تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک/ جلد ششم، شماره اول، بهار ۱۴۰۳، ص ۱۵-۱

مقاله پژوهشی

ارزیابی ویژگی‌های مورفولوژیک، بیوشیمیایی و عملکرد علوفه‌ای کاکتوس اپونتیا (*Opuntia ficus-indica* (L.) Miller) تحت تأثیر اوره و سوپرفسفات تریپل در شرایط کم آبیاری

حامد حسن‌زاده[۱]، محمدرضا صالحی سلمی[۲*]، محمدحسین دانشور[۲]، پیام پورمحمدی[۳]

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم باغبانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، خوزستان، ایران

۲- گروه علوم باغبانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، خوزستان، ایران

۳- گروه مهندسی ژنتیک و تولید گیاهی، دانشگاه علوم دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، خوزستان، ایران

* مسئول مکاتبه: salehi@asnrukh.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۰۸ **DOI: 10.22034/CSRAR.2024.348621.1250**

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر مقادیر مختلف نیتروژن و فسفر بر ویژگی‌های مورفولوژیک، بیوشیمیایی و عملکرد علوفه‌ای کاکتوس اپونتیا تحت کم آبیاری و شرایط آب و هوایی خوزستان، آزمایشی به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار (کرت) انجام شد. در این پژوهش اثر سطوح کود فسفر (۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) از منبع سوپر فسفات، به‌عنوان فاکتور اصلی، و کود نیتروژن در چهار سطح (۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) به صورت کود اوره، به‌عنوان فاکتور فرعی، بر کاکتوس اپونتیا تحت کم آبیاری شدید (یک مرتبه در بهار و پاییز، سه مرتبه در تابستان و بدون آبیاری در زمستان) مطالعه شد. نتایج نشان داد که افزایش سطح نیتروژن تا ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار به همراه سطح فسفر ۵۰ کیلوگرم در هکتار، سبب افزایش ارتفاع، وزن تر، تعداد پد، میزان نیتروژن و فسفر، پروتئین کل، میزان اسیدهای آمینه و کلروفیل شد. افزایش کوددهی نیتروژن به تنهایی نیز سبب افزایش موسیلاژ و فیبر گردید، اما میزان کربوهیدرات کل گیاه تحت تأثیر این دو کود قرار نگرفت. نتایج نشان داد که بیشترین میزان موسیلاژ (۰/۷۷ گرم در ۱۰۰ گرم وزن خشک) مربوط به تیمار نیتروژن تا سطح ۱۵۰ کیلوگرم بود. به‌طورکلی، این‌گونه به نظر می‌رسد افزایش میزان نیتروژن تا سطح ۱۵۰ کیلوگرم به همراه سطح فسفر ۵۰ کیلوگرم در هکتار سبب افزایش ۲۳ درصدی عملکرد زیست‌توده نسبت به شاهد در کاکتوس اپونتیا در استان خوزستان گردد و از افزایش میزان کود نیتروژن نسبت به فسفر در خاک، نتایج مثبت‌تری به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: پد، پروتئین، خشکی، فیبر، کربوهیدرات

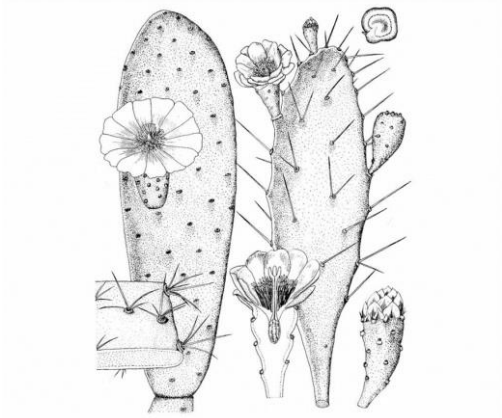
مقدمه

یکی از راهکارهای مقابله با کمبود آب در کشاورزی، استفاده از گیاهانی است که ضمن عملکرد مناسب، توانایی مقابله با شرایط خشکی را دارند (Baligar *et al.*, 2001). گیاه کاکتوس دارای ویژگی‌های بارزی است که آن را جهت کشت و کار در شرایط کم‌آبی مناسب می‌سازد. راندمان مصرف آب در کاکتوس‌ها تا ۵ برابر گیاهانی مانند گندم و جو و تا ۳ برابر گیاهانی مانند ذرت و سورگوم می‌باشد، بنابراین در شرایط خشک و محدودیت آبی، گیاهی ایده‌آل و منحصربه‌فرد است (Taiz and Zeiger, 2006).

سیر تکاملی گونه‌ای از اپونتیا با نام علمی *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller، متعلق به خانواده کاکتوس، در مناطق خشک باعث تنوع زیاد مورفولوژیک، آناتومیک و فیزیولوژیک آن گردیده است (شکل ۱). گونه *ficus-indica* دارای بوته‌های چندساله و بدون برگ است که از روی هم قرار گرفتن ساقه‌های برگ مانند به نام پد تشکیل شده است (Gouws *et al.*, 2020). این گونه‌ی اپونتیا می‌تواند به‌عنوان علوفه زراعی برای کشاورزان محسوب شود. در برخی از کشورهای دنیا مانند آمریکا و آرژانتین برای بهره‌وری بالا در شرایط نامطلوب، از گونه‌های جنس اپونتیا به‌عنوان علوفه در دامداری‌ها استفاده می‌شود (Guevara *et al.*, 2000). با وجود اینکه پروتئین کمی در آن‌ها تجمع یافته است، ولی علوفه این گیاهان دارای کربوهیدرات، آب و مواد معدنی می‌باشد (Aguero *et al.*, 2006). پیشنهاد شد به‌دلیل اینکه اپونتیا ازنظر کربوهیدرات‌های محلول و کلسیم، غنی و ازنظر فسفر، فقیر است، دام‌ها قبل از استفاده از اپونتیا، با مواد غذایی دارای فسفر مانند کاه و علوفه تغذیه شوند (Williams, 2012). در بررسی دیگری مشخص شد یک راس گاو به وزن ۴۰۰ کیلوگرم، در صورت مصرف ۴۵

کیلوگرم کاکتوس، انرژی مصرفی روزانه خود را تأمین می‌کند، با این وجود به علت آبدار بودن کاکتوس حداکثر تا ۴۰ کیلوگرم آن را می‌تواند مصرف کند (Aruwa *et al*., 2018).

یکی از راه‌های افزایش ارزش غذایی علوفه‌ها تأمین عناصر موردنیاز برای رشد گیاه است که حفظ حاصلخیزی خاک و پیشگیری از تخریب آن در دراز مدت را نیز ممکن می‌سازد (Bayatani *et al*., 2019). در مناطق خشک و نیمه‌خشک، نیتروژن نخستین عنصری است که کمبود آن مطرح می‌باشد، زیرا در این مناطق میزان مواد آلی خاک که عمده‌ترین منبع نیتروژن هستند، به دلایل مختلف ازجمله بارندگی کم، تناوب زراعی نامناسب، پوشش گیاهی ناچیز و عدم مصرف کودهای حیوانی و کود سبز کم است (Pourazizi and Fallah, 2013).



شکل ۱- تصویر گیاه‌شناسی اپونتیا *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller

Figure 1- Botanical illustration of *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller

در پژوهشی مشاهده شد نیتروژن باعث افزایش عملکرد ماده خشک گیاه اپونتیا شد، هم‌چنین نیتروژن باعث افزایش غلظت نیتروژن بوته و کارایی مصرف آب گردید (Dubeux *et al*., 2006). مشخص شده است گیاه اپونتیا در صورت وجود رطوبت کافی واکنش بسیار خوبی به افزایش کود نشان می‌دهد. افزایش کود در افزایش تعداد و وزن لندام برگ مانند و هم‌چنین کیفیت آن‌ها اثر مثبت دارد. برخی از پژوهش‌ها نشان می‌دهد که استفاده از کودهای نیتروژن، فسفر و کود دامی در شرایط مطلوب ۲۰۰ تا ۳۰۰ درصد میزان محصول را افزایش می‌دهند (Ochoa *et al*., 2002). فسفر یکی از عناصر غذایی می‌باشد که برای دستیابی به عملکرد مطلوب باید به مقدار کافی مهیا باشد. این عنصر در کلیه فرآیندهای بیوشیمیایی و سازوکارهای انتقال دخالت دارد. افزون بر این، فسفر جزئی از پروتئین یاخته بوده و به‌عنوان بخشی از پروتئین هسته، غشای یاخته‌ای و اسیدهای نوکلئیکی نقش ویژه‌ای دارد. هم‌چنین فسفر برای توسعه ریشه ضروری می‌باشد (Khalili *et al*., 2019). در تحقیقی پس‌از آنالیز مواد معدنی برگ و خاک اپونتیا، گزارش دادند برای رشد این گیاه ۹۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن و ۳۰ کیلوگرم در هکتار فسفر توصیه می‌شود (Zegbe *et al*., 2014).

با توجه به مشکل کمبود آب در جنوب ایران، کشت گیاهان علوفه‌ای با نیاز آبی کم، مانند اپونتیا، در این مناطق پیشنهاد می‌شود. هم‌چنین گیاه اپونتیا در مناطق جنوبی از گذشته به‌صورت باغچه‌ای و گلدانی کشت می‌شود، ولی تاکنون تحقیق مستندی در ارتباط با کشت و کار وسیع این گیاه به‌صورت مزرعه‌ای گزارش نشده است. از سوی دیگر در خاک‌های جنوبی کشور، سطوح نیتروژن و فسفر پایین است، اغلب گیاهان دچار نشانه‌های کمبود این عناصر هستند و از این‌رو عملکرد مطلوب بدون مصرف این دو عنصر به‌دست نمی‌آید. بنابراین هدف از این پژوهش تأثیر سطوح مختلف کودی نیتروژنه و فسفره بر عملکرد و کیفیت علوفه گیاه اپونتیا با آبیاری حداقلی و در شرایط آب و هوایی خوزستان است.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی سطوح کودی نیتروژنه و فسفره بر ویژگی‌های بیوشیمیایی، مورفولوژیک، عملکرد علوفه کاکتوس

اپونتیا پژوهشی در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان واقع در شهر ملاثانی (در ۳۵ کیلومتری شمال شرقی اهواز و در حاشیه شرقی رودخانه کارون) به‌صورت اسپیلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار (کرت) انجام شد. پیش از شروع عملیات، به‌منظور بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه، به‌صورت تصادفی نمونه‌برداری و از لحاظ خصوصیات فیزیکوشیمیایی مورد ارزیابی قرار گرفت (جدول ۱). هم‌چنین ویژگی‌های آب و هوایی این منطقه در جدول ۲ آورده شده است. به‌منظور داشتن گیاهانی یکسان، قلمه‌های هم‌اندازه از گیاه اپونتیا تهیه و در گلدان و در محیط گلخانه به مدت یکسال پرورش یافتند. سپس در مهرماه ۱۳۹۴ قلمه‌های ریشه‌دار شده به طول ۱۰ تا ۱۵ سانتی‌متر در کرت‌ها کاشته شد. در این آزمایش کرت‌ها با عرض ۲ متر و طول ۳ متر تهیه و فاصله گیاهان از یکدیگر ۰/۵ متر در نظر گرفته شد. تیمارهای موردنظر شامل کود فسفر، به‌عنوان فاکتور اصلی، در چهار سطح (صفر، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) از منبع سوپر فسفات تریپل به‌صورت مخلوط با خاک و پیش از کشت گیاهان و کود نیتروژن، به عنوان فاکتور فرعی، در چهار سطح (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) از منبع اوره همراه با آبیاری اعمال شد. دوره‌های آبیاری بسته به فصل، در پاییز یک مرتبه (۱۵ آبان)، زمستان بدون آبیاری، بهار یک مرتبه (۱۵ اردیبهشت) و تابستان سه مرتبه (۱۵ تیر، ۱۵ مرداد و ۱۵ شهریور) به میزان ظرفیت زراعی خاک انجام شد. لازم به ذکر است از هیچ‌گونه آفت‌کش و علف‌کشی برای مبارزه با آفات و علف‌های هرز استفاده نشد.

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های خاک مورد استفاده

Table 1- Some characteristics of the soil used

بافت خاک Soil Texture	نیتروژن Nitrogen (%)	فسفر قابل‌جذب Phosphorus (mg/kg)	پتاسیم قابل‌جذب Potassium (mg/kg)	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی Ec (dS/m)	نسبت جذب سدیم SAR
سیلتی رسی Clay-Silt	0.1	5.2	248	7.6	2.8	4.1

جدول ۲- وضعیت آب و هوایی محل آزمایش (شهر ملاثانی) از مهرماه ۱۳۹۵ تا شهریورماه ۱۳۹۶

Table 2- Climate status of Malasani city from September 2016 to August 2017

	2016						2017					
	مهر September	آبان October	آذر November	دی December	بهمن January	اسفند February	فروردین March	اردیبهشت April	خرداد May	تیر June	مرداد July	شهریور August
میانگین دمای Mean Tem. (°C)	29.1	20	14.3	13.4	13.9	20.9	28.8	35.7	39.4	41	39.9	35.9
کمینه دمای Min Tem. (°C)	13.4	4	1	1.6	1	8	11.4	19	20.4	20	25.6	21
بیشینه دمای Max Tem. (°C)	41.8	34.4	27.5	25.6	27.9	32	41.4	48	54.3	49.6	47.8	43
مجموع بارش Total rain (mm)	0	0	48.8	1.2	12.3	38.3	0.3	0	0	0	0	0

پس از گذشت دو سال از کاشت گیاهان در مزرعه، مهرماه ۱۳۹۶، اندازه‌گیری ویژگی‌های زیر انجام شد:

- ارتفاع شاخساره: با استفاده از خط‌کش از سطح خاک تا بالاترین ارتفاع هر گیاه اندازه‌گیری شد.

- تعداد پد: به‌صورت شمارش دستی صورت گرفت.

- وزن تر: پس از بریدن قسمت هوایی بوته‌ها وزن تر با استفاده از ترازو اندازه‌گیری شد.

- میزان فسفر پد: برای اندازه‌گیری این عنصر از روش اولسن (Olsen *et al*., 1954) و توسط دستگاه اسپکتروفتومتر استفاده شد. به این صورت که ۱۰ میلی‌لیتر از عصاره به‌دست‌آمده با ۱۰ میلی‌لیتر نیترات آمونیم ۱ نرمال و ۲ میلی‌لیتر کلرورقلع ۲ نرمال مخلوط و درنهایت با آب مقطر به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد. سپس توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۶۶۰ نانومتر قرائت گردید. پس از تهیه منحنی استاندارد، غلظت نهایی فسفر موجود در بافت پد پس از قرارگیری عدد قرائت شده در معادله خط، محاسبه گردید.

- میزان نیتروژن پد: ۰/۱ گرم نمونه از پد آسیاب و در لوله‌های مخصوص آزمایش قرار داده شد. سپس مقدار ۳/۵ میلی‌لیتر اسیدسولفوریک غلیظ به همراه یک گرم کاتالیزور، شامل سولفات پتاسیم و سولفات مس و سلنیوم، به لوله‌ها اضافه شد. سپس با استفاده از هیتر برقی به مدت ۲ ساعت دمای آن به‌تدریج به ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد رسانده تا عملیات هضم انجام شود. سپس نمونه‌ها در دمای اتاق قرار گرفته تا خنک شدند و به‌وسیله‌ی دستگاه کجلدال میزان نیتروژن نمونه محاسبه شد (Kjeldahl, 1883).

- میزان پروتئین خام پد: ۲۰ میکرولیتر از عصاره استخراج‌شده بوسیله ۸۰ میکرولیتر بافر استخراج رقیق گردید و ۵ میلی‌لیتر معرف کوماسی بلو به آن اضافه و ورتکس شد. پس از گذشت ۵ دقیقه میزان جذب نوری آن در طول موج ۵۹۵ نانومتر قرائت گردید. سپس غلظت پروتئین در نمونه با توجه به جذب نمونه با استفاده از منحنی استلندارد به دست آمد (Bradford, 1976).

- میزان اسیدآمینه کل: اندازه‌گیری اسیدآمینه کل با استفاده از محلول ناین هیدرین و بررسی جذب در طول موج ۵۷۵ نانومتر انجام شد. جهت تهیه استاندارد اسیدهای آمینه کل از گلایسین استفاده شد (Ravindranath, 1981).

- میزان کربوهیدرات محلول کل پد: مقدار کربوهیدرات‌های محلول کل با استفاده از روش فنول-اسیدسولفوریک اندازه‌گیری شد. ابتدا ۱۰۰ میلی‌گرم از نمونه درون لوله شیشه‌ای ریخته شد، سپس به نمونه ۵ میلی‌لیتر اسیدکلریک ۲/۵ نرمال افزوده و در حمام آب جوش نگه‌داشته شد تا هیدرولیز شود. سپس در لوله کربنات سدیم جامد خنثی ریخته تا عمل جوشیدن متوقف شود. سپس حجم محلول با آب مقطر به ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده و سانتریفیوژ شد. به هر لوله ۱ میلی‌لیتر محلول فنول اضافه شد و سپس به هر لوله ۵ میلی‌لیتر اسیدسولفوریک ۹۶ ٪ اضافه شد و در حمام آب ۳۰ درجه سانتی‌گراد ۲۰ دقیقه قرار گرفت. در آخر محلول در طول موج ۴۹۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد و با استفاده از نمودار استاندارد مقدار کربوهیدرات‌های کل موجود محاسبه گردید (Dubois *et al*., 1962).

- درصد موسیلاژ پد: ابتدا نمونه در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد یک هفته گذاشته و سپس آسیاب شد. برای حذف چربی از نمونه، مخلوطی از ۵۰ گرم نمونه و ۲۰۰ میلی‌لیتر هگزان به مدت یک ساعت روی دستگاه شیکر تکان داده شد. مخلوط با کاغذ صافی صاف شد و مواد روی صافی در دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴ ساعت خشک گردید. سپس نمونه به نسبت ۵ ٪ با آب دیونیزه مخلوط شد و به مدت ۲ ساعت در حمام آب ۹۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. این مخلوط سانتریفیوژ شد. در ادامه برای حذف پروتئین به محلول جداشده، تری کلرواستیک اسید افزوده شد و نمونه سانتریفیوژ گردید. محلول جداشده با حجم ۲ برابر الکل اتیلیک ۹۶ ٪ مخلوط گردید و صمغ به‌صورت رسوب از فاز مایع جدا شد و رسوب حاصله در آون با دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد خشک شد تا موسیلاژ به‌دست آید (Xi *et al*., 2010).

- درصد فیبر: ابتدا ۲ گرم از نمونه پودر شده با اتر عصاره گیری شد. سپس نمونه خشک‌شده با ۲۰۰ میلی‌لیتر اسیدسولفوریک به‌مدت ۳۰ دقیقه جوشانده و از طریق کاغذ صافی صاف گردید و با آب جوشان تا عاری شدن از اسید شستشو گردید. رسوب با ۲۰۰ میلی‌لیتر سود به مدت ۳۰ دقیقه جوشانده و از طریق کاغذ صافی دوباره صاف گردید و با ۲۵ میلی‌لیتر اسیدسولفوریک در حال جوشیدن، ۳ نوبت با ۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر و در پایان با ۲۵ میلی‌لیتر الکل شسته شد، سپس رسوب برداشته و به‌مدت ۲ ساعت در دمای ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد خشک شد و در دسیکاتور گذاشته شد تا خنک شود و وزن آن محاسبه گردید و در آخر نمونه در کوره الکتریکی در

دمای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. سپس در دسیکاتور خنک شده و دوباره وزن شد (Maynard, 1970).

- کلروفیل کل: ابتدا ۰/۱ گرم از نمونه پد با ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ ٪ درون لوله آزمایش دربسته قرار داده شدند. سپس ظروف به‌مدت ۷۲ ساعت در شرایط تاریکی و دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند تا کلروفیل بافت خارج شده و نمونه کاملاً بی‌رنگ گردد. پس از آن اندازه‌گیری جذب محلول به‌دست آمده با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج‌های ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر قرائت گردید (Lichtenthaler and Wellburn, 1985).

تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن در سطح احتمال ۵٪ انجام شد. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار اکسل ۲۰۱۳ استفاده شد.

نتایج و بحث

ارتفاع: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات ساده نیتروژن و فسفر در سطح احتمال ۵ ٪ و اثر متقابل نیتروژن و فسفر در سطح احتمال ۱ ٪ بر ارتفاع کاکتوس اپونتیا معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیش‌ترین ارتفاع گیاه در تیمار مصرف ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به همراه ۵۰ کیلوگرم فسفر در هکتار (۲۲/۰۴ سانتی‌متر) به دست آمد، با این وجود با تمامی تیمارهای که مصرف فسفر ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار بود، صرف‌نظر از میزان مصرف نیتروژن، اختلاف معنی‌داری نبود. هم‌چنین کم‌ترین ارتفاع گیاه در تیمار مصرف ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به همراه ۲۵ کیلوگرم فسفر در هکتار (۱۰/۷۱ سانتی‌متر) حاصل شد، ولی با تمامی تیمارهای که مصرف فسفر در آن‌ها صفر بود، صرف‌نظر از میزان مصرف نیتروژن، اختلاف معنی‌داری نبود (جدول ۴). این نتایج نشان‌دهنده اهمیت و نقش نیتروژن در رشد طولی اپونتیا است. نتایج این آزمایش با یافته‌های به‌دست‌آمده روی اپونتیا در شرایط مزرعه‌ای و در کشور برزیل همسویی داشت. در این پژوهش بیان شد که با افزایش نیتروژن خاک، طول پد و درنتیجه ارتفاع افزایش یافت (Dubeux *et al*., 2006). با افزایش نیتروژن در خاک، گیاه سعی به ذخیره‌سازی نیتروژن در بافت خود می‌کند و این فرآیند با قراردهی نیتروژن در زیست‌توده خود انجام می‌دهد. به‌نظر می‌رسد که دلیل افزایش ارتفاع بوته با افزایش کود نیتروژن، توسعه و رشد سلولی است که باعث افزایش حجم، توانایی جذب مواد بیشتر و فتوسنتز بیشتر می‌شود (Kelling *et al*., 2017).

تعداد پد: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده نیتروژن و اثر ساده فسفر در سطح احتمال ۱٪ و برهمکنش نیتروژن و فسفر در سطح احتمال ۵٪ بر تعداد پد کاکتوس اپونتیا معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل نیتروژن و فسفر بر تعداد پد نشان داد که بیش‌ترین تعداد پد (۴ عدد برای هر بوته) در سطح ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن به همراه ۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفر مشاهده است، ولی اختلاف معنی‌داری بین تعداد پد گیاهان تیمار شده با سطوح نیتروژن ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار مشاهده نشد. کم‌ترین تعداد پد (۱/۸۵ پد برای هر بوته) در شاهد (بدون استفاده از کود) مشاهده گردید، با این وجود با تیمارهای که در آن‌ها کود نیتروژن استفاده نشد (صرف‌نظر از مقدار فسفر) اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۴). هم‌چنین از نتایج می‌توان این‌گونه برداشت کرد که استفاده همزمان فسفر با نیتروژن اثر افزایشی در تعداد پد دارد. فراهمی نیتروژن در افزایش اندازه و تعداد برگ مؤثر است و فراهمی اندک نیتروژن بدین معنی است که گیاه نمی‌تواند به پتانسیل تولید برگ خود دست پیدا کند. مصرف کافی کودهای نیتروژن در ابتدای دوره رشد رویشی گیاه سبب گسترش سطح برگ و افزایش ظرفیت فتوسنتزی گیاه و تولید مواد پرورده می‌گردد (Engels *et al*., 2012). با افزایش ارتفاع، جوانه‌های جانبی جدید در بالای پوشش گیاهی تشکیل می‌شود. این ویژگی، کارآمدترین پدها را در بهترین موقعیت از نظر فتوسنتز قرار داده و درنهایت افزایش ارتفاع بوته را موجب خواهد شد. گیاهان که با محدودیت نیتروژن مواجه هستند، معمولاً دارای ارتفاع کوتاه، شاخ و برگ‌ها زردرنگ و نازک بوده و پوشش گیاهی ضعیف است که درنتیجه عملکرد به‌شدت کم می‌شود (Diepen Brock, 2000). هم‌چنین نتایج این آزمایش با نتایج تحقیق مشابه روی گیاه اپونتیا همسو بود (Amador *et al*., 2005). ایشان بیان داشتند که صفاتی ازجمله تعداد پد و طول و عرض پد در کاکتوس اپونتیا تحت تأثیر تیمارهای از منابع و غلظت‌های کودهای تجاری (اوره، سوپرفسفات تریپل) قرار گرفت.

وزن تر: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات ساده

نیتروژن و فسفر بر وزن تر کاکتوس اپونتیا معنی‌دار نشد، ولی اثر متقابل نیتروژن و فسفر در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج اثر متقابل نیتروژن و فسفر نشان داد، تیمار ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن به همراه ۵۰ کیلوگرم فسفر در هکتار بیش‌ترین میزان وزن‌تر (۴/۸۴ کیلوگرم) و تیمار ۲۵ کیلوگرم فسفر در هکتار به همراه صفر کیلوگرم نیتروژن در هکتار کم‌ترین وزن تر (۳/۶۷ کیلوگرم) را دارا بود (جدول ۴). هم‌چنین نتایج نشان داد با افزایش فسفر میزان وزن‌تر افزایش‌یافته است، اما با این‌حال تفاوت معنی‌داری میان تیمارها وجود نداشت. افزایش وزن‌تر با مصرف نیتروژن، می‌تواند به‌دلیل اثر نیتروژن بر گسترش پدها در مراحل اولیه و ادامه روند افزایش تدریجی برای مدت بیشتری باشد. مدت‌زمان گسترش سطح پد، به‌میزان نیتروژن گیاه بستگی دارد (Pourazizi and Fallah, 2013). مشخص شده است که نیتروژن با افزایش میزان هورمون جیبرلین در گیاه سبب تحریک رشد رویشی و افزایش طول ساقه می‌گردد. این اثر مثبت نیتروژن بر رشد رویشی روی گیاهان دیگری نظیر سورگوم علوفه‌ای نیز گزارش شده است (Amal *et al*., 2007).

میزان فسفر: تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات ساده کود نیتروژن و کود فسفر بر میزان فسفر پد معنی‌دار نشد، ولی اثر متقابل نیتروژن و فسفر بر میزان فسفر پد در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۳). تیمار ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن به همراه ۱۰۰ کیلوگرم فسفر در هکتار (۶/۳۵ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم ماده خشک) بیش‌ترین و تیمار ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن به همراه ۵۰ کیلوگرم فسفر در هکتار (۳/۸۹ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم ماده خشک) کم‌ترین میزان فسفر در پد را دارا بود (جدول ۴). با توجه به مقایسه میانگین‌ها با افزایش کود فسفر، صرف‌نظر از سطوح کود نیتروژن، میزان فسفر پد افزایش یافت. فسفری که به‌صورت کود وارد خاک می‌شود، مقدار زیادی از آن به‌سرعت از دسترس گیاه خارج می‌گردد و در بخش‌های معدنی خاک انباشته می‌شوند که علت آن ناشی از فرآیندهای شیمیایی جذب و رسوب است و مقداری از آن نیز در مواد آلی خاک غیرمتحرک می‌گردند. بنابراین فسفر اغلب در خاک‌های کشاورزی به‌عنوان عنصر غذایی محدودکننده است (Moe *et al*., 2017). علت افزایش مقدار فسفر در مقادیر بالای نیتروژن شاید این باشد که در رشد سریع رویشی در مراحل اولیه کاشت، سبب رشد بیشتر ریشه می‌گردد و سبب می‌شود فسفر مؤثر خاک در اختیار گیاه قرار گیرد. گزارش‌های موجود در مورد ذرت علوفه‌ای گویای این مطلب است (Dale and Wilson, 2008).

میزان نیتروژن: اثرات ساده کود نیتروژن و کود فسفر بر میزان نیتروژن پد در سطح احتمال ۱ ٪ معنی‌دار شد، هم‌چنین اثر متقابل نیتروژن و فسفر بر میزان نیتروژن گیاه در سطح احتمال ۵ ٪ معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین اثرات متقابل نشان داد که بیش‌ترین میزان نیتروژن پد در تیمار ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن به همراه ۱۰۰ کیلوگرم فسفر در هکتار (۴/۲۲ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم ماده خشک) و کم‌ترین میزان نیتروژن پد به میزان ۲/۱۹ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم ماده خشک در تیمار شاهد (بدون استفاده از کود) مشاهده شد. هم‌چنین مشاهده شد با افزایش سطوح فسفر، صرف‌نظر از سطوح نیتروژن، میزان نیتروژن پد افزایش یافت (جدول ۴). بیان شده است که باتوجه به نقش نیتروژن در عملکرد محصولات، در آینده مطالعات بسیاری در مورد پویایی نیتروژن و نقش آن در روابط فیزیولوژیک گیاه اپونتیا انجام خواهد شد (Zegbe *et al*., 2014). گزارش شد که مقدار نیتروژن قابل‌دسترس بر توزیع مواد فتوسنتزی بین اندام‌های رویشی و زایشی مؤثر است و مراحل فنولوژیک در اثر کمبود نیتروژن به تأخیر می‌افتد (Garsid, 2004). این امر می‌تواند به دلیل تأثیر زیاد نیتروژن بر گسترش سطح برگ و تداوم بهتر آن باشد. نتایج این بررسی با نتایج به‌دست‌آمده روی سورگوم علوفه‌ای همسویی داشت (Beyaert and Roy, 2005). ایشان بیان کردند با افزایش سطح کوددهی نیتروژن، میزان نیتروژن اندام رویشی افزایش یافت. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که با افزایش مصرف کود فسفر سبب افزایش میزان نیتروژن پد شد. نتایج این بررسی با نتایج حاصل از آزمایشی که نشان داد عنصر فسفر می‌تواند روی جذب سایر عناصر مانند پتاسیم، منیزیم، کلسیم و نیتروژن تأثیر گذاشته و در مواردی باعث تشدید جذب بعضی عناصر گردد، هم‌خوانی دارد (Khalili *et al*., 2019).

میزان پروتئین: نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر ساده کود نیتروژن و اثر ساده کود فسفر بر میزان پروتئین پد در سطح احتمال ۱ ٪ معنی‌دار شد، هم‌چنین اثر متقابل نیتروژن و فسفر بر میزان پروتئین در سطح احتمال ۵ ٪ معنی‌دار شد

(جدول ۳). مقایسات میانگین اثرات متقابل نیتروژن و فسفر نشان داد که تیمار ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به همراه ۱۰۰ کیلوگرم فسفر در هکتار بیش‌ترین میزان پروتئین (۱۲/۴۸ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر) و تیمار شاهد (بدون مصرف کود) کم‌ترین میزان پروتئین (۸/۵۸ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر) بود. هم‌چنین با افزایش فسفر در زمان ثابت بودن سطوح نیتروژن، میزان پروتئین خام افزایش یافت (جدول ۴). این نتیجه بدین معنی است که واکنش پروتئین خام نسبت به تغییر مقدار مصرف فسفر نیز تغییر می‌یابد. به علت اینکه نیتروژن در ساختمان اسیدهای آمینه ضروری شرکت دارد و از اجزای ساختمان پروتئین می‌باشد، با افزایش مقادیر نیتروژن میزان پروتئین خام افزایش یافت. بررسی انجام‌شده روی کاکتوس اپونتیا در ۳ سال متوالی، نشان داد که کاربرد نیتروژن باعث افزایش سطح پروتئین گردید و محتوای پروتئین خام بدون مصرف کود در کاکتوس حدود ۵/۵ درصد و با کاربرد ۶۷، ۱۳۵ و ۲۲۴ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به ترتیب به میزان ۸/۶، ۹/۶ و ۹/۹ درصد افزایش یافت (Gonzalez, 1999). گزارش‌شده مصرف کود نیتروژن میزان پروتئین خام در کاکتوس اپونتیا را برای دو سال افزایش داد (Guevara *et al*., 2000). درواقع به علت نقش انکارناپذیر نیتروژن در ساختمان پروتئین‌ها، مصرف کود اوره سبب افزایش محتوای پروتئین گردیده است. پژوهشگران گزارش کردند استفاده از کود شیمیایی اوره به مقدار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار بیشترین درصد پروتئین را در سورگوم علوفه‌ای باعث شده و با افزایش کود نیتروژن پروتئین خام افزایش می‌یابد (Almodares *et al*., 2009). با افزایش کاربرد سطوح فسفر درصد پروتئین خام افزایش یافت که این امر نشان‌دهنده نقش فسفر در بهبود ساخت اسیدآمینه می‌باشد. نتایج این آزمایش با نتایج برخی محققان (Rasheed *et al*., 2013) مطابقت دارد.

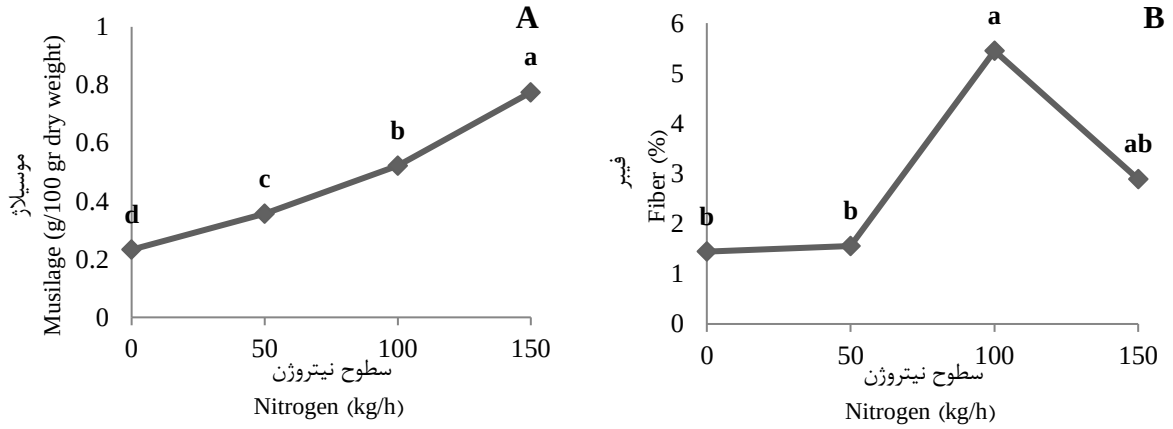
میزان اسیدآمینه کل: نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثرات ساده نیتروژن و فسفر بر میزان اسیدآمینه کل در سطح احتمال ۱ ٪ معنی‌دار بود. هم‌چنین اثر متقابل نیتروژن و فسفر در سطح احتمال ۵ ٪ معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین نشان داد دو عنصر فسفر و نیتروژن سبب افزایش میزان اسیدآمینه شد. به‌گونه‌ای که تیمار ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن به همراه ۱۰۰ کیلوگرم فسفر در هکتار بیش‌ترین میزان اسیدآمینه کل (۸۲/۴۷ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر) و تیمار شاهد (بدون کاربرد کود) کم‌ترین میزان اسیدآمینه کل (۴۲/۹۳ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر) داشتند (جدول ۴). نیتروژن عنصری کلیدی در تغذیه گیاهان به‌حساب می‌آید و به‌عنوان جزء اصلی در ساختمان تعدادی مولکول‌های زنده از قبیل اسیدهای آمینه، نقش اساسی در گیاهان ایفا می‌کند. نیتروژن به هر شکلی که توسط گیاه جذب شود، ابتدا به اسیدهای آمینه احیاء شده و سپس با تبدیل شدن به پروتئین نقش خود را ایفا می‌کند (Marschner, 1995). در مطالعه اثر نیتروژن روی گیاه نخودفرنگی، افزایش سطح نیتروژن موجب افزایش بیان ژن *AAP1* گردید و درنتیجه میزان اسیدآمینه کل افزایش پیدا کرد (Perchlik and Tegeder, 2017). با توجه به نقش فسفر در ساختار برخی از اسیدهای آمینه، بدیهی است که کود فسفره سبب افزایش میزان اسیدآمینه گردد. نتایج این پژوهش با نتایج به‌دست آمده روی گیاه علوفه‌ای ذرت همسو بود. گزارش شد که بیشترین محتوای اسیدآمینه در برگ‌های گیاهچه های ذرت در تیمارهای دارای کودهای زیستی فسفر بود (Sandhya *et al*., 2010).

میزان کربوهیدرات‌های محلول: نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر ساده نیتروژن، اثر ساده فسفر و اثر برهمکنش فسفر و نیتروژن بر میزان کربوهیدرات‌های محلول معنی‌دار نبود (جدول ۳). مصرف کود نیتروژن باعث افزایش معنی‌دار غلظت کربوهیدرات در بافت تر پد کاکتوس اپونتیا نشد. با توجه به اینکه این گیاه دارای سیستم فتوسنتزی CAM می‌باشد، با مصرف بیش‌ازحد این عنصر میزان تنفس و سوخت‌وساز گیاه افزایش یافت، بنابراین در سطوح بالاتر نیتروژن افزایش محتوای کربوهیدرات چشم‌گیر نبود (Aguero *et al*., 2006).

میزان موسیلاژ: نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر ساده نیتروژن بر میزان موسیلاژ در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد، ولی اثر ساده فسفر و اثر برهمکنش فسفر و نیتروژن بر میزان موسیلاژ معنی‌دار نبود (جدول ۳). با افزایش نیتروژن میزان موسیلاژ ۳/۵ برابر افزایش یافت. به‌گونه‌ای که بیش‌ترین میزان موسیلاژ در تیمار ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (۰/۷۷ گرم در ۱۰۰ گرم وزن خشک) و کم‌ترین میزان موسیلاژ در تیمار شاهد با ۰/۲۳ گرم در ۱۰۰ گرم وزن خشک مشاهده شد (شکل ۲-A). موسیلاژ ماده لزج و چسبنده‌ای است که از اندام برخی

گیاهان قابل استخراج است. محتوای موسیلاژ در پد کاکتوس مستقیماً به مقدار رطوبت مربوط می‌شود، زیرا اجزای نیتروپلی‌ساکارید آن تولنایی جذب آب را دارند. میزان رطوبت در پدهای جوان بیش‌تر از پدهای مسن‌تر است (Sepúlveda *et al*., 2007). در بررسی روی گیاه بالنگو، گزارش شد محتوای موسیلاژ رابطه مستقیمی با نیتروژن دارد. می‌توان این‌گونه استنباط نمود که نیتروژن موجب گسترش و حجیم شدن ریشه‌ها و جذب بیشتر رطوبت از خاک می‌شود و جذب رطوبت بیش‌تر توسط ریشه کاکتوس به افزایش موسیلاژ منجر می‌شود (Karimi *et al*., 2017).

درصد فیبر: نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر ساده نیتروژن بر درصد فیبر در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار شد، ولی اثر ساده فسفر و اثر برهمکنش فسفر و نیتروژن بر درصد فیبر معنی‌دار نبود (جدول ۳). نتایج نشان داد که در تیمار سطح ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار میزان فیبر گیاهان نسبت به شاهد تفاوت معنی‌داری نداشت، ولی با افزایش میزان نیتروژن به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار میزان فیبر نسبت به سایر تیمارها افزایش یافت. هم‌چنین در بالاترین سطح نیتروژن میزان درصد فیبر کاهش یافت. به‌طورکلی بیش‌ترین و کم‌ترین درصد فیبر به ترتیب به سطح ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (۵/۴۴ درصد) و تیمار ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (۱/۴۴ درصد) تعلق داشت (شکل ۲-B). در گیاهان، پروتئین و فیبر می‌تواند شاخصی مناسب برای تعیین کیفیت علوفه باشد. هرچقدر درصد فیبر علوفه کمتر باشد کیفیت آن بهتر می‌باشد، زیرا فیبر خام کمتر درصد هضم را افزایش می‌دهد. علاوه بر این، مقدار پروتئین با استفاده از نیتروژن افزایش یافت و این افزایش پروتئین باعث افزایش کیفیت علوفه می‌شود. استفاده از کود نیتروژن سبب افزایش محتوای پروتئین علوفه و افزایش میزان فیبر در اپونتیا شد. نتایج این بررسی با نتایج به‌دست‌آمده در سورگوم علوفه‌ای و ذرت مطابقت داشت (Almodares *et al*., 2009).



شکل ۲- اثر سطوح مختلف کود اوره بر میزان فیبر و موسیلاژ در کاکتوس اپونتیا. در هر نمودار، نقاط دارای حرف مشترک، در سطح ۵٪ آزمون چند دامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

Figure 2- Effect of different levels of urea fertilizer on fiber and mucilage content in Opuntia. In each graphs, points with at least one same letter, not different significantly at the 5% level of Duncan's multiple test.

میزان کلروفیل کل: نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر نیتروژن در سطح ۵٪ و اثر برهمکنش نیتروژن و فسفر در سطح ۱٪ بر میزان کلروفیل معنی‌دار بود، ولی اثر ساده فسفر معنی‌دار نبود (جدول ۳). با توجه به مقایسه میانگین داده‌ها بیش‌ترین میزان کلروفیل کل با ۲/۴۰ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر در تیمار ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن به همراه ۵۰ کیلوگرم فسفر و کم‌ترین میزان کلروفیل کل در تیمار ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن به همراه ۲۵ کیلوگرم فسفر در هکتار با ۱/۲۴ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر مشاهده شد (جدول ۴). نیتروژن تأثیر مستقیم در ساخت کلروفیل دارد. بنابراین تأمین کافی نیتروژن از طریق استفاده از کود شیمیایی نیتروژن، تا حد مناسب، باعث افزایش میزان تولید کلروفیل گردید. بااین‌وجود به‌نظر می‌رسد به دلیل سیستم

فتوسنتزی این گیاه، افزایش بیش‌ازحد نیتروژن سبب ایجاد تنش و تخریب کلروفیل شده است (Vidal *et al*., 1999). گزارش شده است که حداقل ۲۵ درصد و به‌طورمعمول بیش از ۷۵ درصد نیتروژن برگ‌ها در کلروپلاست قرار دارد و بیشتر این نیتروژن نقش آنزیمی در استروما و لاملا دارد. پروتئین و کلروفیل در لاملا تشکیل کمپلکس می‌دهند، بنابراین کلروپلاست دارای کمبود نیتروژن ممکن است به‌جای بیضی‌شکل بودن، دارای ساختمان کروی باشد و متورم به‌نظر بیاید. بنابراین کمبود نیتروژن منجر به کاهش پروتئین کلروپلاست و تغییر شکل ساختار کلروپلاست شده و باعث زردی و کاهش میزان کلروفیل می‌گردد (Bloomfield *et al*., 2014).

نتیجه‌گیری کلی

باتوجه به اینکه استان خوزستان از نظر شرایط خشکسالی رتبه سوم را در بین استان‌های کشور دارد و همچنین توزیع نامناسب بارندگی سالانه، کاشت گیاهان چندساله را به‌صورت دیم یا کم آبیاری غیرممکن می‌کند؛ در این بررسی مشخص شده که گیاه اپونتیا با ۵ مرتبه آبیاری در سال (۱ مرتبه بهار، ۳ مرتبه تابستان و یک مرتبه پاییز) حتی در تیمار شاهد (بدون تغذیه) عملکرد چشمگیری داشت. با این وجود جهت رشد بهینه کوددهی لازم بود. با توجه به تغییر میزان عناصر نیتروژن و فسفر در کاکتوس اپونتیا و هم‌چنین ویژگی‌های تحت تأثیر، به نظر می‌رسد کوددهی نیتروژن نسبت به کود فسفره مؤثرتر بود. نتایج آزمایش نشان داد که کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار از منبع اوره با بهبود بخش‌های رویشی گیاه سبب افزایش وزن تر اندام‌های هوایی گردید، به‌گونه‌ای که با عملکرد ناشی از بالاترین سطح نیتروژن مصرفی برابر بود. هم‌چنین نتایج نشان داد که میزان پروتئین خام، اسیدآمینه و موسیلاژ موجود در اندام‌های هوایی پاسخ مناسبی به افزایش مصرف نیتروژن نشان دادند. با این وجود فسفر نیز توانست بر برخی صفات به‌ویژه میزان اسیدآمینه و پروتئین، که دو ویژگی مهم در گیاهان علوفه‌ای هستند، اثر گذارد. بنابراین، برای کشاورزانی که قصد کاشت اپونتیا در مناطقی گرم همراه با کمبود آب را دارند، کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و ۲۵ تا ۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفر توصیه می‌گردد.

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر کود نیتروژنه و فسفره بر شاخص‌های مورفولوژیک، عملکرد و کیفیت علوفه‌ی کاکتوس اپونتیا

Table 3- ANOVA of the effect of nitrogen and phosphorus fertilizers on morphological characteristics, yield and forage quality of Opuntia cactus

منابع تغییرات Source of variance	درجه آزادی df	میانگین مربعات MS										
		ارتفاع Height	تعداد پد Pad NO.	وزن‌تر Fresh weight	فسفر Phosphorus	نیتروژن Nitrogen	پروتئین Protein	اسیدآمینه Aminoacid	کربوهیدرات‌های محلول Soluble carbohydrates	موسیلاژ Musilage	فیبر Fiber	کلروفیل کل Total chlorophyll
تکرار Replication	2	75.37*	3.02**	0.37^{ns}	1.16^{ns}	0.15^{ns}	2.40**	60.19^{ns}	0.028^{ns}	0.004*	4.40^{ns}	0.066^{ns}
نیتروژن Nitrogen	3	62.90*	4.33**	0.49^{ns}	2.85^{ns}	7.98**	12.1**	3050.89**	0.063^{ns}	0.65**	16.32*	0.69*
خطای اصلی Main error	6	12.44	0.352	0.23	0.73	0.03	0.57	14.41	0.018	0.0003	4.66	0.119
فسفر Phosphorus	3	43.42*	1.71**	0.24^{ns}	1.03^{ns}	0.12**	0.93**	48.47**	0.017^{ns}	0.04^{ns}	1.79^{ns}	0.045^{ns}
فسفر × نیتروژن P*N	9	15.31**	0.95*	0.51**	1.28**	0.01*	0.27*	6.84*	0.025^{ns}	0.001^{ns}	4.14^{ns}	0.46**
خطای فرعی Sub-error	24	5.20	0.33	0.16	0.44	0.006	0.10	2.58	0.033	0.001	2.27	0.163
ضریب تغییرات CV (%)		13.15	20.01	9.61	14.73	2.66	12.66	12.31	14.3	9.26	14.6	21.4

^{ns}، * و ** به ترتیب نشان‌دهنده تأثیر غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ و ۰/۰۱ می‌باشد.

^{ns}, * and **: Non-significant and significant effects at the levels of 0.05 and 0.01, respectively.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات متقابل نیتروژن و فسفر خصوصیات مورفولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه اپونتیا

Table 4- Means comparison of effects of nitrogen and phosphorus on the morphological and biochemical characteristics of Opuntia cactus

نیتروژن و فسفر Nitrogen and Phosphorus	ارتفاع Height (cm)	تعداد پد Pad NO.	وزن‌تر Fresh Weight (gr)	فسفر Phosphorus mg/100 gr) (D.W.	نیتروژن Nitrogen mg/100 gr) (D.W.	پروتئین خام Protein (٪)	اسیدآمینه Aminoacid mg/100 gr) (F.W.	کلروفیل کل Total Chlorophyll (mg/g F.W.)
A_1*B_1	15.86^{c-f}	1.85 ^{e}	3.76 ^{e}	4.49 ^{bcd}	2.19 ^{g}	8.58 ^{g}	42.93 ^{g}	1.95 $^{a-e}$
A_1*B_2	14.25^{def}	1.95 ^{de}	3.89 ^{cde}	4.27 ^{cd}	2.24 ^{g}	8.75 ^{g}	43.77 ^{g}	2.08 $^{a-d}$
A_1*B_3	14.86^{c-f}	2.29 ^{cde}	4.02 $^{b-e}$	4.04 ^{d}	2.21 ^{g}	8.65 ^{g}	43.32 ^{g}	2.12 ^{abc}
A_1*B_4	16.06 $^{b-f}$	2.60 $^{b-e}$	4.25 $^{a-e}$	4.05 ^{d}	2.22 ^{g}	8.68 ^{g}	43.45 ^{g}	1.88 $^{a-f}$
A_2*B_1	19.73 $^{a-d}$	2.98 $^{a-e}$	3.67 ^{e}	4.12 ^{cd}	2.59 ^{f}	10.11 ^{ef}	50.61 ^{e}	2.35 ^{ab}
A_2*B_2	13.75 ^{ef}	1.93 ^{e}	3.97 $^{b-e}$	4.02 ^{d}	2.55 ^{ef}	9.97 ^{f}	49.90 ^{ef}	1.51 $^{c-f}$
A_2*B_3	10.71 ^{f}	2.29 ^{cde}	4.33 $^{a-e}$	3.89 ^{d}	2.70 ^{ef}	10.54 ^{ef}	52.76 ^{ef}	1.42 ^{ef}
A_2*B_4	17.88 $^{a-e}$	3.28 ^{a}	4.52 $^{a-e}$	5.70 ^{ab}	2.83 ^{e}	11.05 ^{e}	55.30 ^{e}	1.48 ^{def}
A_3*B_1	18.75 $^{a-e}$	3.72 ^{ab}	3.83 ^{e}	4.16 ^{cd}	3.19 ^{d}	12.47 ^{d}	62.41 ^{d}	1.57 $^{c-f}$
A_3*B_2	18.38 $^{a-e}$	3.12 $^{a-d}$	4.60 ^{abc}	4.21 ^{cd}	3.34 ^{d}	13.05 ^{d}	65.34 ^{d}	2.36 ^{a}
A_3*B_3	20.04 ^{abc}	3.93 ^{a}	4.64 ^{ab}	3.91 ^{d}	3.37 ^{cd}	13.19 ^{cd}	65.99 ^{cd}	2.40 ^{a}
A_3*B_4	22.04 ^{a}	4.00 ^{a}	4.80 ^{a}	4.69 ^{bcd}	3.61 ^{c}	14.12 ^{c}	70.68 ^{c}	2.34 ^{ab}
A_4*B_1	21.42 ^{ab}	3.35 ^{abc}	4.84 ^{a}	4.23 ^{cd}	3.95 ^{b}	15.42 ^{b}	77.19 ^{b}	1.71 $^{b-f}$
A_4*B_2	20.11 ^{abc}	3.56 ^{ab}	4.27 $^{a-e}$	5.12 ^{bcd}	4.02 ^{ab}	15.71 ^{ab}	78.63 ^{ab}	1.24 ^{f}
A_4*B_3	18.25 $^{a-e}$	2.10 ^{de}	3.75 ^{e}	6.35 a	4.11 ^{ab}	16.08 ^{ab}	80.45 ^{ab}	1.70 $^{b-f}$
A_4*B_4	19. 23 $^{a-e}$	2.98 $^{a-e}$	3.94 $^{b-e}$	5.31 ^{abc}	4.22 ^{a}	16.48 ^{a}	82.47 ^{a}	2.07 $^{a-d}$

در هر ستون میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد از آزمون چند دامنه‌ای دانکن ندارد.

In each column, means with at least one common letter, no significant difference at the 5% level of Duncan's multiple test.

علامت‌های اختصاری تیمارهای آزمایش: A۱: غلظت صفر کیلوگرم در هکتار نیتروژن، A۲: غلظت ۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، A۳: غلظت ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن و A۴: غلظت ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن.

Abbreviations of table: A_1: concentration of 0 kg/ha of nitrogen, A_2: 50 kg/ha of nitrogen, A_3: 100 kg/ha of nitrogen and A_4: of 150 kg/ha of nitrogen.

B۱: غلظت صفر کیلوگرم در هکتار فسفر، B۲: غلظت ۲۵ کیلوگرم در هکتار فسفر، B۳: غلظت ۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفر و B۴: غلظت ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار فسفر

B_1: concentration of 0 kg/ha of nitrogen, B_2: 25 kg/ha of nitrogen, B_3: 50 kg/ha of nitrogen and B_4: of 100 kg/ha of phosphorus.

سپاسگزاری

از معاونت محترم پژوهشی و فناوری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، به خاطر حمایت مالی از این تحقیق، تقدیر و تشکر می‌شود.

References

Aguero, R.J.A., Aguirre, J.R. and Banue, V.A., 2006. Reproductive biology of *Opuntia*: A review. *Journal of Arid Environments*, *64*, pp.549-585. **doi: 10.1016/j.jaridenv.2005.11.008**

Almodares, A., Jafarinia, M. and Hadi, M.R., 2009. The effects of nitrogen fertilizer on chemical compositions in corn and sweet sorghum. *American-Eurasian Journal Agriculture and Environmental Science*, *6*, pp.441-446. **doi: 10.5829/idosi.aejaes.2009.6.3.623**

Amador, B.M., Hernández, A.F., Hernández, J.L.C., Cepeda, R.D.V., Serrano, N.Y.A., Diéguez, E.T. and Espinoza, F.H.R., 2005. Soil amendment with organic products increases the production of prickly pear cactus as a green vegetable. *Journal of proffessinoal Assocciation for Cactus Development*, *7*, pp.97-109. **doi: 10.1080/14620316.2005.11511931**

Amal, G., Ahmed, N., Zaki, M. and Hassanein, M.S., 2007. Response of grain sorghum to different nitrogen sources. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences, 3*, pp.1002-1008. **doi: 10.3923/rjabs.2007.1002.1008**

Aruwa, C.E., Amoo, S.O. and Kudanga, T., 2018. *Opuntia* (Cactaceae) plant compounds, biological activities and prospects – A comprehensive review. *Food Research International, 112*, pp.328-344. **doi: 10.1016/j.foodres.2018.05.051**

Baligar, V.C., Fageria, N.K. and He, Z.L., 2001. Nutrient use efficiency in plants. *Soil Science and Plant Analysis, 32*, pp.921-950. **doi: 10.1081/pls-100104165**

Bayatani, H., Norouzian, M.A. and Afzalzadeh, A., 2019. Feeding value of *Lactuca serriola* at different harvesting stages and prediction of lag time with different models. *Journal of Animal Production, 21*, pp.219-221. [In Persian]. **doi: 10.22059/jap.2019.270353.623341**

Beyaert, R.P. and Roy, R.C., 2005. Influence of nitrogen fertilization on multi-cut forage sorghum-sudangrass yield and nitrogen use. *Agronomy Journal*, *97*, pp.1493-1501. **doi: 10.2134/agronj2005.1493**

Bloomfield, K.J., Farquhar, G.D. and Lloyd, J., 2014. Photosynthesis–nitrogen relationships in tropical forest tree species as affected by soil phosphorus availability: a controlled environment study. *Functional Plant Biology*, *41*, pp.820-832. **doi: 10.1071/fp13219**

Bradford, M.M., 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, *72*, pp.248-254. **doi: 10.1016/0003-2697(76)90527-390527-3)**

Dale, J.E. and Wilson, R.G., 2008. A comparison of leaf and ear development in barely cultivars as affected by nitrogen supply. *Agricultural Science, 90*, pp.503-508.

Diepen Brock, W., 2000. Yield analysis of winter oil seed rape: A review. *Field Crops Research, 67*, pp.35-49. **doi: 10.1016/s0378-4290(00)00095-000095-0)**

Dubeux, J.C.B., de Andrade, L.M.V., Cordeiro, D., Farias, I., Lima, L.E. and Ferreira, R.L.C., 2006. Productivity of *Opuntia ficus-indica* L. Miller under different N and P fertilization and plant population in north-east Brazil. *Journal of Arid Environments, 67*, pp.357-372. **doi: 10.1016/j.jaridenv.2005.11.008**

Dubois, M., Gilles, K.A., Hamilton, G.K., Robers, P.A. and Smith, F., 1962. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*, *26*, pp.350-356. **doi: 10.1021/ac60259a007**

Engels, C., Kirkby, E. and White, P., 2012. Mineral nutrition, yield and source-sink relationship. In: Marschner's mineral nutrition of higher plants (ed. Marschner, P.) 85-134. Academic Press, London, U.K.

Garsid, A., 2004. Sowing time effects on the development, yield and oil of flaxseed in semi-arid tropical. *Australian Journal of Production Agriculture*, *23*, pp.607-612.

Gonzalez, C.L., 1999. Potential of fertilization to improve nutritive value of prickly pear cactus (*Opuntia lindheimeri* Engelm.). *Journal of Arid Environment*, *16*, pp.87-94. **doi: 10.1006/jare.1999.0533**

Gouws, C., Mortazavi, R., Mellor, D., McKune, A. and Naumovski, N., 2020. The effects of Prickly Pear fruit and cladode (*Opuntia spp*.) consumption on blood lipids: A systematic review. *Complementary Therapies in Medicine*, *50*, pp.102- 118. **doi: 10.1016/j.ctim.2020.102118**

Guevara, J.C., Gonnet, J.M. and Estevez, O.R., 2000. Frost hardiness and production of *Opuntia* forage clones in the Mendoza plain, Argentina. *Journal of Arid Environments*, *46*, pp.199-207. **doi: 10.1006/jare.2000.0667**

Karimi, T., Maleki Farahani, S. and Rezazadeh, A.R., 2017. Effects of sowing date and chemical fertilizer on seed vigor and qualitative and quantitative characteristics of Lady's mantle (*Lallemantia royleana* Benth.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, *33*, pp.126-138. [In Persian]. **doi: 10.22092/ijmapr.2017.109717**

Kelling, K.A., Rouse, D.I. and Speth, P.E., 2017. Fumigation and fertilizer nitrogen source effects on potato yield, quality, and early dying. *American Journal of Potato Research*, *94*, pp.481-489. **doi: 10.1007/s12230-017-9596-6**

Khalili, S., Bastani, A. and Bagheri, M., 2019. Effect of different levels of irrigation water salinity and phosphorus on some properties of soil and quinoa plant. *Soil Research*, *33*, pp.155-166. [In Persian]. **doi: 10.22092/ijsr.2019.119757**

Kjeldahl, J., 1883. A new method for the determination of nitrogen in organic matter. *Analytical Chemistry*, *22*, pp.366-382. **doi: 10.1021/ac60049a006**

Lichtenthaler, H.K. and Wellburn, A.R., 1985. Determination of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf in different solvents. *Biochemical Society Transactions*, *11*, pp.591-592. **doi: 10.1042/bst0110591**

Marschner, H., 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd Edition. Academic Press. London, 889 p.

Maynard, A.J., 1970. Methods in Food Analysis, Academic Press, San Francisco, London, 845 p.

Moe, K., Win, K., Kyaw, K. and Yamakawa, T., 2017. Effects of combined application of inorganic fertilizer and organic manures on nitrogen use and recovery efficiencies of hybrid rice. *American Journal of Plant Sciences*, *8*, pp.1043-1064. **doi: 10.4236/ajps.2017.86094**

Mounir, B., Younes, G., Asmaa, M., Abdeljalil, Z. and Abdellah, A., 2020. Physico-chemical changes in cladodes of *Opuntia ficus-indica* as a function of the growth stage and harvesting areas. *Journal of Plant Physiology*, *251*, pp.153-160. **doi: 10.1016/j.jplph.2020.153160**

Ochoa, M.J., Leguizamón, G. and Uhart, S.A., 2002. Effects of nitrogen availability on cactus pear (*Opuntia ficus-indica* (L.) Miller) postharvest quality. *Acta Horticulture*, *581*, pp.225–230.

Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanabe, F.S. and Dean, L.A., 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. Circular, Vol 939 (p. 19), Washington. **doi: 10.2134/agronj1954.00021962004600030006x**

Perchlik, M. and Tegeder, M., 2017. Improving plant nitrogen use efficiency through alteration of amino acid transport processes. *Plant Physiology*, *175*, pp.47-56. **doi: 10.1104/pp.17.00039**

Pourazizi, M. and Fallah, S., 2013. Optimization of application of nitrogen fertilizers for growth and yield of forage sorghum under low-input and conventional farming systems. *Journal of Crop Production and Processing*, *9*, pp.81-91. [In Persian]. **doi: 20.1001.1.22518517.1392.3.9.7.0**

Rasheed, M., Hussain, A. and Mahmood, T., 2013. Growth analysis of hybrid maize as influenced by planting techniques and nutrient management. *International Journal of Agricultural and Biology*, *2*, pp.169-171. **doi: 10.17957/ijab/15.0010**

Ravindranath, M.H., 1981. Manual research methods for crustacean biochemistry and physiology. *Special Publication*, *7*, pp.10-20.

Sandhya, V., Ali, S.K.Z., Grover, M., Reddy, G. and Venkateswarlu, B., 2010. Effect of plant growth promoting Pseudomonas spp. on compatible solutes, antioxidant status and plant growth of maize under drought stress. *Plant Growth Regulation*, *62*, pp.21-30. **doi: 10.1007/s10725-010-9481-3**

Sepúlveda, E., Sáenz, C., Aliaga, E. and Aceituno, C., 2007. Extraction and characterization of mucilage in *Opuntia spp*. *Journal of Arid Environments*, *68*, pp.534-545. **doi: 10.1016/j.jaridenv.2006.11.005**

Taiz, L. and Zeiger, E., 2006. Plant Physiology (4t^{h} Ed), Sunderland, U.K., 690 pp.

Vidal, I., Longeri, L. and Hetier, J.M., 1999. Nitrogen uptake and Chlorophyll meter measurements in spring wheat. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, *55*, pp.1-6. **doi: 10.1023/A:1009783407744**

Williams, C.M., 2012. Nutritional quality of organic food: Shades of grey or shades of green? *Proceedings of the Nutrition Society*, *61*, pp.19-24. **doi: 10.1017/s0029665112000028**

Xi, X., Wei, X., Wang, Y., Chu, Q. and Xiao, J., 2010. Determination of tea polysaccharides in *camillaia sinensis* by a modified phenol-sulfuric acid method. *Archive of Biological Science*, *62*, pp.671-678. **doi: 10.2298/abs1003671x**

Zegbe, J.A., Serna-Pérez, A. and Mena-Covarrubias, J., 2014. Mineral nutrition enhances yield and affects fruit quality of ‘Cristalina’ cactus pear. *Scientia Horticulturae*, *167*, pp.63-70. **doi:10.1016/j.scienta.2013.12.023**

Journal of Crop Science Research in Arid Regions/ Volume 6, Issue 1, Spring 2024, P. 1-15

Effect of different level of nitrogen and phosphorus fertilizers on morphphysiological characteristics, productivity and forage quality of *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller under water shortage

Hamed Hasan Zadeh[1], Mohamadreza Salehi Salmi[2*], Mohamadhosein Daneshvar[2], Payam Pourmohamadi[3]

[1] Master of Science, Department of Horticulture Science, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Khuzestan, Iran
[2] Department of Horticulture Science, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Khuzestan, Iran
[3] Department of Plant Production and Genetics, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Khuzestan, Iran
[*]Corresponding Author: salehi@asnrukh.ac.ir

Received: 23 June 2022 Accepted: 30 August 2022 **DOI: 10.22034/CSRAR.2024.348621.1250**

Abstract

Introduction: The arid and semi-arid region occupies most of south-west Iran, and livestock farming is one of the most important activities in this region. The goals of study were to recognize the effects of different level of Nitrogen and phosphorus fertilizers on morphological characteristics, productivity and forage quality of *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller. Opuntia is cultivated in both hemispheres and all continents. Its products have always been very popular among the rural populations of arid and semi-arid areas in its native region of Mexico and in the Mediterranean basin, where it was introduced at the beginning of the 16th century. They include fruits and cladodes for human nutrition and cattle feeding. Moreover, its utilization is common in popular medicine (flowers and cladodes), and field management.

Materials and Methods: Experiments were conducted in field of Agriculture Sciences and Natural Resources University of Khuzestan in the semi-arid of Khuzestan, Iran. The experiment was performed as a split plot in a randomized complete block design with 3 replications (plot).The objective was to study Nitrogen (0, 50, 100 and 150 kgha^{-1}) and Phosphorus (0, 25, 50 and 100 kg ha^{-1}) fertilizations on growth of *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. After two years of planting in the field, the plants were harvested and the characteristics of height, number of cladodes, fresh weight, phosphorus, nitrogen, amino acid, soluble carbohydrates, mucilage, fiber, chlorophyll were measured.

Results and Discussion: The effect of phosphorus and nitrogen fertilization on the growth and quality of Opuntia ficus-indica was investigated in this study. Phosphorus fertilization increased the dry matter content and the amino acid composition of the cladodes, which are the flattened stems of the cactus plant. Nitrogen fertilization had a positive and linear effect on the dry matter production and the yield of the plant, measured by the fresh weight of the shoots. However, no significant response to nitrogen fertilization was observed in the carbohydrate content of the cladodes, which remained relatively constant across different levels of nitrogen application. Nitrogen fertilization also increased the nitrogen concentration in the plant tissue, indicating a higher uptake and assimilation of this nutrient. The cladode area index (CAI), which is the ratio of the total cladode area to the ground area, increased with increasing nitrogen levels, reflecting a higher biomass accumulation and canopy development. The results showed that the application of 100 kg N / ha from urea source, which was the intermediate level of nitrogen treatment, resulted in an improvement of the vegetative parts of the plant and an increase in the fresh weight of the shoots, so that it was comparable to the yield obtained from the highest level of nitrogen treatment (200 kg N / ha). The results also showed that the amount of crude protein, amino acids and mucilage in the shoots, which are important indicators of the nutritional and medicinal value of the cactus plant, showed a good response to increased nitrogen consumption. However, phosphorus fertilization was able to affect some traits, especially the amount

of amino acids and protein, which are two important properties in forage plants. These results suggest that phosphorus fertilization can enhance the quality of the cactus plant as a feed source for livestock. **Conclusion:** In this study, it was found that Opuntia ficus-indica, which is a drought-tolerant and multipurpose cactus plant, had a significant performance even in the control treatment (without fertilization), when it was irrigated five times per year (one time in spring, three times in summer and one time in autumn). However, fertilization was necessary for optimal growth and quality of the plant. Due to the change in the amount of nitrogen and phosphorus in the cactus plant and also the affected properties, it seems that nitrogen fertilization was more effective than phosphorus fertilization in enhancing the productivity and value of the plant. In summary, increasing fertilizing with nitrogen and phosphorus resulted in greater productivity of O. ficus-indica in Khuzestan, a semi-arid region in Iran. Phosphorus fertilization involved less economical risk to the farmer, as it required lower amounts and frequencies of application, but positive responses occurred only when soil phosphorus was increasing. This work stresses the importance of using replicated field trials to look for quantitative differences in yield and fruit quality from visually indistinguishable cactus fruit clones, which may have different genetic and physiological characteristics.

Keywords: Carbohydrate, Cladode, Drought, Fiber, Protein