	2320.86	0.452
	CV(%)	-	12.3	8.8	8.7	11.6	7.1	7.3
2018	Replication	3	8.995 ^{ns}	791.249 ^{ns}	241.9165 ^{ns}	2.759 ^{ns}	4675 ^{ns}	0.93 ^{ns}
	Irrigation period	2	10.459 [*]	3677.31 ^{**}	693.15 ^{**}	2.0543 [*]	33.115 ^{**}	17.76 ^{**}
	Error	6	1.528	157.799	43.34	0.451	3291.67	0.273333
	CV(%)	-	18.6	16.9	16.2	18.3	7.5	5.6

^{ns}, ^{*} و ^{**}: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

^{ns}, ^{*} and ^{**}: non significant and significant at 5% and 1% of probability levels, respectively.

جدول ۷- مقایسه میانگین صفات مورد بررسی کاکتوس، تحت تاثیر تنش خشکی در منطقه ارزوئیه کرمان طی سه سال (۱۳۹۵-۱۳۹۷)

Table 7. Mean comparison of different traits of cactus affected by drought stress during three years (2016-2018) in Orzoeyah region of Kerman

Year	Irrigation period (day)	Dry matter yield (t ha ⁻¹)	Green mass yield (t ha ⁻¹)	Water Productivity for green yield (kg m ⁻³)	Water Productivity for dry yield (kg m ⁻³)	Cladode weight (g)	Dry matter (%)
2016	9	0.705±30a	9.88±0.4a	39.63±1.59a	2.83±0.12a	523.5±37.22a	7.2±0.51b
	14	0.627±65a	8.17±0.9a	33.2±4.34a	2.55±0.38a	465.2±21.96b	7.62±0.32b
	19	0.642±76a	7.78±0.73a	33.05±3a	2.88±0.4a	443±26.18b	8.62±0.37a
2017	14	4.69±0.63a	53.89±4.52a	52.05±4.36a	4.53±0.61a	791±26.7a	8.6±0.69b
	19	3.96±0.39a	45.57±2.32b	46±2.33a	4±0.39ab	671.7±30.4b	8.65±0.5b
	24	3.12±0.36b	27.56±3.3c	29.95±3.6b	3.38±0.38b	554.7±46.4c	11.35±0.27a
2018	16	8.44±1.3a	108.74±13.21a	56.3±6.83a	4.37±0.67a	1200±40.8a	7.7±0.4b
	21	5.34±0.85b	61.89±7.6b	34.2±4.18b	3.84±0.47ab	955±15b	8.5±0.46b
	26	6.08±0.8b	51.97±6.7b	32.86±4.21b	2.95±0.49b	877.5±30.4b	11.7±0.67a

اعداد به صورت میانگین ± خطای استاندارد نشان داده شده است. میانگین‌های دارای حرف مشترک در هر ستون و در هر سال، بر اساس آزمون دانکن فاقد اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشند.

Values are shown as mean ± standard error. Averages with the same letters in each column and each year are not significant based on Duncan's multiple range test at 5% of probability level.

۷/۸ تن در هکتار در تیمار تنش متوسط (دور آبیاری ۱۹ روز) متغیر بود؛ عملکرد خشک نیز بین ۰/۷ تا ۰/۶۳ تن در هکتار متغیر بود (جدول ۷). در سال اول، با هدف استقرار گیاه، اعمال تیمار تنش از ماه ششم (شهریور) پس از کشت انجام شد و در اوایل آذرماه، برداشت برای محاسبه عملکرد انجام شد؛ بنابراین می‌توان بیان نمود که به دلیل خنک شدن هوا از

عملکرد علوفه

در سال اول مطالعه، کاهش جزئی عملکرد تر و خشک گیاه تحت تاثیر تیمارهای تنش کم (دور آبیاری ۱۴ روز) و متوسط (دور آبیاری ۱۹ روز) نسبت به تیمار آبیاری نرمال (دور آبیاری ۹ روز) معنی‌دار نبود (جدول ۶). در سال اول، عملکرد تر از ۹/۸ تن در هکتار در تیمار آبیاری نرمال (دور آبیاری ۹ روز) تا

شده است (Pimienta- Barrios *et al.*, 2007; Farooq *et al.*, 2008). بنابراین می‌توان اظهار نمود که تحت شرایط تنش خشکی، کاهش وزن پد و متغایب آن کاهش محتوی آب و فعالیت فتوسنتزی گیاه، عامل مهمی در کاهش عملکرد علوفه کاکتوس بوده است. در مطالعه‌ای با افزایش دور آبیاری از هفت روز به ۳۰ روز، کاهش عملکرد و اجزای عملکرد کاکتوس گزارش شده است که با نتیجه این تحقیق مطابقت دارد (Ghasemi *et al.*, 2011).

بهره‌وری مصرف آب

در سال اول (۱۳۹۵)، تفاوت معنی‌داری بین دوره‌های مختلف آبیاری از لحاظ بهره‌وری مصرف آب برای علوفه تر و خشک مشاهده نشد (جدول ۶، ۷) و در سال دوم و سوم، تاثیر دوره‌های مختلف آبیاری بر شاخص بهره‌وری مصرف آب معنی‌دار بود (جدول ۶). در سال دوم، بیشترین بهره‌وری مصرف آب برای علوفه تر و خشک، به ترتیب ۵۲/۰۵ و ۴/۵۳ کیلوگرم برای هر مترمکعب آب مصرفی به دست آمد که به دور آبیاری ۱۴ روز یک بار (جدول ۷) و کمترین بهره‌وری مصرف آب برای علوفه تر و خشک کاکتوس به دور آبیاری ۲۴ روز یک‌بار تعلق داشت. در سال سوم (۱۳۹۷)، بیشترین بهره‌وری مصرف آب برای علوفه تر و خشک کاکتوس به ترتیب ۵۶/۳ و ۴/۳۷ کیلوگرم بر مترمکعب آب مصرفی بود که به دور آبیاری ۱۶ روز یک‌بار تعلق داشت و کمترین آن در دور آبیاری ۲۶ روز یک‌بار مشاهده شد؛ اگرچه تفاوت معنی‌داری بین این تیمار با دور آبیاری ۲۱ روز مشاهده نشد (جدول ۷). به منظور استقرار گیاه در سال اول اجرای آزمایش، اعمال تیمار تنش، از ماه ششم (شهریور) پس از کشت انجام شد و در اوایل آذرماه برداشت برای محاسبه عملکرد صورت گرفت. بنابراین می‌توان اظهار نمود که به دلیل خنک شدن هوا از شهریور به بعد (شکل ۱) و مواجه شدن زمان اعمال تیمارها با هوای خنک و همچنین کوتاه بودن طول دوره اعمال تیمارها، دوره‌های مختلف آبیاری در سال اول، تاثیر معنی‌داری بر شاخص بهره‌وری مصرف آب نداشته است. عوامل موثر بر شاخص بهره‌وری مصرف آب شامل حجم آب

شهریور به بعد و مقاوم بودن کاکتوس به تنش خشکی، اعمال تیمار تنش با تغییر دور آبیاری، تاثیر معنی‌داری در تغییر عملکرد تر و خشک علوفه نداشته است. در سال دوم، تاثیر تنش خشکی بر وزن پد و عملکرد علوفه تر و خشک در هکتار معنی‌دار بود (جدول ۱۰). متوسط وزن تر پد در دور آبیاری ۱۴ روز، دارای بیشترین (۷۹۱ گرم) و در دور آبیاری ۲۴ روز (تنش خشکی شدید)، دارای کمترین میزان (۵۵۴/۷ گرم) بود (جدول ۷). تیمار تنش خشکی کم (دور آبیاری ۱۴ روز) به ترتیب با تولید ۵۳/۹ و ۴/۶۹ تن پ عملکرد تر و خشک در هکتار، بیشترین عملکرد را در مقایسه با سایر تیمارهای تنش خشکی داشت. از لحاظ عملکرد علوفه خشک در هکتار نیز بین تیمارهای تنش خشکی شدید (دور آبیاری ۲۴ روز) و متوسط (دور آبیاری ۱۹ روز)، تفاوت معنی‌داری نبود (جدول ۷).

در سال سوم، تاثیر دور آبیاری بر عملکرد علوفه تر و خشک در هکتار و وزن پد معنی‌دار بود. وزن پد در تیمار تنش خشکی کم (دور آبیاری ۱۶ روز) و شدید خشکی (دور آبیاری ۲۶ روز)، به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار بود (جدول ۷). از لحاظ عملکرد علوفه تر و خشک، تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای تنش متوسط (دور آبیاری ۲۱ روز) و شدید (دور آبیاری ۲۶ روز) نبود، ولی تیمار تنش خشکی کم (دور آبیاری ۱۶ روز) به ترتیب با تولید ۱۰۸/۷۴ و ۸/۴۲ تن علوفه تر و خشک در هکتار، بیشترین عملکرد را داشت (جدول ۷). در این تحقیق، همبستگی وزن و قطر پد، طول و عرض پد و تعداد پد با عملکرد علوفه، مثبت و معنی‌دار بود (جدول ۵)؛ بنابراین کاهش عملکرد علوفه با افزایش شدت تنش خشکی را می‌توان به کاهش وزن پد، طول و عرض پد، قطر پد و تعداد پد در شرایط تنش مرتبط دانست (جدول ۴، ۷). وزن پد، بهترین شاخص برای ارزیابی عملکرد و سازگاری کاکتوس است (Tarekegn *et al.*, 2017). همچنین کاهش وزن تر و خشک و محتوی نسبی آب گیاه، کاهش فتوسنتز و اختلال در فعالیت آنزیم‌های فتوسنتزی و بهم خوردن تعادل هورونی گیاه در شرایط تنش گزارش

ملایم، بهره‌وری مصرف آب افزایش یافته است که با نتیجه حاصل از این تحقیق مطابقت دارد (Fonseca *et al.*, 2019).

پروتئین خام

اثر دور آبیاری بر پروتئین خام علوفه معنی‌دار بود (جدول ۸). تیمارهای تنش خشکی کم (دور آبیاری ۱۶ روز) با ۷/۷۵ درصد پروتئین و تنش متوسط (دور آبیاری ۲۱ روز) با ۸/۰۶ درصد پروتئین در یک گروه آماری قرار گرفتند که در مقایسه با تیمار تنش شدید خشکی (دور آبیاری ۲۶ روز) با ۶/۶۲ درصد، از محتوی پروتئین خام بیشتری برخوردار بودند (جدول ۹). پروتئین خام از مهم‌ترین ترکیب‌های غذایی دام است که کمبود آن در جیره غذایی، کاهش عملکرد و تولید دام را سبب می‌شود. تحت شرایط تنش متوسط (دور آبیاری ۲۱ روز در سال سوم)، عملکرد علوفه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۷)؛ بنابراین افزایش پروتئین خام علوفه در شرایط تنش خشکی متوسط را می‌توان به عملکرد علوفه کمتر در این تیمار در مقایسه با تیمار تنش خشکی کم (دور آبیاری ۱۶ روز) و متعاقب آن افزایش غلظت نیترژن مربوط دانست. در شرایط تنش خشکی، به دلیل کاهش تولید ماده خشک و عملکرد گیاه، افزایش غلظت نیترژن در علوفه گیاهان ذرت و سورگوم گزارش شده است که با نتایج این بخش از تحقیق مطابقت دارد (Najafinezhad *et al.*, 2019).

در این تحقیق، همبستگی پروتئین خام علوفه با قطر، طول و عرض و رطوبت پد، مثبت و معنی‌دار بود (جدول ۵)؛ بنابراین کاهش پروتئین خام علوفه کاکتوس تحت تنش شدید خشکی (دور آبیاری ۲۶ روز)، می‌تواند ناشی از کاهش محتوی آب پد و متعاقب آن اختلال در جذب نیترژن و سنتز پروتئین باشد. از جنبه دیگر و با توجه به کاهش عملکرد علوفه گیاه تحت تنش شدید خشکی (جدول ۷)، می‌توان بیان نمود که در شرایط تنش شدید خشکی به دلیل کاهش رطوبت خاک و کاهش جذب نیترژن از خاک، غلظت نیترژن در بافت گیاه کاهش یافته است. تحت شرایط تنش شدید خشکی، کاهش تولید ماده خشک و جذب نیترژن در تعدادی از گونه‌های گیاهی (گندم

مصرف شده و مقدار تولید ماده خشک است. در دوره‌های آبیاری ۱۴ و ۱۶ روز (سال دوم و سوم)، ماده خشک بیشتری در قبال هر واحد آب مصرف شده تولید شد؛ بنابراین در مقایسه با سایر دوره‌های آبیاری، بهره‌وری مصرف آب در این تیمارها افزایش یافت. بر اساس نتایج فوق می‌توان اظهار نمود که در گیاه کاکتوس، بهره‌وری مصرف آب نمی‌تواند ارتباط مستقیمی با تنش خشکی و مقاومت گیاه به خشکی داشته باشد. عوامل متعددی از جمله حاصلخیزی و ظرفیت نگهداری رطوبت خاک، تبخیر از خاک و تعرق گیاه می‌تواند بهره‌وری مصرف آب را تحت تاثیر قرار دهد و به کاهش و یا افزایش آن منجر شود (Najafinezhad *et al.*, 2019). با توجه به مقاومت کاکتوس به خشکی و کاهش بهره‌وری مصرف آب در شرایط تنش شدید خشکی (دور آبیاری ۲۴ روز در سال دوم و دور آبیاری ۲۶ روز در سال سوم) می‌توان اظهار نمود که در شرایط تنش شدید، به دلیل کاهش تولید زیست‌توده (جدول ۷)، شاخص بهره‌وری مصرف آب کاهش یافته است. سایر مطالعات، حداکثر کارایی مصرف آب را در شرایط تنش ملایم گزارش نموده‌اند (Musick & Dusek, 1971; Najafinezhad *et al.*, 2019). با بسته شدن جزیی روزنه‌ها در شرایط تنش ملایم، کاهش تعرق بیش از کاهش غلظت CO₂ در داخل سلول تحت تاثیر قرار می‌گیرد؛ بنابراین تعرق بیشتر از فتوسنتز کاهش می‌یابد و در نتیجه کارایی مصرف آب افزایش می‌یابد، اما در تنش شدید چون روزنه‌ها به طور کامل بسته می‌شوند، کارایی مصرف آب به دلیل کاهش قابل توجه فتوسنتز کاهش می‌یابد (Taiz & Zeiger, 1998). تاثیر تنش رطوبتی بر شاخص بهره‌وری مصرف آب در گونه‌های مختلف گیاهی و همچنین بسته به شدت 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). در تحقیق دیگری در شرایط تنش شدید و آبیاری نرمال، بهره‌وری مصرف آب در گیاه کاکتوس کاهش یافت اما در شرایط تنش

(Tanguilig *et al.*, 1987)

و پنبه) گزارش شده است که می‌تواند تاییدی بر کاهش پروتئین خام علوفه کاکتوس تحت تنش شدید خشکی (دور آبیاری ۲۶ روز) باشد

جدول ۸- تجزیه واریانس صفات کیفی علوفه کاکتوس، تحت تاثیر تنش خشکی در منطقه ارزوئیه کرمان در سال ۱۳۹۷

S.O.V	df	Crude protein	K	Na	NDF	ADF
Replication	3	0.005 ^{ns}	0.296 ^{ns}	0.04856 ^{ns}	1.65 ^{ns}	0.094 ^{ns}
Irrigation period	2	0.059**	87.21**	0.715**	12.51**	11.44**
Error	6	0.0014	0.733	0.066	0.597	0.0653
CV(%)		3.11	8	9.1	2.98	1.3

Table 8. Variance analysis of cactus qualitative traits effected by drought stress in 2018 in Orzoeyah region of Kerman

^{ns}, * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

^{ns}, * and **: non significant and significant at 5% and 1% of probability levels, respectively.

جدول ۹- مقایسه میانگین صفات کیفی کاکتوس، تحت تاثیر تنش خشکی در منطقه ارزوئیه کرمان در سال ۱۳۹۷

Table 9. Mean comparison of qualitative traits of cactus affected by drought stress in 2018 in Orzoeyah region of Kerman

Irrigation period (day)	Crude protein (%)	K (%)	Na (%)	NDF (%)	ADF (%)
16	7.75±0.18a	7.97±0.2b	0.07±0.003b	26.06±1b	19.62±1.5b
21	8.06±0.09a	7.97±0.45b	0.06±0.005b	27.6±1.56a	20.92±2a
26	6.62±0.21b	16.06±0.1a	0.14±0.01a	24.07±0.5c	17.57±2.6c

اعداد به صورت میانگین ± خطای استاندارد نشان داده شده است. میانگین‌های دارای حرف مشترک در هر ستون و در هر سال، بر اساس آزمون دانکن فاقد اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشند.

Values are shown as mean ± standard error. Averages with the same letters in each column and each year are not significant based on Duncan's multiple range test at 5% of probability level.

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)

تاثیر دور آبیاری بر مقدار NDF و ADF علوفه در سال معنی‌دار بود (جدول ۸). کمترین مقدار فیبر (NDF و ADF) در تیمار تنش شدید خشکی (دور آبیاری ۲۶ روز) به دست آمد، درحالی‌که بین دو تیمار تنش کم (دور آبیاری ۱۶ روز) و متوسط (دور آبیاری ۲۱ روز) تفاوت معنی‌دار وجود نداشت (جدول ۹). در این تحقیق، مقدار NDF و ADF به طور متوسط ۲۶/۵ و ۱۹ درصد بود که این مقدار فیبر نشان می‌دهد که علوفه کاکتوس به لحاظ داشتن مقدار متعادل فیبر از کیفیت خوبی برای تغذیه دام برخوردار است (جدول ۹). فیبر نامحلول در شوینده خنثی (NDF)، بیانگر دیواره سلولی (سلولز، همی سلولز و لگنین) و قابلیت

سدیم و پتاسیم علوفه

محتوی سدیم و پتاسیم علوفه تحت تاثیر دور آبیاری معنی‌دار بود (جدول ۸). بیشترین مقدار سدیم و پتاسیم در ماده خشک علوفه در تیمار تنش شدید خشکی (دور آبیاری ۲۶ روز) مشاهده شد، اما بین سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۹). پتاسیم یکی از عناصر ضروری مورد نیاز گیاه است که نقش مهمی در بقای گیاهان تحت تنش ایفا می‌نماید. این عنصر با حفظ پتانسیل اسمزی و تورژسانس سلول و تنظیم وظایف روزنه‌ای، سرعت فتوسنتز، رشد و عملکرد گیاه در شرایط تنش خشکی 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

پد کاکتوس دارد. با وجود فیزیولوژی گیاه کاکتوس و مقاومت آن به خشکی، با افزایش تنش خشکی، عملکرد تر و خشک، بهره‌وری مصرف آب و پروتئین علوفه کاهش یافت. متوسط مصرف آب در سال اول، دوم و سوم به ترتیب ۲۴۳، ۹۸۷ و ۱۷۷۴ متر مکعب در هکتار بود. بر اساس نتایج این تحقیق، در سال دوم با مصرف ۱۰۳۵ متر مکعب آب در هکتار و دور آبیاری ۱۴ روز، حداکثر عملکرد علوفه (۵۴ تن در هکتار) و در سال سوم با مصرف ۱۹۳۰ متر مکعب آب در هکتار با دور آبیاری ۱۶ روز حداکثر عملکرد ۱۰۸/۷ تن در هکتار به دست آمد. مشخص شد که دوره رشد رویشی گیاه در این منطقه عمدتاً در فصل بهار و اوایل تابستان است و با خنک شدن و سرد شدن هوا از اواخر پاییز تا اواخر بهمن، گیاه وارد مرحله رکود رشد می‌شود. با توجه به همیشه سبز بودن گیاه در تمام فصول سال می‌توان از علوفه این گیاه در فصول پاییز و زمستان برای تعلیف دام استفاده نمود. این تحقیق مشخص نمود که امکان کشت و توسعه گیاه کاکتوس در منطقه آرزوئی وجود دارد و می‌توان نسبت به توسعه کشت این گیاه با مصرف کم آب اقدام نمود.

هضم علوفه است. علوفه با فیبر کمتر، از سرعت هضم بیشتری برخوردار است و می‌تواند انرژی بیشتری برای دام تامین نماید (Waghorn *et al.*, 2007). مقدار NDF و ADF در کاکتوس علوفه‌ای به ترتیب ۳۴ و ۱۶/۶ درصد گزارش شده است (Mondragon-Jacobo & Perez-Gonzalez, 2001).

در تحقیقی، کاهش کیفیت و افزایش درصد فیبر علوفه در شرایط تنش خشکی گزارش شده است که با نتیجه حاصل از این تحقیق مغایرت دارد (Najafinezhad *et al.*, 2019). در این تحقیق، همبستگی فیبر علوفه (ADF و NDF) با درصد رطوبت و قطر پد مثبت و معنی‌دار بود (جدول ۷۷)؛ بنابراین می‌توان اظهار داشت که در شرایط تنش شدید خشکی در کاکتوس، به دلیل اختلال در فتوسنتز و تولید کربوهیدرات‌های ساختمانی، در نهایت فیبر کمتری تولید شده است.

نتیجه‌گیری کلی

در مجموع نتایج تحقیق نشان داد که تنش خشکی، تاثیر معنی‌داری بر عملکرد علوفه، بهره‌وری مصرف آب، پروتئین خام علوفه و قطر، طول، عرض و وزن

REFERENCES

1. AOAC. (1990). *Association of official analytical chemists*, Washington DC. 15th ed.
2. Chiteva, R. & Wairagau N. (2013). Chemical and nutritional content of *Opuntia ficus indica* (L.). *African Journal of Biotechnology*, 12, 3309-3312.
3. 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.
4. 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.
5. 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).
6. Fonseca, V. A., Santos, M. R., Silva, J. A., Donato, S. L. R., Rodrigues, C. S., & Britto, C. F. B. (2019). Morpho-hysiology, yield, and water-use efficiency on *Opuntia ficus-indica* irrigated with saline water. *Acta Scientiarum-Agronomy*, 41, 1-11.
7. 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 CO₂ levels. *Agricultural and Forest Meteorology*, 49, 261-279.
8. 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.

9. 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).
10. 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(1), 274–80.
11. 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.
12. Gregory, R. A. & Felker, P. (1992). Crude protein and phosphorus contents of 8 contrasting *Opuntia* forage clones. *Journal of Arid Environments*, 22, 323–331.
13. Han, H. & Felker, P. (1997). Field validation of water-use efficiency of the CAM plant *Opuntia ellisiana* in south Texas. *Journal of Arid Environments*, 36, 133-148.
14. Howell, T. A. (2001). Enhancing water use efficiency in irrigated agriculture. *Agronomy Journal*. 93:281-289.
15. Khadem, S. A., Galavi, M., Ramrodi, M., Mousavi, S. R., Roustia, 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.
16. 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*, 8.3,14-20.
17. Maltzberger, B. (1996). *Cactus as a resource for cattle and wildlife* (Online). verified 28 June 2006, Available at: www.jpacd.org.
18. Mondragon-Jacobo, C. & Perez-Gonzalez, S. (2001). *Cactus (Opuntia spp.) as Forage*. FAO Plant Production and Protection Paper 169. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 146.
19. 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.
20. Najafinezhad, H., Javaheri, M. A., Koochi, 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(2), 261-283.
21. Nefzaoui, A., Louhaichi, M. & Ben Salem, H. (2014). Cactus as a tool to mitigate drought and to combat desertification. *Journal of Arid Land Studies*, 13, 121-124.
22. 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, 13–20.
23. Nobel, P. S. & Hartsock, T. L. (1983). Relationships between photosynthetically active radiation, nocturnal acid accumulation, and CO₂ uptake for a crassulacean acid metabolism plant, *Opuntia ficus-indica*. *Plant Physiology*, 71, 71–75.
24. 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(2), 137–44.
25. Pimienta-Barrios, E. & Munoz-Urias, A. (1995). *Domestication of opuntias and cultivated varieties*. p.58-63, in: G. Barbera, P. Inglese and E. Pimienta-Barrios (eds) *Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear*. FAO Plant Production and Protection Paper, 132.
26. 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).
27. Scalisi, A., Morandi, B., Inglese, P. & Lo Bianco, R. (2016). Cladode growth dynamics in *Opuntia ficus-indica* under drought. *Environmental and Experimental Botany*, 122, 158-167.
28. 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.
29. Sparks, D. L. (1996). Methods of soil analysis. Part 3 - Chemical methods. SSSA Book Series No. 5. SSSA and ASA, Madison WI.
30. 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 (4), 150-154.

31. Taiz, L. & Zeiger, E. (1998). *Plant Physiology*. Second Edition. Sinauer Associates: Sunderland, Massachusetts. 792 pp.
32. 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, 1987.
33. 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.
34. 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.