

افزایش کارایی آبیاری در اراضی شالیزاری با استفاده از کمپوست آزولا در شرایط کمبود آب

سحر دعایی^۱، سینا سیاوش مقدم^{۲*}، تیمور رضوی پور کومله^۳، سیدعلی نورحسینی^۴

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۰/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۹/۲۰)

چکیده

برای تعیین تاثیر کمپوست آزولا در کاهش تنش آب آبیاری بر رشد و عملکرد برنج، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سال ۱۳۹۰ در مؤسسه تحقیقات برنج کشور اجرا شد. آزمایش به صورت گلدانی با ۸ نوع رژیم آبیاری (A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7, A8) به عنوان فاکتور اول و ۴ سطح کمپوست آزولا (B1= شاهد و بدون کمپوست، B2, B3 و B4 به ترتیب ۲/۵، ۵ و ۷/۵ درصد وزنی خاک) به عنوان فاکتور دوم در سه تکرار اجرا شد. نتایج نشان داد که اثر تیمارهای مختلف آبیاری بر برخی صفات زراعی برنج مانند طول خوشه، ارتفاع بوته، تعداد پنجه و عملکرد شلتوک و همچنین بر روی درصد نیتروژن و فسفر جذب شده در کاه و پتاسیم جذب شده در شلتوک برنج معنی‌دار بود، اما تفاوت معنی‌داری بر دیگر خصوصیات مورد بررسی نداشت. تیمارهای کمپوست آزولا بر برخی صفات زراعی برنج مانند طول خوشه، وزن خوشه و عملکرد دانه اثر معنی‌داری داشت. همچنین بر شوری، pH، ماده آلی، نیتروژن، فسفر و پتاسیم باقی‌مانده در خاک و بر پتاسیم جذب شده در شلتوک برنج معنی‌دار بود ولی تفاوت معنی‌داری بر سایر ویژگی‌ها نداشت. نتایج نشان داد که تیمار A2B4 (آبیاری به اندازه اشباع خاک در طول دوره رشد و استفاده از ۷/۵ درصد کمپوست آزولا) یکی از مناسب‌ترین تیمارها می‌باشد. اعمال این مدیریت به‌ویژه در شرایط کمبود آب آبیاری اهمیت زیادی دارد و کارایی مصرف آب آبیاری را افزوده و به اندازه ۱۹ درصد نسبت به آبیاری غرقاب در مصرف آب صرفه‌جویی می‌گردد. همچنین استفاده از کمپوست آزولا می‌تواند باعث افزایش میزان ماده آلی خاک شده و چون دارای برخی عناصر مورد نیاز گیاه می‌باشد، در طولانی مدت جایگزین کودهای شیمیایی و در نتیجه حرکت به سمت کشاورزی پایدار با حفظ محیط‌زیست خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: برنج، کمبود آب آبیاری، کمپوست آزولا

دعایی س.، سیاوش مقدم س.، رضوی پور ت.، نورحسینی س.ع. ۱۳۹۷. افزایش کارایی آبیاری در اراضی شالیزاری با استفاده از کمپوست آزولا در شرایط کمبود آب. نشریه تحقیقات کاربردی خاک، جلد ۴ (۴)، ص: ۱۴۶-۱۶۳.

۱- هیأت علمی گروه کشاورزی، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران

۲- استادیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران (مکاتبه کننده)

۳- عضو هیأت علمی موسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران

۴- گروه کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه پیام نور، صندوق پستی ۳۶۹۷-۱۹۳۹۵، تهران، ایران

*پست الکترونیک: ss.moghaddam@urmia.ac.ir

مقدمه

برنج (*Oryza Sativa L.*) یکی از مهم‌ترین غلات و از گیاهان علفی مهم در قاره آسیاست. دانه برنج و فرآورده‌های به‌دست آمده از آن تقریباً ۴۰ درصد غذای مورد نیاز نصف مردم دنیا را تشکیل می‌دهند (Smith, 1998). در شالیزارها معمولاً آبیاری به‌صورت غرقاب دائم صورت می‌گیرد، زیرا اجرای سیستم‌های مناسب آبیاری و کنترل مصنوعی آب آبیاری آسان و عملی نمی‌باشد و روش آبیاری غرقابی مناسب‌ترین روش آبیاری در اراضی شالیزار می‌باشد. علاوه بر آن، آبیاری غرقابی می‌تواند در کاهش رشد علف‌های هرز، تنظیم درجه حرارت خاک و جلوگیری از اثرات منفی حرارت، تثبیت نیتروژن هوا در خاک و ایجاد شرایط مناسب برای رشد جلبک‌های سبز-آبی، در دسترس قرار گرفتن مواد غذایی از قبیل فسفر، آهن، منگنز و سیلیسیم در مراحل اولیه رشد، صرفه‌جویی در کارگر و بهبود فتوسنتز در برگ‌های پائین به‌علت انعکاس نور از آب نقشی مهم دارد (Rezaei, 2003). کشاورزان در مناطقی که آب کافی جهت آبیاری مداوم وجود ندارد، دست به صرفه‌جویی آب می‌زنند. در برخی مناطق که سیستم آبیاری وجود نداشته و یا بارندگی مناسب از نظر پراکنش و زمان مناسب وجود ندارد، بدون توجه به میل کشاورز و به علل طبیعی، آبیاری متناوب برقرار می‌شود. موفقیت آبیاری متناوب از نقطه‌نظر روابط آب و خاک و گیاه بستگی شدیدی به ایجاد رطوبت کافی در دوره بدون غرقاب دارد (Yazdani et al., 2003). گرچه برنج گیاهی آبدوست بوده و تحت شرایط غرقابی به‌خوبی رشد می‌کند ولی غرقاب‌های عمیق و طولانی اثرات زیان‌بخشی بر روی گیاه خواهند داشت. در اوایل دوره رشد گیاه برنج، فواصل بین بوته‌ها در معرض تابش نور خورشید قرار می‌گیرد. چون شرایط برای رشد و جوانه‌زنی علف‌های هرز فراهم شده (Razavipour et al., 1999) و در آن مرحله اگر آب کافی در زمین وجود نداشته باشد، سریعاً رشد کرده و در اثر رقابت با گیاه برنج در جذب عناصر غذایی و غیره، باعث کمبود رشد و پنجه‌زنی آنها شده و در نهایت عملکرد برنج را می‌کاهد. رضوی پور (Razavipour, 1999) در مطالعه تأثیر کاهش رطوبت خاک در مراحل مختلف رشد برنج دریافت که کاهش رطوبت خاک تا ۸۰٪ اشباع نه تنها آسیبی بر

برنج وارد نمی‌کند، بلکه به طور کلی سبب افزایش رشد نیز برنج می‌شود، هر چند در مراحل اولیه و یا در موقع استقرار نشاء و در دوره گلدهی آسیبی بر برنج وارد شد ولی معنی‌دار نبود. خسارت عمده ناشی از کاهش آب، رشد زیاد علف‌های هرز در ابتدای فصل رشد گیاه بود که به علت عدم پوشش کامل برنج بر روی سطح خاک ایجاد شده و هزینه کارگری و کاهش عملکرد را به دنبال داشته است (Fallah, 2000; Razavipour, 1995).

هدف اصلی آبیاری تأمین آب لازم گیاه است تا بتواند محصولی با کیفیت خوب و به مقدار بهینه تولید نماید. در نواحی که آب کمیاب و گران باشد، باید با برنامه‌ریزی صحیح آبیاری از آب موجود حداکثر استفاده را در تولید محصولات کشاورزی نمود (Rezaei, 2003). با توجه به سهم عظیم مصرف آب در کشاورزی و پائین بودن بازده مصرف آب، انتخاب و به کارگیری هر راهکار در بهینه‌سازی مصرف آب شایان توجه است (Liaghat, 2000).

روش‌های دیگری نیز برای کاهش مصرف آب وجود دارد که از جمله آنها استفاده از کمپوست در خاک است. کمپوست علاوه بر افزایش قدرت نگهداری آب در خاک، تهویه خاک را بهبود بخشیده و برخی از عناصر غذایی مورد نیاز گیاه مانند روی، فسفر، نیتروژن و پتاسیم و عناصر کم‌مصرف را به خاک می‌افزاید (Alam, 2004). یکی از موادی که برای کمپوست کردن و استفاده از آن به خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد، سرخس آبی آزولا می‌باشد. این گیاه در طول دوره رشد خود بسیاری از عناصر غذایی را جذب کرده و پس از پوسیده شدن و تبدیل به کمپوست و سپس اضافه کردن به شالیزار، مواد و عناصر غذایی خود را در اختیار خاک قرار داده و کمبود برخی از عناصر غذایی مورد نیاز گیاه برنج را تامین می‌نماید (Rehana et al., 2003). کمپوست تهیه شده از آزولا می‌تواند حتی برخی از ویتامین‌ها، مواد تنظیم‌کننده رشد و آنزیم‌ها را به خاک اضافه کند (Mian, 2013).

کمپوست شدن یک فرآیند بیولوژیکی هوازی است که تحت شرایط کنترل شده از نظر دما، رطوبت، تهویه و میکروارگانیسم‌ها مواد آلی را تبدیل به دی‌اکسید کربن، مواد معدنی و مواد آلی پایدار (هوموس) می‌کنند (Hellal, 2007). کمپوست عموماً محتوی عناصر کمیاب

کامل تصادفی در مؤسسه تحقیقات برنج کشور در سال زراعی ۱۳۹۰ اجرا شد. این آزمایش به صورت گلدانی با ۸ نوع رژیم آبیاری به عنوان فاکتور اول و مقادیر مختلف کمپوست آزولا در ۴ سطح به عنوان فاکتور دوم بشرح زیر بودند که در سه تکرار اجرا شد. در این مطالعه فاکتور اول شامل تیمارهای آبیاری (A1 = آبیاری غرقاب دائم در طول دوره رشد به عنوان شاهد، A2 = آبیاری به اندازه اشباع خاک در طول دوره رشد، A3 = آبیاری به اندازه اشباع خاک در طول دوره رشد و فقط عدم آبیاری در زمان پنجه زنی تا رسیدن رطوبت خاک به اندازه FC، A4 = آبیاری به اندازه اشباع خاک در طول دوره رشد و فقط عدم آبیاری در زمان گلدهی تا رسیدن رطوبت خاک به اندازه FC، A5 = آبیاری به اندازه اشباع خاک در طول دوره رشد و فقط عدم آبیاری در زمان پر شدن دانه تا رسیدن رطوبت خاک به اندازه FC، A6 = آبیاری به اندازه اشباع خاک در طول دوره رشد و فقط عدم آبیاری در زمان پنجه زنی تا رسیدن رطوبت خاک به اندازه ۸۰٪ FC، A7 = آبیاری به اندازه اشباع خاک در طول دوره رشد و فقط عدم آبیاری در زمان گلدهی تا رسیدن رطوبت خاک به اندازه ۸۰٪ FC و A8 = آبیاری به اندازه اشباع خاک در طول دوره رشد و فقط عدم آبیاری در زمان پر شدن دانه تا رسیدن رطوبت خاک به اندازه ۸۰٪ FC) و فاکتور دوم مقادیر مختلف کمپوست آزولای هوا خشک در ۴ سطح (B1 = صفر درصد وزنی خاک یا شاهد، B2 = ۲/۵ درصد وزنی خاک، B3 = ۵ درصد وزنی خاک و B4 = ۷/۵ درصد وزنی خاک بودند و بنابراین کل گلدان‌ها در این آزمایش ۹۶ عدد بودند.

ابتدا خاک مزرعه شالیزاری به مقدار مورد نیاز برای اجرای آزمایش انتخاب شد. قبل از اجرای پروژه مقدار وزن خشک خاک ریخته شده در گلدان و رطوبت درصد اشباع خاک اندازه گیری شد. مقادیر نیتروژن (N)، فسفر (P)، پتاسیم (K)، درصد کربن آلی (OC)، اسیدیته خاک (pH) به طور جداگانه برای نمونه‌های خاک و کمپوست آزولا در آزمایشگاه خاکشناسی اندازه گیری شد. علاوه بر موارد فوق ظرفیت تبدالی کاتیونی (CEC) نیز برای کمپوست آزولا محاسبه شد (جداول ۱ و ۲).

ضروری برای رشد گیاه بوده و علاوه بر آن دارای مقادیر قابل توجهی نیتروژن، فسفر و پتاسیم می‌باشد و استفاده از کودهای آلی باعث افزایش قدرت نگهداری آب در خاک، افزایش تنوع میکروبی (Oehl *et al.*, 2004)، کاهش تنش خشکی (Macilwain, 2004)، بهبود ساختمان فیزیکی خاک (Pulleman *et al.*, 2003) شده و علاوه بر آن تامین کننده بخشی از نیاز غذایی گیاه (Turgut *et al.*, 2005) بوده و باعث افزایش رشد و عملکرد گیاه و افزایش حاصل خیزی خاک می‌شوند (Gilesm, 2004). طی سال‌های اخیر آزولا در مزارع برنج، آبگیرها و تالاب‌های استان گیلان به اندازه‌ای رشد کرده که به عنوان یک معضل برای اکوسیستم آنها در آمده است. این گیاه به جای مفید بودن برای شالیزار، خود به عنوان یک نوع آفت یا علف هرز برای اکوسیستم منطقه شناخته می‌شود (Razavipour, 2007). این در حالیست که استفاده از آزولا با دارا بودن مواد مفید به عنوان یک کود بیولوژیکی و یا آلی در شالیزار در بسیاری از کشورها مورد پژوهش و بررسی قرار گرفته و اثرات مثبتی را که می‌تواند در افزایش محصول داشته باشد، به خوبی ثابت شده است (Mian, 2013). یکی از اهداف مهم کشاورزی در سال‌های اخیر افزایش بازده استفاده از نهاده‌ها، به ویژه کاهش سموم و کودهای شیمیایی می‌باشد تا بتوان همراه با حفظ محیط زیست و افزایش حاصل خیزی خاک بیشترین تولید را داشته باشیم و همچنین با این طریق کشاورزی پایدار و یا حتی ارگانیک را در کشاورزی ایجاد کنیم. لذا این طرح با اهداف ۱- مقابله با بحران کم آبی در آبیاری برنج ۲- بالا بردن ظرفیت نگهداری آب در خاک با استفاده از کمپوست آزولا ۳- بالا بردن بازده استفاده از آب (بهره-وری آب) در شالیزار ۴- بررسی اثر مواد آلی بر رشد و عملکرد برنج و ۵- دستیابی به کشاورزی پایدار با افزایش مواد آلی به خاک و جلوگیری از آلودگی محیط زیست به صورت طرح فاکتوریل در مؤسسه تحقیقات برنج کشور اجرا شد.

مواد و روش‌ها

برای تعیین اثر استفاده از کمپوست آزولا در کاهش تنش ناشی از کمبود آب آبیاری بر رشد و عملکرد برنج، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های

جدول ۱- نتایج تجزیه خاک مورد استفاده در گلدان

Table 1. Results of pot soil analysis

Soil texture	Clay	Silt	Sand	Total N	O.C	SP	K	P	ECe	pH
				(%)			(mg kg ⁻¹)		(dS.m ⁻¹)	
Clay	50	26	24	0.197	1.70	73	191	9.0	1.99	6.85

جدول ۲- نتایج تجزیه کمپوست آزولا

Table 2. Results of azolla compost analysis

CEC	K	P	Total N	O.C	pH	EC
meq 100 ⁻¹ g			(%)			(dS.m ⁻¹)
55	0.93	0.22	2.827	33.5	6.02	10.8

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر تیمارهای مختلف آبیاری و اثر تیمارهای استفاده از کمپوست آزولا و همچنین اثر متقابل تیمارهای آبیاری و کود کمپوست باعث افزایش برخی صفات زراعی برنج مانند طول خوشه، وزن خوشه و در نتیجه عملکرد شلتوک شده و تغییراتی به شرح زیر را بر روی برخی از ویژگی‌های برنج و خاک ایجاد شد.

طول خوشه‌ها (سانتی‌متر): تیمارهای مختلف آبیاری بر طول خوشه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). بررسی مقایسه میانگین (جدول ۴) نشان داد که تیمارهای A8 (۲۳/۴ سانتی‌متر)، A5 (۲۳/۱ سانتی‌متر) و A4 (۲۳ سانتی‌متر) طول‌ترین خوشه را داشته و در گروه a آماری قرار داشتند و تیمارهای A1 (۲۱/۰۲ سانتی‌متر)، A6 (۲۱/۴۲ سانتی‌متر) و A7 (۲۱/۷۵ سانتی‌متر) کوتاهترین طول خوشه را داشت و در گروه b آماری قرار گرفت. سایر تیمارهای مورد بررسی حدواسط دو نوع تیمار فوق بوده و در گروه ab آماری قرار گرفتند. افزایش طول خوشه می‌تواند بیانگر رشد بهتر برنج بوده و باعث افزایش عملکرد برنج گردید. تیمارهای مختلف استفاده از کمپوست آزولا بر طول خوشه در سطح ۱ درصد آماری اثر معنی‌داری داشت (جدول ۳). بررسی مقایسه میانگین (جدول ۵) نشان داد که تیمارهای B1 (۲۲/۶۷ سانتی‌متر)، B3 (۲۲/۵۳ سانتی‌متر) و B4 (۲۲/۲۴ سانتی‌متر) طول‌ترین خوشه را داشت و در گروه a آماری قرار گرفت و تیمار B2 (۲۱/۶۵ سانتی‌متر) کوتاهترین طول خوشه را داشت و در گروه b آماری قرار گرفت. افزایش طول خوشه می‌تواند بیانگر رشد بهتر برنج بوده و باعث افزایش عملکرد برنج گردد. نتایج پژوهش سلحشور (Salahshour, 2005) روی طول خوشه حاکی از عدم

برای اجرای طرح ابتدا خاک گلخراپ^۱ شده را با تیمارهای کمپوست آزولا مخلوط کرده و در گلدان‌های بدون زهکش تا ۵ سانتی‌متر لبه آن ریخته شد و پس از غرقاب نمودن خاک‌ها، عملیات نشاکاری با ۳ نشای ۲۵ روزه از رقم هاشمی انجام گرفت. به مدت یک هفته آبیاری معمولی (عرف منطقه) و سپس تیمارها اعمال شد. تمامی فسفر و پتاسیم و نصف مقدار نیتروژن به صورت پایه و در زمان آماده‌سازی خاک کاملاً با آن مخلوط گردید. باقی‌مانده مقدار نیتروژن در مرحله حداکثر پنجه‌زنی مصرف و با خاک مخلوط گردید. منابع تأمین نیتروژن، فسفر و پتاسیم به ترتیب از اوره، سوپرفسفات تریپل و سولفات پتاسیم بود.

مقدار رطوبت موجود در خاک هر روز بوسیله دستگاه بازتاب زمانی امواج TDR^۲ اندازه‌گیری شده و به محض رسیدن رطوبت خاک به رطوبت تیمار مورد نظر، آبیاری انجام شد. البته جهت کنترل دقت دستگاه TDR، همزمان نمونه‌برداری از خاک انجام گرفته و میزان رطوبت وزنی خاک پس از ۲۴ ساعت نیز تعیین گردید. برای مواردی که باید آبیاری معمولی صورت می‌گرفت، قبل از ناپدید شدن عمق آب بر سطح خاک آبیاری انجام شد (عمق آب آبیاری بر روی سطح خاک در گلدان بر حسب نوع تیمار حدود ۰/۵ تا ۴ سانتی‌متر می‌رسید). مقدار آب آبیاری در گلدان‌ها بوسیله ظرف مدرج انجام و ثبت گردید. همچنین فاصله بین دو آبیاری و زمان آبیاری به هر تیمار نیز ثبت می‌گردید. در پایان فصل زراعی، داده‌های مربوط به اجزای عملکرد، برخی صفات زراعی برنج، تجزیه خاک و مقدار نیتروژن، فسفر و پتاسیم جذب شده در دانه و ساقه برنج توسط نرم‌افزار MSTATC مورد مقایسه آماری قرار گرفت.

1 - Puddling

2 - TDR= Time Domain Reflectometry

بهتر برنج بوده و باعث افزایش عملکرد برنج گردد. تعداد پنجه مؤثر، یک صفت مورفو- فیزیولوژیک^۱ بسیار مهم در ارتباط با عملکرد دانه برنج است (Ying *et al.*, 2013) که با افزایش مقدار نیتروژن، بهبود می‌یابد (Pirmoradian *et al.*, 2004). سینگ و همکاران (Singh *et al.*, 2003) دریافتند که تعداد دانه در خوشه افزایش معنی‌داری در برابر افزایش کمپوست و مواد آلی پیدا می‌کند. اثر متقابل تیمارهای آبیاری و کمپوست بر وزن خوشه در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارها بر طول خوشه (جدول ۶) نشان داد سنگین‌ترین خوشه مربوط به تیمار A3B3 با ۱۶/۸۳ گرم و سبک‌ترین در تیمارهای A2B1، A1B1 و A1B2 به ترتیب با ۱۰/۶۰، ۱۰/۸۷ و ۱۱/۰۰ گرم به دست آمد. هنگامی که در طول دوره رشد آبیاری به اندازه اشباع خاک انجام شود ولی مقدار آب آبیاری در زمان حداکثر پنجه‌زنی کاهش یابد، برنج خوشه‌های سنگین تری را تولید خواهد کرد و چنانچه مقدار کمپوست به خاک افزایش یابد خوشه‌ها سنگین‌تر خواهد شد. در همین رابطه رضوان و همکاران (Rizwan *et al.*, 2007) گزارش نمودند که کاربرد کمپوست یک افزایش معنی‌داری در تعداد دانه در خوشه ایجاد می‌کند. اسپانو و پروندا (Spanu & Pruneddu, 1997) گزارش کردند که افزایش نیتروژن سبب افزایش وزن هزاردانه و تعداد زیادتر دانه در هر خوشه می‌شود. به عقیده بسیاری از محققین، فراهم بودن بودن نیتروژن کافی باعث می‌شود که سطح برگ-های سبز پس از خوشه‌دهی پایدار مانده و شرایط مناسب برای انجام فتوسنتز فعال و تولید دانه فراهم گردد (Yoshida, 2009). همچنین، مصرف کود سرک نیتروژن طی مرحله تکامل خوشه، اثر مطلوبی روی رسیدگی دانه‌ها دارد. گزارش‌های موجود نشان می‌دهد که در غلات و از جمله برنج، تعداد دانه در خوشه در طی مرحله‌ی رشد زایشی تعیین می‌گردد (Hashemi *et al.*, 1995).

ارتفاع بوته (سانتی‌متر): اثر تیمارهای مختلف آبیاری بر ارتفاع بوته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود

اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای آبیاری است. عدم معنی‌داری طول خوشه در تیمارهای آبیاری توسط قربان‌پور (Ghorbanpour, 2003) نیز گزارش شده است. اثر متقابل تیمارهای آبیاری و کمپوست بر طول خوشه در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارها بر طول خوشه (جدول ۶) نشان داد بلندترین طول خوشه در تیمار A4B4 با ۲۴/۵۰ سانتی‌متر و کوتاهترین طول در تیمار A1B2 با ۱۸/۵۷ سانتی‌متر به دست آمد. هنگامی که در طول دوره رشد آبیاری به اندازه اشباع خاک انجام شود، نسبت به آبیاری غرقاب دائم طول خوشه بلندتری را تولید خواهد کرد و هرچه مقدار کمپوست به خاک افزایش یابد طول خوشه بلندتر شده و در نتیجه باعث افزایش عملکرد خواهد شد. سینگ و همکاران (Singh *et al.*, 2003) گزارش کردند که طول خوشه افزایش معنی‌داری در برابر کمپوست مواد آلی پیدا می‌کند. ابراهیم و همکاران (Ibrahim *et al.*, 2008) پی بردند که کاربرد کمپوست موجب افزایش طول خوشه می‌شود.

وزن خوشه‌ها (گرم): تیمارهای مختلف آبیاری بر وزن خوشه‌ها در سطح احتمال ۱ درصد اثر معنی‌داری داشت (جدول ۳). مقایسه میانگین تیمارهای مختلف آبیاری بر وزن خوشه‌ها (جدول ۴) نشان داد که تیمار A7 با وزن ۱۵/۵ گرم، سنگین‌ترین وزن کل خوشه‌ها را نسبت به تیمارهای دیگر داشت و از نظر آماری در گروه a قرار گرفت. سبک‌ترین وزن خوشه‌ها در تیمار شاهد یا A1 با وزن ۱۱/۶۵ گرم بوده و در گروه f آماری قرار گرفت. سایر تیمارها حد واسط دو تیمار فوق بود و در گروه‌های مختلف آماری قرار گرفت. وزن خوشه شاخص مهمی در افزایش عملکرد برنج می‌باشد. این که چند درصد از دانه‌های موجود در خوشه پر می‌شوند نکته‌ای است که از نظر فیزیولوژی عملکرد اهمیت زیادی دارد.

تیمارهای مختلف استفاده از کمپوست آزولا بر وزن خوشه‌ها در سطح آماری ۱ درصد اثر معنی‌داری داشت (جدول ۳). بررسی مقایسه میانگین (جدول ۵) نشان داد که تیمارهای B3 (۱۴/۴۵ گرم)، B2 (۱۴/۳۶ گرم) و B4 (۱۴/۱۷ گرم) سنگین‌ترین وزن خوشه‌ها را داشت و در گروه a آماری قرار گرفت. تیمار B1 (۱۲/۳۴ گرم) سبک‌ترین وزن خوشه‌ها را داشت و در گروه b آماری قرار گرفت. افزایش وزن خوشه‌ها می‌تواند بیانگر رشد

شاهد یا A1 با متوسط ۱۰/۲۵ گرم در گلدان به دست آمد و از نظر آماری در گروه f قرار گرفت. سپس تیمار A8 با متوسط ۱۱/۱۵ گرم در گلدان به دست آمد و از نظر آماری در گروه e قرار گرفت. تیمار A8 در واقع آبیاری به اندازه اشباع خاک در طول دوره رشد و فقط عدم آبیاری در زمان پرشدن دانه تا رسیدن رطوبت خاک به اندازه ۸۰٪ F.C و تیمار A1 همان آبیاری غرقاب دائم در طول دوره رشد (شاهد) بود که این تیمار نیز از نظر آماری با ۱۰/۲۵ گرم در گلدان در گروه f قرار گرفت و عملکرد آن مشابه تیمار A8 بود. مقایسه بین دو تیمار نشان داد که در صورت کمبود آب آبیاری می‌توان از تیمار A8 نیز استفاده کرد و در این صورت افزایش ۸ درصدی عملکرد نسبت به تیمار شاهد یا تیمار غرقاب دائم را خواهیم داشت. علاوه بر آن افزایش در بازده استفاده از آب به‌ویژه در زمان کمبود آب را خواهیم داشت و مقدار زیادی در مصرف آب آبیاری صرفه‌جویی خواهیم کرد. از بین تیمارهای مورد استفاده، تیمار آبیاری A2 با عملکرد ۱۳/۳ گرم در گلدان پس از تیمار A7 دارای بیشترین عملکرد بود و نشان داد که اگر مقدار آب آبیاری به اندازه‌ای باشد که بتواند سطح خاک را مرطوب نگه دارد، علاوه بر بالاترین بازده استفاده از آب و طرفه‌جویی در مصرف آب، بیشترین عملکرد برنج را خواهد داشت. تعداد دانه در هر خوشه و تعداد دانه‌های پر در خوشه دو عامل اصلی اجزای عملکرد و مؤثر بر عملکرد دانه می‌باشند. ونکات و همکاران (Venkates *et al.*, 2006) اظهار داشتند که درصد دانه‌های پر شده با عملکرد دانه همبستگی مثبت و معنی‌داری دارد. ادوارد (Edwards, 1995) گزارش کرد که با افزایش مصرف کود نیتروژن تعداد دانه پر شده در هر خوشه افزایش یافت. اصفهانی (Isfahani, 1998) در آزمایش خود اظهار داشت که کود نیتروژن اثر مثبتی بر درصد دانه‌های پر شده دارد. پایین بودن درصد دانه‌های پر شده در سطوح کودی پایین جهت پر شدن دانه‌ها در هر خوشه می‌باشد. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که کاهش آب مصرفی منجر به کاهش عملکرد دانه برنج نمی‌شود. نتایج به‌دست آمده با گزارش

(جدول ۳). بررسی مقایسه میانگین (جدول ۴) نشان داد که تیمار A8 با ارتفاع (۱۱۱/۲۵ سانتی‌متر)، A2 (۱۱۱ سانتی‌متر)، A5 (۱۱۱ سانتی‌متر) و A6 (۱۱۰/۸۳ سانتی‌متر) بلندترین ارتفاع بوته را داشت و در گروه a آماری قرار گرفت. کوتاهترین ارتفاع در تیمار شاهد یا A1 با ارتفاع ۱۰۳/۶۷ سانتی‌متر بود و در گروه b آماری قرار گرفت و تیمارهای دیگر از نظر آماری در سطح ab و حد واسط دونوع تیمار فوق بودند. یزدانی و همکاران (Yazdani *et al.*, 2003) در مطالعه خود گزارش نمودند که مدیریت‌های متفاوت آبیاری بر ارتفاع بوته معنی‌دار بود. گزارش نحوی (Nahvi, 2000) نیز حاکی از معنی‌دار شدن ارتفاع بوته در رژیم‌های مختلف آبیاری بود؛ اما در مطالعه رضایی و همکاران (Rezaei *et al.*, 2009) ارتفاع بوته تحت تأثیر دور آبیاری قرار نگرفت. ارتفاع گیاه نیز تحت تأثیر مقدار مصرف آب می‌باشد.

تعداد پنجه: اثر تیمارهای مختلف آبیاری بر تعداد پنجه در سطح احتمال یک درصد اثر معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین تیمارهای مختلف آبیاری بر تعداد پنجه (جدول ۴) نشان داد که تیمار A6 با تعداد متوسط ۴۴/۲۵۳ پنجه، بیشترین تعداد پنجه را داشت و در گروه a آماری قرار گرفت. تیمار A2 با تعداد متوسط ۳۴/۸۳ کمترین تعداد پنجه را داشت و در گروه b آماری قرار گرفت و تیمارهای دیگر از نظر آماری در سطح حدواسط دو نوع تیمار فوق بودند. نتایج فوق نشان داد که تعداد پنجه در بوته در آبیاری غرقاب بیشتر بوده و در صورت کاهش مقدار آب آبیاری از تعداد پنجه گیاه کاسته شد، ولی این نتایج مغایر با نتایج سایر محققان می‌باشد، یزدانی و همکاران (Yazdani *et al.*, 2003) و نحوی (Nahvi, 2000) عدم اختلاف معنی‌دار در تیمارهای آبیاری بر تعداد پنجه در مترمربع را گزارش نمودند. در مطالعه نحوی (Nahvi, 2000) نیز تعداد پنجه تحت تأثیر دور آبیاری قرار نگرفت.

عملکرد دانه (گرم در گلدان): اثر تیمارهای مختلف آبیاری بر عملکرد دانه (شلتوک) در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین تیمارها (جدول ۴) نشان داد که بیشترین عملکرد در تیمار A7 با متوسط ۱۴/۱ گرم در گلدان به دست آمد و از نظر آماری در گروه a قرار گرفت. کمترین عملکرد در تیمار

عملکرد کاملاً با روند وزن خوشه می‌باشد به طوری که اثر متقابل تیمارهای آبیاری و کمپوست بر عملکرد شلتوک در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارها بر عملکرد شلتوک (جدول ۶) نشان داد بیشترین عملکرد مربوط به تیمار A3B3 با ۱۵/۴۳۳ گرم و کمترین عملکرد در تیمارهای A2B1، A1B1 و A1B2 به ترتیب با ۹/۲۰، ۹/۴۶۷ و ۹/۶۰ گرم به دست آمد. نتایج به دست آمده حاکی است هنگامی که در طول دوره رشد آبیاری به اندازه اشباع خاک انجام شود ولی مقدار آب آبیاری در زمان حداکثر پنجه‌زنی کاهش یابد، برنج خوشه‌های سنگین تری را تولید خواهد کرد و چنانچه مقدار کمپوست به خاک افزایش یابد خوشه‌ها سنگین تر خواهد شد. بی و همکاران (Bi et al., 2008) مشاهده کردند که استفاده از کمپوست اثر مثبتی روی عملکرد دانه برنج دارد. کمپوست می‌تواند عملکرد دانه برنج و حاصل خیزی خاک را افزایش دهد. تیمارهای کمپوست عملکرد دانه بالاتری نسبت به تیمارهای بدون کمپوست دارند. گوپتا و همکاران (Gupta & Potalia, 1990) اظهار نمودند که کمپوست اثر مثبتی روی رشد گیاه و عملکرد دارد چون ظرفیت مواد آلی خاک را بالا برده و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و بیولوژیکی کمپوست موجب می‌شود عناصر غذایی بیشتر قابل دسترس شوند و کمپوست عملکرد دانه برنج را افزایش می‌دهد.

شوری خاک: تاثیر تیمارهای مختلف استفاده از کمپوست آزولا بر شوری خاک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳) و مقایسه میانگین تیمارها (جدول ۵) نشان داد که تیمار B4 (۲/۷ دسی‌زیمنس بر متر) بیشترین شوری خاک را داشت و در گروه a آماری قرار گرفت و تیمار B1 (۱/۹۸ دسی‌زیمنس بر متر) کمترین شوری را در خاک ایجاد کرد و در گروه c آماری قرار گرفت و تیمارهای دیگر از نظر آماری در سطح حدواسط دو نوع تیمار فوق بوده‌اند. با افزودن کمپوست آزولا به خاک، مقدار شوری خاک افزایش یافت. سرور و همکاران (Sarwar et al., 2008) در یک آزمایش نتیجه گرفتند که افزایش کمپوست به خاک به تنهایی و یا بصورت تلفیقی با کودهای شیمیایی، باعث افزایش شوری خاک می‌شود.

رضوی‌پور (Razavipour, 2005) که در آزمایشی با تیمارهای مشابه با تحقیق حاضر، روی رقم هاشمی در سال‌های زراعی ۱۳۸۱-۱۳۸۲ انجام یافته همخوانی دارد. در تحقیق مذکور نیز تیمارهای آبیاری هیچگونه اثر معنی‌داری بر عملکرد نداشتند. همچنین نتایج تحقیق نحوی (Nahvi, 2000) بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار عملکرد در تیمارهای آبیاری هر روزه و آبیاری هر پنج روز می‌باشد. قربان‌پور (Ghorbanpour, 2003) نیز گزارش کرد تفاوت معنی‌داری در عملکرد تیمارهای آبیاری غرقاب، ۰، ۳، ۶ و ۹ روز پس از ناپدید شدن آب از سطح کرت مشاهده نشد. نتایج تحقیق یزدانی و همکاران (Yazdani et al., 2003)، پیرمردیان و همکاران (Pirmoradian, 2003) نیز گویای عدم تفاوت معنی‌دار روش‌های مختلف مدیریت آبیاری (غرقابی، روش FAO، روش فوکودا و بدون غرقابی) در عملکرد دانه است. بطور کلی عدم تفاوت معنی‌دار در مقدار عملکرد را می‌توان ناشی از تأمین آب به مقدار کافی در همه تیمارهای آبیاری دانست. یعنی در هیچ کدام از رژیم‌ها گیاه دچار تنش نگردیده و به همین دلیل نقصان عملکرد مشاهده نگردیده است.

تیمارهای مختلف استفاده از کمپوست آزولا بر عملکرد دانه (شلتوک) در سطح آماری ۱ درصد اثر معنی‌دار داشته (جدول ۳) و مقایسه میانگین تیمارها (جدول ۵) نشان می‌دهد که تیمارهای B3 (۱۳/۰۵ گرم در گلدان)، B2 (۱۲/۹۶ گرم در گلدان) و B4 (۱۲/۷۷ گرم) سنگین‌ترین وزن شلتوک را داشته و در گروه a آماری قرار می‌گیرند و تیمار B1 (۱۰/۹۴ گرم در گلدان) سبک‌ترین وزن شلتوک را داشته و در گروه b آماری قرار می‌گیرد. عملکرد تیمارها نشان می‌دهد که استفاده از کمپوست آزولا به اندازه ۲/۵ درصد وزنی خاک می‌تواند علاوه بر افزایش ماده آلی خاک، مقدار عملکرد شلتوک برنج را افزایش دهد. کمپوست اثر مثبتی روی رشد گیاه و عملکرد بیولوژیک دارد که ظرفیت مواد آلی را بالا برده و موجب می‌شود عناصر غذایی بیشتر قابل دسترس شوند (Gupta & Potalia, 1990). ریضوان و همکاران (Rizwan et al., 2007) و شهزاد و همکاران (Shahzad et al., 2008) در آزمایشات جداگانه‌ای به این نتیجه رسیدند که کاربرد کمپوست عملکرد دانه برنج را افزایش می‌دهد. روند تغییرات به دست آمده برای

کودهای شیمیایی مقدار آن را کاهش داده است. کاهش مقدار آب آبیاری به ویژه آبیاری به اندازه اشباع خاک نیز باعث افزایش درصد کربن آلی خاک شد.

فسفر باقی مانده در خاک: تیمارهای مختلف استفاده از کمپوست آزولا بر فسفر باقی مانده در خاک در سطح احتمال یک درصد اثر معنی دار داشت (جدول ۳). مقایسه میانگین تیمارها (جدول ۵) نشان داد که تیمار B4 (۳۶/۳۲ پی پی ام) بیشترین فسفر را در خاک باقی گذاشت و در گروه a آماری قرار گرفت و تیمار B1 (۱۵/۰۶ پی پی ام) کمترین فسفر را در خاک باقی گذاشت و در گروه d آماری قرار گرفت و تیمارهای دیگر از نظر آماری در سطح حدواسط دو نوع تیمار فوق بوده اند. نتایج به دست آمده نشان داد که با افزودن کمپوست آزولا به خاک، مقدار فسفر باقی مانده در خاک نیز افزایش یافت. یکی از دلایل افزایش ماده آلی خاک با افزایش کمپوست آزولا، شاید وجود مقدار زیادی از فسفر خاک به صورت آلی باشد چون مقدار زیادی از ماده آلی اضافه شده به خاک به صورت کمپوست، هنوز کاملاً تجزیه نشده و به صورت آلی باقی مانده باشد.

پتاسیم باقی مانده در خاک: تیمارهای مختلف استفاده از کمپوست آزولا بر پتاسیم باقی مانده در خاک در سطح آماری ۱ درصد اثر معنی دار داشته (جدول ۳) و مقایسه میانگین تیمارها (جدول ۵) نشان می دهد که تیمار B4 (۳۳۹/۷ پی پی ام) بیشترین پتاسیم را در خاک باقی گذاشته و در گروه a آماری قرار می گیرد و تیمار B1 (۲۳۰/۷۹ پی پی ام) کمترین پتاسیم را در خاک باقی گذاشته و در گروه b آماری قرار می گیرد. نتایج به دست آمده نشان داد که با افزودن کمپوست آزولا به خاک، مقدار پتاسیم باقی مانده در خاک نیز افزایش یافت. یکی از دلایل افزایش پتاسیم خاک با افزایش کمپوست آزولا، شاید وجود مقدار زیادی از پتاسیم خاک به صورت آلی باشد، چون مقدار زیادی از ماده آلی اضافه شده به خاک به صورت کمپوست، هنوز کاملاً تجزیه نشده و به صورت آلی باقی مانده باشد و بنابراین مقدار پتاسیم در خاک افزایش یافته است. سرور و همکاران (Sarwar et al., 2009) گزارش کردند که به کار بردن کمپوست مقدار پتاسیم دانه را افزایش می دهد. این دانشمندان در سال ۲۰۰۸ گزارش کردند که زمانی که کمپوست همراه کود

pH خاک: اثر تیمارهای مختلف استفاده از کمپوست آزولا بر pH خاک در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۳) و مقایسه میانگین تیمارها (جدول ۵) نشان داد که تیمار B4 (۶/۸۹) کمترین pH خاک را داشت و در گروه a آماری قرار گرفت. تیمار B1 (۷/۲۹) کمترین pH را در خاک ایجاد کرد و در گروه c آماری قرار گرفت. تیمارهای دیگر از نظر آماری در سطح حدواسط دو نوع تیمار فوق بودند. نتایج نشان داد که با افزودن کمپوست آزولا به خاک، مقدار pH خاک کاهش پیدا کرده و خاک اسیدی تر شده است. اسیدیته به عنوان یک خصوصیت محیطی مهم برای رشد گیاه است. هنگامی که مقدار آب در خاک کاهش می یابد شرایط اکسیدی در خاک ایجاد شده (Buresh & De Datta, 1991) و شرایط برای اکسیداسیون ماده آلی خاک فراهم می شود. شرایط اکسیدی ایجاد شده موجب تجزیه سریع تر ماده آلی شده و در فرآیند تجزیه مواد آلی، یک سری اسیدهای آلی در خاک تولید و شرایط اسیدی تری را باعث می شود و در نتیجه مقدار pH کاهش می یابد.

ماده آلی خاک (درصد): استفاده بهینه از ماده آلی یکی از عوامل مهم تولید پایدار در زراعت است. ماده آلی یک عنصر کلیدی در کیفیت و حاصلخیزی خاک محسوب می شود (Sachdev & Deb, 1990). تیمارهای مختلف استفاده از کمپوست آزولا بر ماده آلی خاک در سطح احتمال یک درصد اثر معنی دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین تیمارها (جدول ۵) نشان می دهد که تیمار B4 (۴/۴۲ درصد) بیشترین ماده آلی خاک را داشته و در گروه a آماری قرار می گیرد و تیمار B1 (۱/۶۹ درصد) کمترین ماده آلی خاک را داشته و در گروه d آماری قرار می گیرد و تیمارهای دیگر از نظر آماری در سطح حدواسط دو نوع تیمار فوق بوده اند. نتایج به دست آمده نشان داد که با افزودن کمپوست آزولا به خاک، مقدار ماده آلی خاک افزایش یافت.

افزایش مواد آلی خاک، بسیاری از ویژگی های خاک از جمله قدرت نگهداری آب و مواد غذایی و چرخه عناصر غذایی در خاک را تحت تاثیر قرار داده و در نتیجه باعث بهبود تهویه و تامین رطوبت مورد نیاز گیاه می شود (Leifeld & Fuhrer, 2005). افزایش مواد آلی تاثیر معنی داری بر درصد ماده آلی خاک داشت ولی افزایش

گرفت. سرور و همکاران (Sarwar *et al.*, 2008) دریافتند که با به کارگیری کمپوست مقدار جذب پتاسیم در گیاه افزایش می‌یابد که در نتایج آنها مقدار پتاسیم دانه افزایش معنی‌داری در کاربرد کمپوست به تنهایی یا به همراه کود شیمیایی داشت. رضوان و همکاران (Rizwan *et al.*, 2007) گزارش کردند که کاربرد کمپوست افزایش معنی‌داری در مقدار پتاسیم دانه ایجاد می‌کند. کوزیاکوف (Kuziyakov, 2002) دریافت که کاربرد کود آلی روی مقدار پتاسیم دانه اثر معنی‌داری دارد. دیکسی و گوپتا (Dixit & Gupta, 2000) گزارش کردند که کمپوست اثر معنی‌داری روی مقدار جذب پتاسیم دارد. کاربرد کمپوست در خاک به طور عام به منظور حفظ و افزایش ثبات و پایداری خاکدانه‌ها، حاصل‌خیزی و باروری خاک‌های زراعی و باغی است که در دهه‌های گذشته از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده است. در حالی که اخیراً آگاهی بیشتر نیاز به اصلاح و بهبود کیفیت خاک و تأمین نیاز غذایی گیاهان به طور پایدار محسوس بوده که در برگیرنده جنبه‌های زیست محیطی نیز باشد. از این طریق علاوه بر کاهش هزینه‌های اضافی دفع مواد و ضایعات، بهره‌وری بیشتر و سودمندی از آنها خواهد شد (Lalande *et al.*, 2000).

نیترژن جذب شده در شلتوک: اثر تیمارهای مختلف آبیاری بر نیترژن جذب شده در شلتوک برنج در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳) و مقایسه میانگین تیمارها (جدول ۴) نشان داد که تیمار A3 (۱/۸۸ درصد) و A8 (۱/۶۸ درصد) بیشترین جذب نیترژن را داشت و در گروه a آماری قرار گرفت. تیمار A7 (۱/۷۱ درصد) کمترین جذب نیترژن را داشت و در گروه b آماری قرار گرفت. سرور و همکاران (Sarwar *et al.*, 2009) گزارش کردند که وقتی کمپوست به کار می‌رود مقدار نیترژن دانه را افزایش می‌دهد. همچنین پی بردند که به کارگیری کمپوست موجب افزایش قابلیت دسترسی نیترژن و افزایش جذب نیترژن می‌شود. کاویتا و سابرامانین (Kavitha & Subramanian, 2007) اظهار داشتند که کاربرد کمپوست موجب افزایش جذب نیترژن دانه با پیشرفت سن می‌شود و در مرحله برداشت حداکثر می‌شود.

نیترژن به کار می‌رود، جذب عناصر از جمله پتاسیم افزایش معنی‌داری در تیمارهای مختلف پیدا می‌کند. رضوان و همکاران (Rizwan *et al.*, 2007) پی بردند که کاربرد کمپوست افزایش معنی‌داری در مقدار پتاسیم خاک ایجاد می‌کند.

نیترژن جذب شده در کاه: اثر تیمارهای مختلف آبیاری بر نیترژن جذب شده در کاه برنج در سطح آماری ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین تیمارها (جدول ۴) نشان می‌دهد که تیمار A4 (۰/۶۸۸ درصد)، A1 (۰/۶۸۲ درصد) و A5 (۰/۶۷۸ درصد) بیشترین جذب نیترژن را داشته و در گروه a آماری قرار می‌گیرد و تیمار A2 (۰/۵۸۳ درصد) کمترین جذب نیترژن را داشت و در گروه b آماری قرار گرفت و تیمارهای دیگر از نظر آماری در سطح حدواسط دو نوع تیمار فوق بوده‌اند. با کاربرد کمپوست مقدار نیترژن ساقه به خوبی دانه برنج افزایش می‌یابد (Sarwar *et al.*, 2009). رضوان و همکاران (Rizwan *et al.*, 2007) دریافتند که کاربرد کمپوست مقدار نیترژن ساقه را افزایش می‌دهد.

فسفر جذب شده در کاه: تیمارهای مختلف آبیاری بر فسفر جذب شده در کاه برنج در سطح احتمال یک درصد اثر معنی‌دار داشت (جدول ۳) و مقایسه میانگین تیمارها (جدول ۴) نشان داد که تیمار A5 (۰/۱۵۵ درصد) بیشترین جذب فسفر در کاه را داشته و در گروه a آماری قرار گرفت و تیمار A8 (۰/۰۹۹ درصد) کمترین جذب فسفر در کاه را داشت و در گروه d آماری قرار گرفت. افزایش جذب فسفر به وسیله گیاهان مختلف زمانی بیشتر است که منابع آلی و منابع غیر آلی با هم استفاده شوند (Sarwar *et al.*, 2009).

پتاسیم جذب شده در کاه: اثر تیمارهای مختلف استفاده از کمپوست آزولا بر پتاسیم جذب شده در کاه برنج در سطح احتمال یک درصد اثر معنی‌دار داشت (جدول ۳) و مقایسه میانگین تیمارها (جدول ۵) نشان داد که تیمار B4 (۲/۱۲ درصد) و B3 (۲/۰۵ درصد) بیشترین جذب پتاسیم در کاه را داشت و در گروه a آماری قرار گرفت و تیمار B1 (۱/۸۹ درصد) کمترین جذب پتاسیم در کاه را داشت و در گروه b آماری قرار گرفت و تیمار B2 (۲/۰۳ درصد) از نظر آماری در سطح حدواسط دو نوع تیمار فوق بود و در گروه ab قرار

جدول ۳- تجزیه واریانس برخی صفات زراعی برنج، خاک، کاه و شلتوک برنج

Table 3. Analysis of variance of some agronomic traits of rice, soil, straw and paddy

SV	df	Means of squares																
		Agronomic traits					Soil					Uptake in straw			Uptake in grain			
		Panicle Length	panicle weight	Plant height	Tiller no.	Yield	ECe	pH	OC	N	P	K	N	P	K	N	P	K
R (Replication)	2	1.10 ^{ns}	0.3 ^{ns}	215.01 [*]	26.15 [*]	0.3 ^{ns}	0.22 ^{ns}	1.39 [*]	0.0018 ^{ns}	50.5 ^{ns}	9788.8 [*]	0.047 ^{ns}	0.006 [*]	0.174 [*]	0.41 [*]	0.129 ^{ns}	0.04 ^{ns}	
A (Main plot)	7	9.54 ^{***}	19.98 ^{***}	75.94 ^{***}	97.05 ^{***}	19.98 ^{***}	0.24 ^{ns}	0.04 ^{ns}	0.7 ^{ns}	0.0014 ^{ns}	58.24 ^{ns}	3027.9 ^{ns}	0.028 ^{**}	0.004 ^{***}	0.031 ^{ns}	0.054 ^{***}	0.008 ^{ns}	0.006 [*]
B (Subplot)	3	4.84 ^{***}	24.06 ^{***}	59.54 ^{ns}	19.06 ^{ns}	24.06 ^{***}	2.11 ^{***}	0.73 ^{***}	37.7 ^{***}	0.091 ^{***}	2055.32 ^{***}	63293.6 ^{***}	0.0057 ^{ns}	0.009 ^{ns}	0.227 ^{***}	0.09 ^{ns}	0.013 ^{ns}	0.0052 ^{ns}
A×B(Interaction)	21	4.17 ^{***}	4.42 ^{***}	30.58 ^{ns}	37.96 ^{***}	4.41 ^{***}	0.25 ^{ns}	0.08 ^{ns}	0.35 ^{ns}	0.0011 ^{ns}	32.68 ^{ns}	2191.8 ^{ns}	0.007 ^{ns}	0.0008 ^{ns}	0.023 ^{ns}	0.022 ^{ns}	0.003 ^{ns}	0.002 ^{ns}
Error	62	0.59	0.19	23.07	7.62	0.19	0.25	0.12	0.41	0.00	44.36	3003.6	0.01	0.00	0.04	0.02	0.01	0.00
CV	%	3.45	3.15	4.40	6.86	3.51	21.24	4.86	20.75	21.43	20.50	19.38	16.16	19.75	9.32	7.44	12.60	9.47

***, ** and *: significance at the 0.1, 1 and 5% statistical levels, respectively; ns: non-significant; main plot (A): irrigation treatment; sub-plot (B): azolla compost treatment

جدول ۴- مقایسه میانگین برخی صفات اندازه‌گیری شده در تیمارهای مختلف آبیاری

Table 4. Means comparison for some agronomic traits under different irrigation treatments

Irrigation	Means of squares							
	Agronomic traits					Uptake in straw		Uptake in grain)
	Panicle length	Plant height	panicle weight	Tiller no.	Yield	N	P	N
	(cm)		(g)		(g pod ⁻¹)		(%)	
A1	21.02 c	103.67 b	11.65 f	39.17 bc	10.25 f	0.682 a	0.141 ab	1.82 ab
A2	22.72 ab	111 a	14.73 b	34.83 d	13.3 b	0.583 b	0.126 abcd	1.76 ab
A3	21.93 ab	110.58 a	15 ab	45.5 bc	13.6 ab	0.592 ab	0.112 bcd	1.88 a
A4	23 a	109.5 ab	13.54 d	42.3 ab	12.14 d	0.688 a	0.133 abc	1.8 ab
A5	23.1 a	111 a	14.17 c	40.75 abc	12.77 c	0.657 ab	0.109 cd	1.81 ab
A6	21.42 c	110.83 a	13.52 d	44.25 a	12.12 d	0.678 a	0.155 a	1.82 ab
A7	21.75 c	109.58 ab	15.5 a	41.58 abc	14.1 a	0.583 b	0.119 bcd	1.71 b
A8	23.4 a	111.25 a	12.5 e	38.33 cd	11.15 e	0.59 ab	0.099 d	1.68 a

اعداد در هر ستون در صورت داشتن حروف مشابه در سطح ۵٪ معنی‌دار نمی‌باشند.
P<0.05. df= 62. Means with the same letter are not significantly different.

جدول ۵- مقایسه میانگین برخی صفات اندازه‌گیری شده در تیمارهای مختلف استفاده از کمپوست آزولا
Table 5. Means comparison for some agronomic traits under different treatments of azolla

Azolla compost treatment	Means of squares										Uptake in straw
	Agronomic traits				Residuals in soil						
	Panicle length	Plant height	Panicle weight	Yield	EC	pH	OC	N	P	K	
(cm)	(g)	(g pod ⁻¹)	(ds m ⁻¹)	(%)	(%)	(mg kg ⁻¹)	(%)			(%)	
B1 (0)	22.67a	107.96b	12.34b	10.94b	1.98c	7.29a	1.69 d	0.15d	15.06d	230.79b	1.089b
B2 (2.5%)	21.65b	109.92ab	14.36a	12.96a	2.38ab	7.21a	2.54 c	0.197c	20.73c	248.8b	2.03ab
B3 (5%)	22.53a	109.12ab	14.45a	13.05a	2.29bc	7.13ab	3.64 b	0.246b	28.43b	311.4a	2.05a
B4 (7.5%)	22.24a	111.71a	14.17a	12.77a	2.7a	6.89 b	4.42 a	0.294a	36.32a	339.7a	2.12a

اعداد در هر ستون در صورت داشتن حروف مشابه در سطح ۵٪ معنی‌دار نمی‌باشند.

P<0.05, df= 62. Means with the same letter are not significantly different. B1, B2, B3 and B4 indicate 0, 2.5, 5, and 7.5 % w/w of Azolla compost.

جدول ۶- مقایسه میانگین اثرات متقابل رژیم‌های مختلف آبیاری و مقادیر مختلف استفاده از کمپوست آزولا برای شاخص‌های مورد بررسی
Table 6. Means comparison for the interaction between different irrigation regimes and different rates of azolla compost for the studied parameters

Irrigation treatment	Azolla compost treatment	panicle length	panicle weight	Yield
		(cm)	(g)	(g pod ⁻¹)
A1	B1	21.83 e-i	10.87 no	9.467 no
	B2	18.57 k	11.00 mno	9.600 mno
	B3	20.93 hij	11.70 klm	10.300 klm
	B4	22.77 c-f	13.03 ghi	11.633 ghi
A2	B1	22.27 d-h	10.60 o	9.200 o
	B2	23.53 a-d	16.43 ab	15.033 ab
	B3	23.30 a-e	15.50 c	14.100 c
	B4	21.80 e-j	16.40 ab	15.000 ab
A3	B1	21.93 e-i	12.23 jk	10.833 jk
	B2	21.93 e-i	15.57 c	14.167 c
	B3	23.00 b-e	16.83 a	15.433 a
	B4	20.87 hij	15.36 c	13.967 c
A4	B1	23.93 abc	13.36 fgh	11.967 fgh
	B2	20.57 ij	15.26 c	13.967 c
	B3	23.00 b-e	12.30 ijk	10.900 ijk
	B4	24.50 a	13.23 fgh	11.833 fgh
A5	B1	23.17 a-e	12.83 hij	11.433 hij
	B2	24.40 ab	14.20 de	12.800 de
	B3	22.13 d-h	15.63 c	14.233 c
	B4	22.70 c-f	14.00 ef	12.60 ef
A6	B1	22.43 c-g	11.70 klm	1.30 klm
	B2	20.33 j	13.66 efg	12.27 efg
	B3	21.13 g-j	14.90 cd	13.50 cd
	B4	21.80 e-j	13.83 efg	12.43 efg
A7	B1	21.37 f-j	15.70 bc	14.30 bc
	B2	20.80 hij	15.23 c	13.83 c
	B3	23.27 a-e	15.46 c	14.07 c
	B4	20.87 hij	15.60 c	14.20 c
A8	B1	24.40 ab	11.43 lmn	10.03 lmn
	B2	23.10 a-e	13.53 fg	12.13 fg
	B3	23.47 a-d	13.30 fgh	11.90 fgh
	B4	22.63 c-f	11.93 kl	10.53 kl

نتیجه‌گیری کلی

از ۷/۵ درصد کمپوست آزولا یکی از مناسب‌ترین تیمارها بود. این مدیریت در شرایط کمبود آب آبیاری دارای اهمیت زیادی بوده و کارایی مصرف آب آبیاری افزایش داد و به اندازه ۱۹/۳۷ درصد نسبت به آبیاری غرقاب در مصرف آب صرفه‌جویی می‌گردد. استفاده از کمپوست آزولا مقدار ماده آلی خاک را افزایش داد که با دارا بودن بسیاری از عناصر مورد نیاز گیاه می‌تواند در طولانی مدت جایگزین کودهای شیمیایی گردد.

به طور کلی اثر تیمارهای مختلف آبیاری بر طول خوشه، ارتفاع بوته، تعداد پنجه و عملکرد شلتوک، درصد نیتروژن و فسفر جذب شده در کاه، پتاسیم جذب شده در شلتوک برنج معنی‌دار بود. اثر تیمارهای کمپوست آزولا بر طول خوشه، وزن خوشه، عملکرد دانه و همچنین شوری، اسیدیته، ماده آلی، نیتروژن، فسفر و پتاسیم باقی‌مانده در خاک و پتاسیم جذب شده در شلتوک برنج معنی‌دار بود. آبیاری به اندازه اشباع خاک در طول دوره رشد و استفاده

References

- Alam S. M. 2004. "Azolla" a green compost for rice. The DAWN Group of Newspapers, P 2.
- Bi, L., Zhang, B., Liu, G., Li, Z., Liu, Y., Ye, C., Yu, X., Lai, T., Zhang, J., Yin, J. and Liang, Y., 2009. Long-term effects of organic amendments on the rice yields for double rice cropping systems in subtropical China. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 129(4), pp.534-541.
- Buresh R. J., and De Datta S. K. 1991. Nitrogen dynamics and management in rice-legume cropping systems. *Advance Agronomy*, 45: 1-59.
- Dixit K.G., and Gupta B. R. 2000. Effect of farmyard manure, chemical and biofertilizers on yield and quality of rice (*Oryza sativa* L.) and soil properties. *Journal of Indian Society of Soil Science*, 48:773-780.
- Edwards, C.A., 1995. Historical overview of vermicomposting. *BioCycle: Journal of Composting and Organics Recycling*, 36(6): 56-58.
- Fallah V. 2005. Rice water requirement and its measurement. *Journal of Soil Science and Fertility*, No. 433.
- Ghorbanpour M. 2003. Impact of different irrigation management practices on some morphological traits of rice in northern Iran fields (M.Sc. Thesis). Tehran, Iran: Tehran University Press. (In Persian)
- Giles, J., 2004. Is organic food better for us. *Nature*, 428(6985), pp.796-797.
- Gupta V. K., and Potalia B. S. 1990. Zinc- cadmium interaction in wheat. *Journal of Indian Society Soil Science*, 48: 452-457.
- Hashemi Dezfuli A., Koucheki A., and Banayan Aval M. 1995. Higher Crop Yield. Jahad-e Daneshgahi Press, Mashhad, 236p. (In Persian)
- Hellal F. A. 2007. Composting of rice straw and its Influences on Iron Availability in calcareous soil. *Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 3: 105-114.
- Ibrahim M., Hassan A. U., Iqbal M., and Elahi Valeem E. 2008. Response of wheat growth and yield to various levels of compost and organic manure. *Pakistan Journal of Botany*, 40 (5): 2135-2141.
- Isfahani M. 1998. An Introduction to Rice Physiology and Ecology. Rasht, Iran: Guilan University Press. (In Persian)
- Kavitha R., and Subramanian P. 2007. Effect of enriched municipal solid waste compost application on growth, plant nutrient uptake and yield of rice. *Journal of Agronomy*, 6(4): 586-592.
- Kuzyakov Y. 2002. Factors affecting rhizosphere priming effects. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 165: 382-396.
- Lalande R., Gagnon B., Simard R. R., and Cote D. 2000. Soil microbial biomass and enzyme activity following liquid hog manure in a long-term field trial. *Canadian Journal of Soil Sciences*, 80: 263-269.
- Leifeld J., Bassin S., and Fuhrer J. 2005. Carbon stocks in Swiss agricultural soils predicted by land-use, soil characteristics, and altitude. *Agricultural Ecosystem and Environment*, 105: 255-266.

- Liaghat A., and Darbandi S. 2000. Low-irrigation management practice for water use optimization. Journal No. 36. National Iranian Committee of Irrigation and Drainage. (In Persian)
- Macilwain, C., 2004. Is organic farming better for the environment? *Nature*, 428(6985): 797-798.
- Mian M. H. 2013. Prospect of Azolla and blue green algae as nitrogenous biofertilizers for rice production in Bangladesh. In: *Advances in Crop Science, Proceeding of Biennial Conference of the Crop Science Society of Bangladesh*, 34-35.
- Nahvi M. 2000. Determination of the best irrigation interval on the basis of the analysis of growth parameters and yield of rice. Karaj, Iran: Islamic Azad University of Karaj. (In Persian)
- Oehl F., Sieverding E., Mäder P., Duboi D., Ineichen K., Boller T., and Wiemken A. 2004. Impact of long-term conventional and organic farming on the diversity of arbuscular mycorrhizal fungi. *Oecologia*, 138: 574-583.
- Pirmoradian N., Sepaskhah A. R., and Maftoun M. 2004. Effects of water-saving irrigation and nitrogen fertilization on Yield and Yield components of Rice (*Oryza sativa* L.) *Plant Production Science*, 7: 337-346.
- Pulleman M. A., Jongmans J., and Bouma J. 2003. Effects of organic versus conventional arable farming on soil structure and organic matter dynamics in a marine loam in the Netherlands. *Soil Use and Management*, 19:157-165.
- Razavipour T. 2005. A reserach report of a study on the effect of the increase in plant density and different irrigation regimes on the yield of rice CV 'Hashemi'. Rice Research Institute of Iran. (In Persian)
- Razavipour T. 2007. Preparation of componst from rice azolla and straw. Rice Research Institute, Iran. (In Persian).
- Razavipour T., Yazdani M., and Kavooosi M. 1999. The effect of soil moisture stress at different growth stages of rice on grain yield (cv. Binam). *Proceedings of 6th Iranian Confernece of Soil Sciences*. Mashahd: Ferdowsi University of Mashhad. (In Persian)
- Rehana B., Mian M.H., Tahiruddin M., and Hasan M. A. 2003. Effect of Azolla- Urea application on yield and NPK uptake by BRRD Dhan 29 in Boro season. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 6 (11): 968-971.
- Rezaei M. 2003. The possibility of underground irrigation of rice using fresh water irrigation. Final report. Rice Research Institute of Iran. Rasht, Iran. (In Persian)
- Rezaei M., Attariyan A.M., Trustee M.K., RazaviPour T., and Shokrivahed H. 2009. Environmental protection through irrigation management and reduction of herbicides in gilán fields. *Proceedings of the 10th Soil Science Congress of Iran*, Karaj, 4-6th of September.
- Rezavipour T. 1995. A research report on the effect of soil moisture loss at different growth stages of rice cv. 'Binam'. Rice Research Institute of Iran. (In Persian)
- Rizwan A., Shahzad S.M., Khalid A., Arshad, M., and Mahmood M. H. 2007. Growth and yield response of wheat (*Triticum aestivum* L.) and maize (*Zea mays* L.) to nitrogen and L – Tryptophan enriched compost. *Pakestani Journal of Botany*, 39 (2): 541-549.
- Sachdev P., and Deb D. L.1990. Influence of gypsum and farmyard manure on fertilizer zinc uptake by wheat and its residual effect on succeeding rice and wheat crops in sodic soil. *Journal of Agricultural Biology*, 19: 173-178.
- Salahshour Delivand M. 2005. Response of different rice (*Oryza sativa* L.) cultivars to different irrigation regimes. M. Sc. Thesis. Agronomy departement. Agriculture faculty. Tarbiat Moddarress University. Tehran, Iran. 99p. (In Persian)
- Sarwar G., Hussain N., Schmeisky H., Muhammad S., Ibrahim M., and Safdar E. 2008. Use of compost an environment friendly technology for enhancing rice wheat production in Pakistan. *Pakestan Journal of Botany*, 40 (1): 1553-1558.
- Sarwar G., Schmeisky H., Hussain N., Muhammad S., Tahir M.A., and Saleem U. 2009. Variations in nutrient concentrations of wheat and paddy as affected by different levels of compostand chemical fertilizer in normal soil. *Pakestan Journal of Botany*, 41 (5): 2403-2410.

- Shahzad S. m., Khalid A., Arshad M., Khalid M., Mehboob I. 2008. Integrated use of plant growth promoting bacteria and p-enriched compost for improving growth, yield and nodulation of chickpea. *Pakestani Journal of Botany*, 40 (4): 1725-1741.
- Singh, B., Singh, Y., Khind, C.S., Ladha, J.K. and Gupta, R.K., 2003. Managing pressmud cake for nitrogen and phosphorus nutrition of crops in a rice-wheat rotation. *In: Graham R.D. Biofortification: a global challenge program International Rice Research Notes*, 28(1), pp.59-61.
- Smith B. D. 1998. The Emergence of Agriculture, First ed. W H Freeman & Co., Scientific American Library, New York.
- Spanu, A. and Pruneddu, G., 1997. Rice (*Oryza sativa* L.) yield and increasing nitrogen rates. *Agricoltura Mediterranea*, 127: 166-172.
- Turgut I., Bilgili U., Duman A., and Acikgoz E. 2005. Effect of green manuring on the yield of sweet corn. *Agronomy for Sustainable Development*, 25:1-5.
- Venkates Warula B., Parao F. T. 2006. Screening quality grains rich with a seed blower Society for the advancement of breeding. *Research in Asia and Ocean in Journal*, 18 (1): 19-24.
- Yazdani M., Sharafi N., RazaviPour T., and Sharifi M. 2003. Comparison of different irrigation managements in Gilan rice. *Proceedings of the 11th National Irrigation and Drainage Committee of Iran*, 674 p. (In Persian)
- Ying J., Peng S., He Q., Yang H., Yang C., Visperas R.U., and Cassman K. G. 2013. Comparison of high- yield rice in a tropical and Sub-tropical environment: I. Determinants of grain and dry matter yields. *Field Crops Research*, 57: 71-84.
- Yoshida S. 2009. Fundamentals of Rice Crop Science. The International Rice Research Institute, Manila, Philippines, 269p.

Improvement of Irrigation Efficiency in Rice Field Using Composted Azolla under Water Deficit Condition

Sahar Doaei¹, Sina Siavash Moghaddam^{2*}, Teimour Razavipour kumale³, Seyyed Ali Noorhosseini⁴

(Received: January 2017

Accepted: December 2017)

Abstract

A pot experiment was carried out to determine the effect of composted Azolla under water deficit condition on growth and yield of rice in Rice Research Institute of Iran (RRII) in 2011. The experiment was conducted as factorial in a randomized complete block design (RCBD) with three replications and 8 irrigation regimes (A1 to A8) as the first factor as well as use of different amount of composted Azolla as second factor in 4 levels (B1= control without compost, B2 = 2.5 %, B3 = 5% and B4 = 7.5% of soil weight in pot). The results showed that the effect of different irrigation treatments were significant on some of the rice agronomic traits such as panicle length, plant height, number of tillers and grain yield, adsorbed nitrogen and phosphorus content in straw and adsorbed potassium in grain, while other characteristics were not significantly affected. Composted Azolla had a significant effect on such rice agronomic traits as panicle length, panicle weight and grain yield. Furthermore, the effect of composted Azolla was significant on salinity, pH, organic matter, nitrogen, phosphorus, residual potassium in soil and adsorbed potassium in grain, however there was no significant difference in other characteristics. The results indicated that treatment A2B4 (irrigation as soil saturation during the growing season with 2.5 % of Azolla compost) is one of the best treatments. Use of this management, especially in water deficit condition can increase water use efficiency by 19 percent and soil fertility as well. Likewise, composted Azolla application can enhance the soil organic matter and because it has some nutrients which are required for the plant, it can be an appropriate alternative in the long term for chemical fertilizers and as a result, move towards sustainable agriculture with environmental safety.

Keywords: Azolla, Compost, Deficit Irrigation, Rice

Doaei S., Siavash Moghaddam S., Razavipour Kumale T. and Noorhosseini S.A. 2019. Improvement of irrigation efficiency in rice field using composted Azolla under water deficit condition. *Applied Soil Research*, 6(4): 146-163.

1- Department of Agriculture, Lahijan Branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran

2- Assistant Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

3- Rice Research Institute of Iran, Rasht, Iran

4- Department of Agriculture and Natural Resources, Payame Noor University (PNU), P.O. Box, 19395-3697 Tehran, Iran.

* Corresponding Author Email: ss.moghaddam@urmia.ac.ir