نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۳، شماره ۶، بهمن – اسفند ۱۳۹۸، ص. ۸۹۶-۸۸۵

Journal of Water and Soil
Vol. 33, No. 6, Jan-Feb. 2020, p. 885-896

تأثیر آبیاری زیرزمینی با پساب شهری تصفیه‌شده بر عملکرد گیاه برنج

لیلی قربانی مینائی[۱]- مهدی ذاکری نیا[۲*]- عباس رضایی‌اصل[۳]- حمیدرضا میرکریمی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۲۶
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۹/۲۴

چکیده

با توجه به محدودیت منابع آب در کشور، استفاده از شیوه‌های نوین آبیاری برنج با مصرف کمتر آب امری بدیهی خواهد بود. یکی از راه‌های افـزایش بهره‌وری آب، استفاده از روش آبیاری زیرزمینی است. همچنین برای مقابله با بحران آب می‌توان از آب‌های نامتعارف و به عبارت دیگر آب‌های با کیفیت نامطلوب استفاده نمود. به منظور بهبود کیفیت آب مصرفی در کشاورزی روش‌های مختلفی وجود دارد که یکی از آن‌ها استفاده از میدان‌های مغناطیسی است. در پژوهش حاضر اثر مغناطیسی‌شدن پساب تصفیه خانه شهری گرگان و آب معمولی به روش آبیاری زیرزمینی در پردیس کشاورزی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان بر صفاتی همچون عملکرد شلتوک، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، کارایی مصرف آب، بهـره‌وری فیزیکـی آب و بهره‌وری اقتصادی آب مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ بلوک، از اردیبهشت تا شهریور ماه سال ۱۳۹۷ انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل فاکتور نوع آب آبیاری در دو سطح شامل آب معمولی (C) و پساب تصفیه شده شهری گرگان (W) و فاکتور دوم شامل روش اصلاح آب در دو سطح شامل مغناطیس (M) و عدم مغناطیس (O) بود. نتایج مقایسه میانگین فاکتور نوع آب نشان داد کـه بین تیمار پساب و آب معمولی در پارامترهای اندازه‌گیری تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. فاکتور روش اصلاح آب نشان داد کـه تیمـار غیرمغنـاطیس در پارامترهای عملکرد شلتوک، کارایی مصرف آب، بهره‌وری فیزیکی آب و بهره‌وری اقتصادی آب نسبت به تیمار مغناطیس معنی‌دار بود اما در پارامترهای عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت اثر معنی‌دار مشاهده نشد. همچنین مقایسه میانگین اثرات متقابل نوع آب و روش اصلاح بر همه پارامترهای اندازه گیری شده حاکی از برتری پساب غیرمغناطیس نسبت به بقیه تیمارها درسطح ۵ درصد بود. براساس نتایج این تحقیق می‌توان گفت که کشت بـرنج از نظر آبیاری نیازی به ایجاد یک لایه ایستابی در سطح خاک ندارد و همچنین استفاده از پساب تصفیه‌خانه شهری گرگان به عنوان آب آبیاری، علاوه بر امکان کاهش برداشت از منابع آبی با کیفیت بالا، هزینه‌های مصرف کود (شیمیایی و آلی) در تولید محصول را نیز کاهش داد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری زیرزمینی، پساب تصفیه شده شهری، پساب مغناطیس، زهکشی کنترل شده، عملکرد برنج

مقدمه

کشاورزی به عنوان یکی از بخش‌های حیاتی کشور نقـش بسـیار حساسی در برنامه‌های توسعه اقتصادی و اجتماعی دارد. در این میـان کشت برنج در جایگاه خود دارای ارزش و اهمیت ویژه‌ای بوده و بعد از گندم غذای اصلی مردم جهان را تشکیل می‌دهـد (۱۲، ۳۴، ۴۰ و ۴۱). آب یکی از منابعی است که در تولید محصولات کشاورزی نقش مهمی را ایفا می‌کند و چنانچه به صورت صحیح مدیریت نشـود محـدودیت زیادی را در مصرف آب شرب و کشـاورزی بوجـود مـی‌آورد. یکـی از روش‌های مدیریتی که بـه طـور متـداول در منـاطق مرطـوب و نیمـه مرطوب به کار گرفته می‌شود کنترل سطح ایستابی در زیر عمق توسعهٔ ریشه است که به صورت روش‌های زهکشی کنترل شـده یـا آبیـاری زیرزمینی در زمین‌های کشاورزی اعمال مـی‌شـود. در روش زهکشـی کنترل شده با افزایش رقوم ارتفاعی خروجی زهکش‌ها از خـروج زه‌آب ها جلوگیری و اجازه داده می‌شود که سطح آب در خاک بالاتر آید و در زمان بیشتری در منطقهٔ توسعهٔ ریشه باقی بماند. در آبیاری زیرزمینی، جریان ورود و خروج آب در زمین معکوس می‌شود. به این مفهوم کـه آبیاری از طریق لوله‌های زهکش وارد زمین می‌شود و بـا ایجـاد یـک سطح ایستابی معلق کم عمق، آب در اختیار گیاه قرار می‌گیرد. این دو روش در مناطق مرطوب و نیمه‌مرطوب از سال‌ها پیش گرفته شـده و گسترش یافته است و دارای مزایای زیادی از جمله کاهش زه‌آب‌های خروجی، کاهش تلفات کودهـای شـیمیایی، کـاهش آلـودگی محـیط زیست ، افزایش تعرق، افزایش محصـول، و مزایـای دیگـر اسـت. در مناطق خشک و نیمه‌خشک به علت تبخیر و تعرق زیاد، وجـود سـطح

۱ و ۲- به‌ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و دانشیار گروه مهندسی آب، دانشـگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: mzakerinia@gmail.com)
۳- استادیار گروه مکانیک بیوسیسـتم، دانشـگاه علـوم کشـاورزی و منـابع طبیعـی گرگان، گرگان، ایران
۴- دانشجوی دکتری اصلاح نباتات، دانشگاه آزاد اسلامی واحـد علـوم و تحقیقـات تهران، تهران، ایران

DOI: 10.22067/jsw.v33i6.79542

www.SID.ir

Archive of SID

ایستابی کم عمق باعث صعود نمک به سطح خاک و افزایش شوری در ناحیهٔ ریشه می‌شود. در نتیجه، زهکشی کنترل شده و آبیاری زیرزمینی در این مناطق باید با مدیریت خاصی اعمال شود (۱۸). امیری (۶) با بررسی مدیریت آبیاری برنج در استان گیلان روی رقم هاشمی، مقدار بهره‌وری آب بر اساس میزان آبیاری را در محدوده ۰/۹۲–۰/۲۹کیلوگرم دانه بر متر مکعب آبیاری محاسبه نمود. در مدیریت‌های جدید، شیوه‌های مختلف آبیاری متناسب با فیزیولوژی گیاه در جهت افزایش محصول، کاهش مصرف آب، بالا بردن راندمان آبیاری و جلوگیری از ماندابی شدن اراضی شالیکاری اعمال می‌شود. تنش آبی ناشی از آبیاری غیر غرقابی ضمن تأثیر بر میزان آب مصرفی یا جلوگیری از انتقال نمک‌ها و مواد غذایی به گیاه و کاهش فتوسنتز باعث کاهش تعداد پنجه، سطح برگ، تجمع ماده خشک، تعداد دانه پر در خوشه، وزن صد دانه و در نهایت عملکرد می‌شود (۶، ۴۲ و ۴۷). بومان و همکاران (۱۱) گزارش کردند برنج بیشترین مقدار مصرف آب را در بین محصولات کشاورزی دارا بوده و حدود ۸۰ درصد کل منابع آب شیرین مصرفی آسیا را شامل می‌شود. اسدی و محمدیان (۷) و هادیان و قربان‌نژاد (۲۲) گزارش نمودند که کمتر از ۵ درصد از کل آب مورد نیاز گیاه برنج که عمدتاً توسط ریشه جذب می‌شود؛ صرف تشکیل اندام‌های گیاهی شده و ۹۵ درصد باقیمانده از طریق تبخیر و تعرق از دسترس گیاه خارج می‌شود. کمبود آب در سال‌های اخیر به عنوان یک بحران مطرح گردیده و تولید برنج را در کشور دچار چالش نموده است، بنابراین برای رفع مشکل کنونی، چاره‌ای جز افزایش بهره‌وری و همچنین استفاده بهینه از آب با کیفیت پائین وجود ندارد. فاضلاب به دلیل دارا بودن موادآلی و عناصر غذایی مورد نیاز برای رشد گیاه و نیز موادآلی مورد نیاز برای حاصل‌خیزی و بهره‌وری خاک مخصوصاً در مناطق خشک می‌تواند پس از انجام تصفیه‌های لازم، در عملیات آبیاری گیاهان مورد استفاده قرار گیرد (۲۷، ۳۸، ۳۹ و ۴۵). بنابراین استفاده مجدد از پساب فاضلاب‌های تصفیه شده، می‌تواند به عنوان یک منبع آب جدید، جبران کننده کسری منابع آب قابل دسترس بخش کشاورزی محسوب شود و نیز از اثرات سوء تخلیه بی رویه فاضلاب به محیط زیست و خسارات وارده به آن، جلوگیری به عمل آورد (۲۷، ۴۶، ۵۳ و ۵۴). در نتیجه می‌توان آب‌های با کیفیت بالاتر (آب منابع تجدیدپذیر) را در مصارف با اهمیت‌تر مورد استفاده قرار داد (۲۷ و ۳۹). یکی دیگر از راه‌کارهایی که در این راستا در سال های اخیر مورد استفاده قرار گرفته، کاربرد آب مغناطیسی با عبور دادن آب آبیاری از میدان مغناطیسی ثابت می‌باشد (۳۱ و ۳۶). در نتیجه عبور آب از میدان مغناطیسی، در اثر نیروی القایی ناشی از میدان، خوشه‌های مولکول‌های آب شکسته شده و بخش‌های غیر هم‌نام مولکول آب در یک راستا قرار می‌گیرند و مولکول‌های آب آزاد می شوند. این حالت سبب می‌شود که فضای کمتری توسط مولکول‌ها اشغال شود. در واقع میدان مغناطیسی روی خودِ مولکول‌های آب اثر می‌گذارد و آزادی و تحرک مولکول‌های آب را افزایش می‌دهد. با عبور آب از میدان مغناطیسی و شکسته شدن پیوند هیدروژنی و واندروالسی بین مولکول‌های آب، نیروی کشش سطحی آب کاهش می‌یابد (۴۳). در نتیجه سیالیت آب افزایش یافته و خاصیت ترکنندگی آن بیشتر می شود (۴۹). بنابراین جذب آب مغناطیسی راحت‌تر صورت می‌گیرد و در مقایسه با آب مغناطیس نشده، گیاه به راحتی مقادیر بیشتری از آب مغناطیسی را جذب خواهد کرد. با افزایش جذب آب توسط گیاه می توان انتظار داشت املاح بیشتری نیز در اختیار گیاه قرار گیرد. لذا آبیاری با آب مغناطیسی سبب جذب راحت‌تر و بیشترِ آب از خاک شده که به دنبال آن جذبِ مواد غذایی و املاح نیز از خاک بهتر و بیش‌تر صورت خواهد گرفت که موجب افزایش رشد و در نهایت موجب افزایش عملکرد گیاه خواهد شد (۱). با توجه به کمبود منابع آبی و نیاز فراوان کشت مرسوم محصول برنج، به تحقیقی که با استفاده از منابع آبی نامتعارف اصلاح شده و روش کاشت جایگزین روش غرقابی (مانند آبیاری زیرزمینی) ضروری به نظر می‌رسد. بنابراین هدف از این پژوهش، بررسی امکان اجرای آبیاری زیرزمینی (زهکشی کنترل شده) بر عملکرد برنج با آب مغناطیس شده پساب تصفیه‌خانه فاضلاب شهری گرگان می‌باشد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، آزمایش به صورت فاکتوریل دو عاملی شامل فاکتور نوع آب آبیاری در دو سطح شامل آب معمولی (C) و پساب تصفیه شده شهری گرگان (W) و فاکتور روش اصلاح آب در دو سطح شامل مغناطیس (M) و عدم مغناطیس (O) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ بلوک از اردیبهشت تا شهریور ماه سال ۱۳۹۷در دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان با موقعیت جغرافیایی ۵۴ درجه و ۲۳ دقیقه عرض شرقی و ۳۶ درجه و ۵۰ دقیقه عرض شمالی و ارتفاع ۷۰ متر از سطح دریا بر روی گیاه برنج رقم طارم هاشمی بصورت لایسیمتری انجام شد. آب و هوای گلستان مدیترانه‌ای (نیمه مرطوب، نیمه‌خشک و خشک) می‌باشد. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک اندازه‌گیری و نتایج در جدول ۱ ارائه شده است. آب معمولی به عنوان شاهد و پساب از تصفیه‌خانه پساب شهری گرگان تهیه گردید.تصفیه‌خانه فاضلاب گرگان با ظرفیت ۳۰هزار مترمکعب در شبانه‌روز در سال ۱۳۸۲ آغاز و بهره‌برداری آزمایشی از آن در اردیبهشت سال ۱۳۹۲ صورت گرفته است.این تصفیه‌خانه در قسمت شمال شهر گرگان قرار دارد و شامل تصفیه مقدماتی، اولیه، ثانویه و ضدعفونی پساب می‌باشد. آنالیز شیمیایی آب و پساب نیز اندازه گیری و در جدول ۲ ارائه شد.

در این پژوهش، به منظور مغناطیس نمودن آب‌های آبیاری از دستگاه مولد میدان مغناطیسی، واقع در آزمایشگاه مکانیک بیوسیستم دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، استفاده شد. این دستگاه از دو رشته سیم پیچ تشکیل شده است که به دور دو هسته فلزی مجزا از هم (با تعداد دور ۳۰۰۰) پیچیده شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 1- Physical and chemical properties of soil

کلاس بافت Texture class	رس (درصد) Clay (%)	سیلت (درصد) Silt (%)	شن (درصد) Sand (%)	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) Ec (dS/m)	اسیدیته pH	سدیم	کلسیم	منیزیم	پتاسیم
						(میلی‌اکی والان بر لیتر)			
						Na	Ca	Mg	K
						(meq/l)			
لوم رسی Clay loam	32	30	38	1.48	7.52	19	0.03	8.4	1.61

جدول ۲- خصوصیات شیمیایی آب و پساب

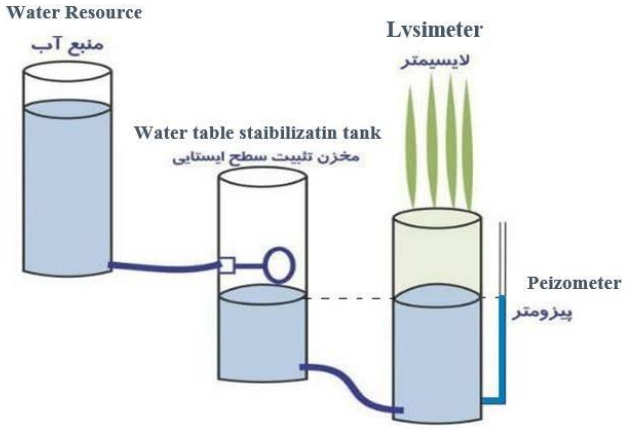
Table 2- Chemical properties of water and waste water

نوع آب Water type	هدایت الکتریکی Ec (دسی‌زیمنس بر متر) (dS/m)	اسیدیته pH	سدیم	کلسیم	منیزیم	پتاسیم
			(میلی‌اکی والان بر لیتر)			
			Na	Mg	Ca	K
			(meq/l)			
آب معمولی Common water	0.58	7	0.9	3.1	2.3	0.09
پساب Waste water	1.4	8.2	1.2	5.2	4.4	0.45
آب معمولی مغناطیسی Magnetic common water	0.57	7.2	0.8	2.95	2.1	0.07
پساب مغناطیسی Magnetic waste water	1.35	8.3	1.1	4.98	4.2	0.38

حداکثر شدت میدان مغناطیسی تولیدی، وزن و مساحت ۱/۲ تسلا، ۱۵۰کیلوگرم و ۸۰ سانتی‌متر مربع می باشد. با توجه به این که میدان مغناطیسی از طریق ایجاد جریان الکتریسیته تولید می‌شود. لذا برای ایجاد این جریان، از دستگاه منبع تغذیه استفاده شد که دارای یک صفحه نمایشگر، پیچ‌های تنظیم کننده ولتاژ و آمپر و یک قسمت الکتریسیته است که توسط سیم‌های رابط به دستگاه متصل می‌گردد و حداکثر ولتاژ و آمپر تولیدی توسط این دستگاه به ترتیب ۵۰ ولت و ۱۰ آمپر می‌باشد. (بنابراین با عبور جریان الکتریکی از یک رشته سیم پیچ به دور یک هسته فلزی، شدت میدان مغناطیسی در شیار بین دو هسته فلزی متناسب با جریان، جنس هسته و تعداد دور سیم پیچ در هسته‌های فلزی ایجاد می شود). لازم به ذکر است میزان شدت میدان مغناطیسی با استفاده از دستگاه کوچکی به نام تسلاسنج مشخص شد. برای این کار با حرکت دادن پیچ‌های تنظیم کننده ولتاژ و آمپر، میزان شدت میدان مغناطیسی به کمک تسلاسنج کنترل و شدت میدان مغناطیسی مدنظر به دست آمد. ابعاد لایسیمتر با قطر دهانه ۳۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر بود. ابتدا در بدنه لایسیمترها از یک طرف به اندازه یک سانتی‌متر بالاتر از کف، روزنه ای ایجاد و واشر مناسبی در این روزنه تعبیه شد. سپس مقداری شن ریز به عنوان فیلتر، بر روی پارچه تنظیف قرار داده شد (جهت جداسازی شن از نمونه خاک) و به شلنگ تراز که با استفاده از پارچه تنظیف مسدود شده بود، یک عدد رابط شماره ۱۶ آبیاری قطره‌ای متصل گردید. سپس رابط در تماس با شن قرار گرفت و محتویات پارچه با سیم راویز به شلنگ بسته شد و در کف لایسیمتر جای گرفت. در انتها، طرف دیگر شلنگ نیز از واشر عبور داده شد. برای جلوگیری از ایجاد جریان ترجیحی، جداره داخلی لایسیمترها با مقداری شن و چسب PVC پوشانده شد. همچنین برای ثابت نگه داشتن سطح آب، از دو مخزن (یکی به عنوان تثبیت کننده سطح ایستابی و دیگری برای اندازه‌گیری میزان آب مصرفی) استفاده شد. روش کار بدین صورت است که لوله آبده با استفاده از یک لوله به مخزن تثبیت سطح ایستابی متصل گردید. در مخزن تثبیت، سطح ایستابی با کمک شناوری که با منبع آب متصل است، در سطح مورد نظر ثابت شد. بخشی از دو نوع آب معمولی و پساب با استفاده از دستگاه مولد میدان مغناطیسی DC و با شدت میدان مغناطیسی ۱ تسلا، مغناطیسی شد. سپس به روش زیرزمینی، آبیاری در ستون‌های خاک که گیاه برنج در آنها کشت شده است، انجام گرفت به طوری‌که عمق سطح ایستابی ثابت شد و در ۵ سانتی‌متری از سطح خاک برقرار گردید (شکل ۱).

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱- سیستم آبیاری زیرزمینی

Figure 1- Sub Irrigaation System

به منظور تثبیت خاک، لایسیمترها دو مرتبه پیش از شروع آزمایش، آبیاری شدند. سپس نشا در مرحله چهار برگی از خزانه مطمئن برنج تهیه شد که در هر لایسیمتر ۹ دسته نشاء به فاصله ۱۰×۱۰ کشت گردید. برای استقرار کامل گیاه، تیمارها به مدت یک هفته با آب معمولی و به روش مرسوم آبیاری شدند و از هفته دوم تیمارها اعمال گردید. بافت خاک با روش هیدرومتری، میزان پتاسیم و سدیم با دستگاه فلیم‌فتومتر و میزان کلسیم و منیزیم به روش تیتراسیون، هدایت‌الکتریکی با دستگاه ECمتر و اسیدیته خاک با دستگاه pHمتر اندازه‌گیری شد.

در این پژوهش نیاز آبی گیاهان کلیه تیمارها با یکدیگر برابر بوده و با استفاده از نرم‌افزار NETWAT، تاریخ شروع و خاتمه و زمان فصل رشد هر گیاه صورت گرفت و با استفاده از اطلاعات موجود در نشریه فائو ۵۶ (۵) طول مراحل چهارگانه فصل رشد و ضرایب گیاهی سه‌گانه هر گیاه در هر منطقه استخراج شدند. ضریب گیاهی روزانه هر گیاه محاسبه و میانگین آن‌ها در ماه‌های مختلف فصل رشد تعیین گردید. با محاسبه میانگین تبخیر-تعرق پتانسیل ماهانه گیاه مرجع از روش پنمن -مانتیت (۵) بر اساس میانگین ماهانه داده‌های هواشناسی، با استفاده از معادله زیر تبخیر -تعرق پتانسیل گیاه در هر ماه محاسبه گردید:

$$ET_P = n\, K_c\, ET_o \qquad (۱)$$

در معادله فوق ET_P تبخیر–تعرق پتانسیل گیاه در هر ماه از فصل رشد برحسب میلیمتر می‌باشد که برابر نیاز آبی گیاه در آن ماه در نظر گرفته شد. ET_o میانگین تبخیر–تعرق پتانسیل ماهانه گیاه مرجع برحسب میلی‌متر در روز، K_c ضریب گیاهی و n تعداد روزهای ماه مورد نظر هستند. از داده‌های بارندگی در هر ماه سال و در هر منطقه، مقدار باران مؤثر از روش سازمان حفاظت خاک آمریکا محاسبه شد (۲۰) و با کم کردن مقدار باران‌مؤثر ماهانه از نیاز آبی ماهانه، مقدار نیاز آبیاری هر ماه از فصل رشد محاسبه گردید. در ماه‌هایی که باران مؤثر بیشتر از نیاز آبی بود، مقدار نیاز آبیاری برابر صفر منظور شد و از رطوبت باقیمانده اضافی در خاک که ممکن است به ماه بعد انتقال یابد، صرف‌نظر گردید. با جمع کردن نیاز آبیاری کلیه ماه‌های فصل رشد، نیاز آبیاری گیاه در کل فصل رشد مشخص گردید.

صفات اندازه‌گیری شده در این پژوهش شامل صفات عملکرد شلتوک، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، کارایی مصرف آب، بهره‌وری فیزیکی آب و بهره‌وری اقتصادی آب بود. برداشت محصول از سطح یک لایسیمتر انجام شده و پس از توزین و تعیین درصد رطوبت، عملکردشلتوک براساس کیلوگرم در هکتار (رطوبت ۱۴٪) محاسبه شد (۵۲). عملکرد بیولوژیک در بوته به مجموع وزن خشک خوشه، ساقه، برگ در بوته گفته می‌شود. شاخص برداشت یکی دیگر از پارامترهای مهم در تحلیل‌های زراعی می‌باشد که به طور خلاصه با رابطه زیر بیان می‌شود.

$$H_i = \frac{EY}{BY} \qquad (۲)$$

H_i : شاخص‌برداشت، بدون بعد بر حسب درصد بیان می‌شود. EY: عملکرد اقتصادی (عملکردشلتوک) بر حسب کیلوگرم بر هکتار، BY : عملکرد بیولوژیک بر حسب کیلوگرم بر هکتار. برای محاسبه کارایی مصرف آب آبیاری از معادله زیر استفاده شد.

$$WUE = \frac{Y}{WU} \qquad (۳)$$

WUE : کارایی مصرف آب آبیاری بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب، Y: عملکرد محصول بر حسب کیلوگرم بر هکتار، WU: میزان آب مصرفی بر حسب متر مکعب بر هکتار می‌باشد که شامل تبخیر از سطح خاک، تعرق گیاه، رواناب و زهکشی است (۲۶). ساده ترین روشی که در مزارع کشاورزان برای برآورد بهره‌وری فیزیکی آب یک گیاه می‌توان بکار برد، اندازه گیری سه عامل ۱- عملکرد ۲- مقدار آب آبیاری و ۳- مقدار بارش در طی فصل است.

$$WP_P = \frac{Y}{I+P} \qquad (۴)$$

Y : عملکرد دانه بر حسب کیلوگرم در هکتار، P و I : به ترتیب مقدار عمق آب آبیاری و باران بر حسب متر مکعب در هکتار، WP_P: بهره‌وری فیزیکی آب بر حسب کیلوگرم در متر مکعب می‌باشد (۲۶).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر نوع آب و اصلاح آب بر بر روی عملکرد، شاخص‌برداشت، کارایی مصرف آب و شاخص‌های بهره‌وری
Table 3- Variance analysis of effect water type and water correction on the yield, harvest index, water use efficiency and Productivity Indicators

منابع تغییرات Source of variance	درجه آزادی dF	میانگین مربعات Sum of squares					
		عملکرد شلتوک Yield of rough rice	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index	کارایی مصرف آب WUE	بهره وری فیزیکی WP (I+P)	بهره وری اقتصادی BPD
بلوک Block	2	276543.8^{ns}	12936873^{ns}	14.66^{ns}	0.006^{ns}	0.006^{ns}	240488.1^{ns}
نوع آب (A) Water type	1	1465803^{ns}	11834574^{ns}	48^{ns}	0.002^{ns}	0.002^{ns}	95944.08^{ns}
اصلاح آب (B) Water Correction	1	7498683**	32455852^{ns}	36.75^{ns}	0.053**	0.049**	2126050**
A×B	1	239701.3^{ns}	4621484^{ns}	14.96^{ns}	0.005^{ns}	0.005^{ns}	188752.1^{ns}
خطا Error	6	460242.5	13388618	9.304	0.004	0.004	148262.8

ns، *، ** به ترتیب به مفهوم غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح ۵٪ و ۱٪ می‌باشد.
ns , * and **: Nonsignificant and significant at %5 and %1 level of probability respectively.

پیشنهاد می‌شود بعد از محاسبه بهره‌وری فیزیکی آب، بهره‌وری اقتصادی آب نیز برآورد گردد. البته این مورد هم خیلی سخت نیست. در صورت کسر بالا به جای تولید، سود خالص دریافتی (تفاوت ناشی از درآمد محصول و هزینه‌ها) جایگزین شود.

$$WP_e = \frac{I_N}{I+P} \quad (۴)$$

I_N: درآمد خالص که از تفاوت هزینه‌های انجام شده در طی فصل و درآمد ناشی از تولید به دست می آید (تومان)، I و P: به ترتیب مقدار عمق آب آبیاری و باران بر حسب متر مکعب در هکتار، WP_e: بهره‌وری اقتصادی آب بر حسب تومان بر متر مکعب می‌باشد (۲۶). بنابراین، این شاخص نشان می‌دهد که با مصرف هر متر مکعب آب، چند ریال محصول به دست می‌آید. بالاتر بودن این شاخص نیز نشان‌دهنده بهره‌وری اقتصادی بهتری است. در واقع این معیار نشان می‌دهد که هر واحد آبی که مصرف شده، در نهایت و پس از کسر هزینه‌های عملیاتی چقدر ارزش ریالی ایجاد کرده است. با توجه به پولی بودن این معیار، می‌توان از آن برای مقایسه محصولات مختلف نیز استفاده نمود و بنابراین از این جهت در تحلیل‌های اقتصادی بر معیار قبلی برتری دارد (۲۴). تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS انجام شد. همچنین مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون‌های تی‌تست و دانکن در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت.

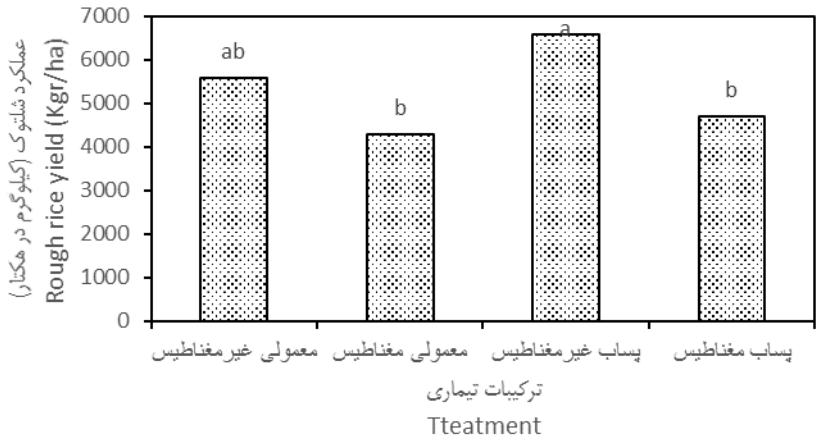
نتایج و بحث

عملکرد شلتوک

با توجه به جدول ۳ اثر متقابل دو فاکتور نوع آب و اصلاح آب و همچنین اثر ساده فاکتور نوع آب در سطح پنج درصد معنی‌دار نشد اما اثر ساده فاکتور اصلاح آب در سطح یک درصد معنی‌دار شد. نتایج مقایسه میانگین با استفاده از آزمون دانکن در سطح پنج درصد در جدول ۴ و شکل ۲ نشان داد که بیش‌ترین مقدار عملکرد شلتوک در تیمار پساب غیرمغناطیس به مقدار ۶۵۷۷ کیلوگرم در هکتار و کم‌ترین مقدار عملکرد شلتوک در تیمار آب معمولی مغناطیس و تیمار پساب مغناطیس که به ترتیب به مقدار ۴۲۹۷ و ۴۷۱۳ کیلوگرم در هکتار می‌باشد که نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۱۸ درصد افزایش و ۲۳ و ۱۶ درصد کاهش عملکرد شلتوک نشان می‌دهد. جدول ۴ نشان داد فاکتور نوع آب به تنهایی تاثیر معنی‌داری بر عملکرد شلتوک گیاه برنج نداشت اما اثر فاکتور اصلاح آب نشان داد که تیمار غیرمغناطیس نسبت به تیمار مغناطیس افزایش ۲۵ درصدی عملکرد شلتوک را داشت. طی پژوهشی معلوم شد استعمال پساب تصفیه‌شده باعث افزایش معنی‌دار عملکرد گندم در مقایسه با آب چاه می‌شود (۳۵). این در حالی است که نتایج پژوهشی دیگر عدم تأثیر معنی‌دار آبیاری با فاضلاب بر عملکرد دانه گندم را نشان می‌دهد (۱۶). گزارش شده است که تحت تأثیر میدان مغناطیسی اعمال شده بر روی بذر و آب، عملکرد بذر گیاهان مختلف کتان، گندم، عدس و نخود به ترتیب ۱۰، ۳۳، ۲۶/۹ و ۴۶/۶۲ درصد در مقایسه با تیمار شاهد افزایش یافت (۲۳). هم‌چنین نتایج آزمایش‌های آبیاری با آب مغناطیسی در اورگان آمریکا بر روی 4 مزارع یونجه نشان داد که عملکرد یونجه ۶۵ درصد افزایش یافت (۸). ماهشواری و گروال (۲۸) طی پژوهشی در گلخانه ی دانشگاه وسترن‌سیتی استرالیا مشاهده کردند که مغناطیس کردن آب شرب، پساب تصفیه شده و آب شور ۱۰۰۰ppm موجب افزایش معنی‌داری عملکرد نخود برفی در مقایسه با تیمار شاهد به ترتیب به مقدار ۷/۸، ۵/۹ و ۶ درصد شد. در این تحقیق مشاهده شده که استفاده از آب شور (۱۵۰۰ppm و ۳۰۰۰)، پساب تصفیه شده و آب شرب مغناطیسی برای آبیاری نخود اثر معنی‌داری بر عملکرد نداشت.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر نوع آب و اصلاح آب بر عملکرد شلتوک

Figure 2- Comparison of the effect of water type and water correction on yield of rough rice

عملکرد بیولوژیک

با توجه به جدول تجزیه واریانس ۳ اثر متقابل دو فاکتور نوع آب و اصلاح آب و همچنین اثر ساده فاکتور نوع آب و اثر ساده فاکتور اصلاح آب در سطح پنج درصد معنی‌دار نشد. نتایج مقایسه میانگین جدول ۴ نشان داد که اثر متقابل دو فاکتور نوع آب و اصلاح آب و همچنین اثر فاکتور نوع آب و فاکتور اصلاح آب هر یک به تنهایی تاثیر معنی‌داری بر عملکرد بیولوژیک گیاه برنج نداشت. عملکرد بیولوژیک نشان‌دهنده‌ی میزان کل ماده تجمع یافته در اندام هوایی گیاه در زمان برداشت می‌باشد (۱۴). یکی از دلایل کاهش عملکرد بیولوژیک در تیمار پساب تصفیه شده را می‌توان کوتاه شدن دوره رشد رویشی و زایشی دانست (۵۰). عملکرد زیست توده در تیمار آبیاری با فاضلاب در تمام مراحل رشد در مقایسه با شاهد (آب معمولی) بیشترین مقدار بود (۴). آبیاری با فاضلاب باعث افزایش معنادار عملکرد بیولوژیکی برنج در مقایسه با شاهد بود (۵۱). هم‌چنین اعمال میدان مغناطیسی بر روی آب آبیاری منجر به تغییر معنی داری بر روی عملکرد بیولوژیکی گیاه نخود نشد (۳۰). در آزمایشی عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک گندم نان تحت تیمار آب مغناطیسی حدود ۳۱، ۲۵ و ۲۸ درصد بیش‌تر از آب غیرمغناطیسی به دست آمد (۲۹). عبدالقدوس و هوزایین (۲) گزارش کردند آبیاری گیاهان عدس و گندم با آب مغناطیسی عملکرد بیولوژیک گیاه را به ترتیب ۲۵/۸۲ و ۳۵/۲۵ درصد افزایش داد.

شاخص برداشت

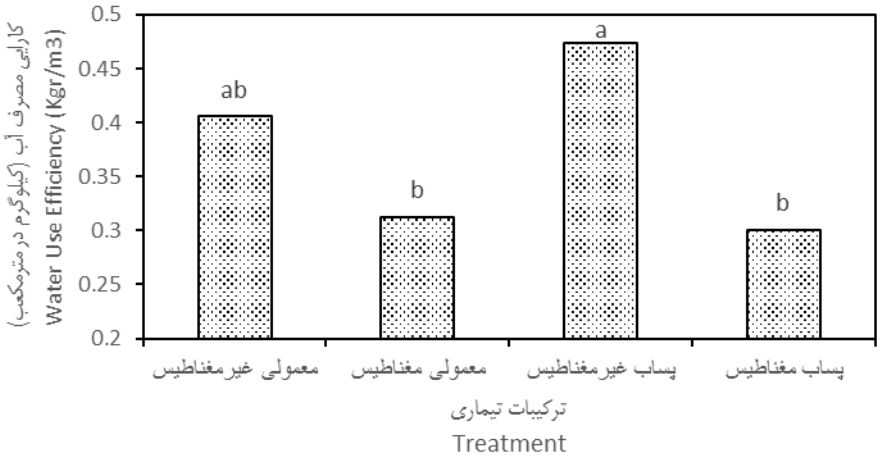
جدول ۳ اثر متقابل دو فاکتور نوع آب و اصلاح آب و همچنین اثر فاکتور نوع آب و اثر فاکتور اصلاح آب در سطح پنج درصد معنی‌دار نشد. نتایج مقایسه میانگین در جدول ۴ نشان داد که بیش‌ترین مقدار شاخص برداشت در تیمار پساب غیرمغناطیس ۲۶/۷ درصد و کم‌ترین مقدار شاخص برداشت در تیمار آب معمولی مغناطیس به مقدار ۱۹/۲ درصد می‌باشد که نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۳۰ درصد افزایش و ۶ درصد کاهش شاخص برداشت نشان می‌دهد. جدول ۴ نشان داد فاکتور نوع آب و فاکتور اصلاح آب هر یک به تنهایی تاثیر معنی‌داری بر شاخص برداشت گیاه برنج نداشت. شاخص برداشت نشان‌دهنده چگونگی تسهیم مواد پرورده بین سازه‌های رویشی و دانه است (۴۴). به عبارت دیگر این شاخص بیانگر میزان مواد فتوسنتزی اختصاص یافته به اندام اقتصادی گیاه نسبت به کل مواد تولیدی ذخیره شده در طول دوره رشد و نمو گیاه می‌باشد. طی پژوهشی معلوم شد میزان شاخص برداشت در تیمار آب سالم در حدود ۴۷/۶ درصد بیش‌تر از مقدار آن در تیمار پساب تصفیه شده بود (۱۰). ولی نژاد و همکاران (۴۸) طی پژوهشی به منظور تاثیر کاربرد پساب شاهین‌شهر اصفهان بر رشد و عملکرد ذرت، اثر معنی‌دار پساب بر افزایش شاخص برداشت نسبت به آب چاه گزارش کردند.

کارایی مصرف آب

با توجه به جدول ۳ اثر متقابل دو فاکتور نوع آب و اصلاح آب و همچنین اثر ساده فاکتور نوع آب در سطح پنج درصد معنی‌دار نشد اما اثر ساده فاکتور اصلاح آب در سطح یک درصد معنی‌دار شد. نتایج مقایسه میانگین در جدول ۴ نشان داد که بیش‌ترین مقدار کارایی مصرف آب در تیمار پساب غیرمغناطیس ۰/۴۷ کیلوگرم در متر مکعب و کم‌ترین مقدار کارایی مصرف آب در تیمارهای پساب مغناطیس و آب معمولی مغناطیس به ترتیب به مقدار ۰/۳۰ و ۰/۳۱ کیلوگرم در مترمکعب می‌باشد که نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۱۷ درصد افزایش و ۲۳ و ۲۶ درصد کاهش کارایی مصرف آب نشان می‌دهد (شکل ۳). جدول ۴ نشان داد فاکتور نوع آب به تنهایی تأثیر معنی داری بر کارایی مصرف آب گیاه برنج نداشت اما اثر فاکتور اصلاح آب نشان داد که تیمار غیرمغناطیس نسبت به تیمار مغناطیس افزایش ۳۰ درصدی کارایی مصرف آب را داشت.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر نوع آب و اصلاح آب بر کارایی مصرف آب

Figure 3- Comparison of the effect of water type and water correction on water use efficiency

ماهشواری و گروال (۲۸) طی پژوهشی در گلخانه‌ی دانشگاه وسترن سیتی‌استرالیا مشاهده کردند که استفاده از پساب تصفیه شده و آب شرب مغناطیسی برای آبیاری نخود اثر معنی‌داری بر کارائی مصرف آب نداشت. قنبری و همکاران (۲۱) در پژوهشی در سیستان و بلوچستان نشان دادند که آبیاری با پساب، کارایی مصرف آب گندم را نسبت به تیمار شاهد افزایش داده است. با عبور دادن آب از یک میدان مغناطیسی، جذب املاح معدنی، نمک‌های مفید و عناصر موجود در آب و خاک افزایش می‌یابد. هم‌چنین به دلیل منظم‌تر شدن مولکول‌های آب و اشغال فضای کمتر توسط آن‌ها و افزایش توانائی جذب آب توسط گیاه، کارایی مصرف آب نیز افزایش می یابد (۳). استفاده از آب مغناطیس شده برای آبیاری سبب افزایش کارایی مصرف آب گیاه به میزان ۹درصد در مقایسه با گیاهان آبیاری شده با آب معمولی شد (۲۵).

بهره‌وری فیزیکی آب

با توجه به جدول ۳ اثر متقابل دو فاکتور نوع آب و اصلاح آب و همچنین اثر ساده فاکتور نوع آب در سطح پنج درصد معنی‌دار نشد اما اثر ساده فاکتور اصلاح آب در سطح یک درصد معنی‌دار شد. نتایج مقایسه میانگین در جدول ۴ نشان داد که بیش‌ترین مقدار بهره‌وری فیزیکی آب در تیمار پساب غیرمغناطیس ۰/۴۶ کیلوگرم در مترمکعب و کم‌ترین مقدار بهره‌وری فیزیکی آب در تیمارهای پساب مغناطیس و آب معمولی مغناطیس به ترتیب به مقدار ۰/۲۹ و ۰/۳۱ کیلوگرم در مترمکعب می‌باشد که نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۱۸ درصد افزایش و ۲۲ و ۲۵ درصد کاهش بهره‌وری فیزیکی آب نشان می‌دهد. جدول ۴ نشان داد فاکتور نوع آب به تنهایی تاثیر معنی‌داری بر بهره وری فیزیکی آب گیاه برنج نداشت اما اثر فاکتور اصلاح آب نشان داد که تیمار غیرمغناطیس نسبت به تیمار مغناطیس افزایش ۳۰ درصدی بهره‌وری فیزیکی آب را داشت. کای و روزگرانت (۱۳) به بررسی بهره‌وری آب در سطح جهانی پرداختند، براساس پژوهش آن‌ها دامنه شاخص بهره‌وری آب برای برنج از ۰/۶–۰/۱۵ کیلوگرم بر مترمکعب در تغییر می‌باشد و در مورد سایر غلات (به جز برنج) محدوده این شاخص ۲/۴–۰/۲ کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشد. در مطالعه اسماعیلی خوشمردان (۱۹) متوسط بهره‌وری آب در سطح جهان برای برنج ۰/۳۹ برآورد شد. همچنین بر اساس پیش‌بینی صورت گرفته تا سال ۲۰۲۵ میزان متوسط بهره‌وری آب در تولید برنج به میزان ۰/۵۲ کیلوگرم بر متر مکعب افزایش خواهد یافت. پایین بودن بهره‌وری برنج به این دلیل می‌باشد که برنج در مقایسه با سایر غلات در اکثر نقاط جهان آب بیشتری مصرف می‌کند. متوسط بهره‌وری آب در تولید برنج و سایر غلات در صحرای آفریقا دارای پایین‌ترین حد ممکن می‌باشد این شاخص برای برنج ۰/۱۴ کیلوگرم بر متر مکعب و (از ۰/۱۰ تا ۰/۲۵) و در مورد سایر غلات ۰/۳ کیلوگرم بر متر مکعب (از ۰/۱ تا ۰/۶) محاسبه گردیده است. متوسط شاخص بهره‌وری آب برای برنج در کشورهای توسعه‌یافته ۰/۴۷ کیلوگرم بر متر مکعب و برای کشورهای درحال توسعه ۰/۳۹ کیلوگرم بر متر مکعب می‌باشد. تغییرات در مقدار این شاخص را به طور عمده به عوامل اقلیم، مدیریت آبیاری و مدیریت کود نسبت دادند. بر اساس نتایج تحقیق صورت گرفته، آبیاری گیاهان آفتابگردان با پساب تصفیه شده شهری، بهره وری مصرف آب را ۴۰ درصد نسبت به تیمار آب چاه افزایش داد (۹). هم‌چنین نتایج آزمایش صورت گرفته نشان داد آبیاری دو رقم متفاوت سیب زمینی (مارفونا و نویتا) با پساب با روش قطره‌ای زیرسطحی (عمق ۹۵ سانتی متری) در مقایسه با شاهد بهره‌وری مصرف آب را به ترتیب ۷/۸۱ و ۳/۸۴ کیلوگرم بر متر مکعب افزایش داد (۳۳). تحقیقی نشان داد روند تغییرات نتایج در این دو صفت در تیمارهای مختلف بهره‌وری مصرف نشان داد که بیش‌ترین مقدار این

www.SID.ir

Archive of SID

صفت در تیمار ۱۰۰درصد پساب بود و کم‌ترین مقدار در تیمار شاهد مشاهده شد (۳۷). نتایج آزمایش گلخانه‌ای نشان داد عبور آب با شوری ۱۱۵۵ و ۹۵۵۵ میلی‌گرم در لیتر و پساب تصفیه شده از میدان مغناطیسی باعث افزایش بهره‌وری مصرف آب در گیاه کرفس به میزان۱۱، ۲۴ و ۱۲ درصد (به ترتیب)، نسبت به تیمار شاهد شد (۲۸). در پژوهش گلخانه‌ای دیگر، بهره‌وری مصرف آب در گیاه ذرت تحت تیمار آب مغناطیسی ۱/۲۸ کیلوگرم در مترمکعب نسبت به تیمار غیرمغناطیسی افزایش داشت (۳۶). استفاده از آب مغناطیسی در عملیات آبیاری، سبب افزایش عملکرد گیاه شده و در نهایت بهره‌وری مصرف آب، افزایش می‌یابد (۱۷). هم‌چنین عبور آب از یک میدان مغناطیسی سبب افزایش جذب آب می‌شود (۳). بنابراین در شرایط آبیاری با آب مغناطیسی نسبت به آب معمولی، گیاه به ازای مصرف واحد آب آبیاری معین، آب بیشتری جذب و محصول بیشتری تولید می کند که نتیجه‌ی آن افزایش بهره‌وری مصرف آب می‌باشد. ماهشواری و گروال (۲۸) در گزارشات خود بیان کردند استفاده از آب مغناطیسی برای آبیاری سبب افزایش بهره‌وری مصرف آب گیاهان نخود برفی و کرفس شد.

بهره‌وری اقتصادی آب

با توجه به جدول ۳ اثر متقابل دو فاکتور نوع آب و اصلاح آب و همچنین اثر ساده فاکتور نوع آب در سطح پنج درصد معنی‌دار نشد اما اثر ساده فاکتور اصلاح آب در سطح یک درصد معنی‌دار شد. نتایج مقایسه میانگین در جدول ۴ نشان داد که بیش‌ترین مقدار بهره‌وری اقتصادی آب در تیمار پساب غیرمغناطیس ۲۹۹۲ تومان در متر مکعب و کم‌ترین مقدار بهره‌وری اقتصادی آب در تیمارهای پساب مغناطیس و آب معمولی مغناطیس به ترتیب به مقدار ۱۸۹۹ و ۱۹۷۱ کیلوگرم در متر مکعب می‌باشد که نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۱۷ درصد افزایش و ۲۳ و ۲۶ درصد کاهش بهره‌وری اقتصادی آب نشان می دهد. جدول ۴ نشان داد فاکتور نوع آب به تنهایی تأثیر معنی‌داری بر بهره‌وری اقتصادی آب گیاه برنج نداشت اما اثر فاکتور اصلاح آب نشان داد که تیمار غیرمغناطیس نسبت به تیمار مغناطیس افزایش ۳۰ درصدی بهره‌وری اقتصادی آب را داشت. مختاری (۳۲) بررسی کرد که فعالیت‌های باغداری دارای سودآوری قابل توجه و بالابودن بازده ریالی هر متر مکعب آب در مقایسه با فعالیت‌های زراعی می‌باشد. عمق فاجعه در خصوص محصول برنج که کشت اصلی کشورهای پرباران جنوب شرقی آسیاست عمیق‌تر می‌باشد. البته در حال حاضر در اراضی بالادست سد درودزن که بالغ بر ۱۰۰۰۰ هکتار از اراضی آن زیرکشت محصول برنج قرار دارد، تمایلات جدیدی برای توسعه باغات سیب آغاز گردیده است. هرکدام از باغداران، هر هکتار باغ سیب موجود را حدود ۶ تا ۸ میلیون تومان اجاره می‌دهند در حالی که عایدی بهره‌برداران برنج کمتر از این مقدار می‌باشد.

جدول ٤- مقایسه میانگین اثر نوع آب و اصلاح آب بر روی عملکرد، شاخص‌برداشت، کارایی مصرف آب و شاخص‌های بهره‌وری

Table 4- Means comparison of effect water type and water correction on the yield, harvest index, water use efficiency and productivity indicators

		عملکرد شلتوک (کیلوگرم در هکتار) Yield of rough rice (Kg/ha)	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار) Biological yield (Kg/ha)	شاخص برداشت (درصد) Harvest index (%)	کارایی مصرف آب (کیلوگرم در متر مکعب) WUE (Kg/m^3)	بهره‌وری فیزیکی (کیلوگرم در متر مکعب) WP (I+P) (Kg/m^3)	بهره‌وری اقتصادی (تومان در متر مکعب) BPD ($Toman/m^3$)
نوع آب (A) Water water	آب معمولی Common water	4946.5 a	25489 a	19.85 a	0.36 a	0.35 a	2266.5 a
	پساب Waste water	5645.5 a	23503a	23.84 a	0.39 a	0.38 a	2445.3 a
اصلاح آب (B) Water correction	غیرمغناطیسی Non magnetic	6086.5 a	26141 a	23.60 a	0.44 a	0.43 a	2777 a
	مغناطیسی Magnetic	4505.5 b	22852 a	20.09 a	0.31 b	0.30 b	1935 b
A×B	OC	5595 ab	27754 a	20.47 ab	0.41 ab	0.39 ab	2562 ab
	MC	4297 b	23224 a	19.2 b	0.31 b	0.31 b	1971 b
	OW	6577 a	24527 a	26.7 a	0.47 a	0.46 a	2992 a
	MW	4713 b	22479 a	20.97 ab	0.30 b	0.29 b	1899 b

اعداد با حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار (P<0.05) نمی‌باشند

Numbers followed by the same letter are not significantly differentns (P<0.05)

www.SID.ir

Archive of SID

وردی نژاد و همکاران (۴۸) با بررسی و برآورد بهره‌وری آب کشاورزی در حوزه آبریز زاینده‌رود (شبکه آبیاری سمت راست آبشار) نتیجه گرفتند که براساس هزینه‌های تولید و آب و قیمت فروش محصول پایه گندم، متوسط بهره‌وری اقتصادی آب (سود ناخالص) به ازای واحد آب مصرفی برای سال زراعی ۸۶-۱۳۸۵، ۱۰۶۰/۸ ریال بر متر مکعب و برای سال زراعی ۸۷-۱۳۸۶، ۲۳۹۲/۹ ریال بر متر مکعب محاسبه شد. دریجانی و همکاران (۱۵) به منظور بررسی وضعیت شاخص‌های بهره‌وری مصرف آب در مزارع برنج شهرهای مختلف استان مازندران پرداخته است. در شاخص سود ناخالص به ازای هر مترمکعب آب مصرفی، فریدون‌کنار و آمل با ۴۱۱ و ۳۹۵ بیشترین مقدار را دارا می‌باشند و نشان دهنده‌ی آن است که کشاورزان این شهرها بیشترین سود ناخالص از هر متر مکعب آب مصرفی را داشته‌اند. سوادکوه و جویبار با ۱۷۷ و ۲۵۰، کمترین مقدار را دارا می‌باشند.

نتیجه‌گیری

این تحقیق برای بررسی و مطالعهٔ بیشتر دو روش مدیریتی زهکشی کنترل شده و آبیاری زیرزمینی برای کشت برنج با پساب تصفیه‌خانه شهری گرگان انجام شد. با توجه به نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل ترکیبات تیماری، پساب غیرمغناطیس بهترین ترکیب تیماری در این آزمایش شناخته شد. نتایج مقایسه میانگین فاکتور نوع آب نشان داد که بین تیمار پساب و آب معمولی در پارامترهای اندازه گیری تفاوت معنی‌داری ندارد. فاکتور اصلاح آب نشان داد که تیمار غیرمغناطیس در پارامترهای عملکرد شلتوک، کارایی مصرف آب، بهره‌وری فیزیکی آب و بهره‌وری اقتصادی آب نسبت به تیمار مغناطیس برتری داشت اما در پارامترهای عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت اثر معنی‌دار مشاهده نشد. براساس نتایج این تحقیق می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از پساب تصفیه‌خانه شهری گرگان برای کشت گیاه برنج به عنوان آب آبیاری، علاوه بر امکان کاهش برداشت از منابع آبی با کیفیت بالا، هزینه‌های مصرف کود (شیمیایی و آلی) در تولید محصول را نیز کاهش می‌دهد. همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که گیاه برنج از نظر آبیاری نیازی به ایجاد یک لایه ایستابی در سطح خاک ندارد و در مواقع خشکسالی با داشتن آب مطمئن و حتی استفاده از روش‌های دیگر آبیاری می‌توان ضمن حفظ عملکرد در شرایط زارع، با صرفه‌جویی در مصرف آب، سطح بیشتری را از نظر آبیاری به خود اختصاص داد و یا آب را به مصارف دیگر رساند. در مجموع اگرچه نتایج تحقیق حاضر نشان داد که فاکتور مغناطیسی تاثیری بر بهبود عملکرد شلتوک، کارایی مصرف آب، بهره وری فیزیکی آب و بهره‌وری اقتصادی آب در شرایط آبیاری زیرزمینی نداشت. با این‌حال بایستی توجه داشت که نتایج این تحقیق تنها توسط یک مدل دستگاه مغناطیسی بدست آمده است. بنابراین این احتمال وجود دارد که استفاده از مدل‌های مختلف دستگاه‌های مغناطیسی به نتایج متفاوتی منجر گردد. این احتمال نیز وجود دارد که عبور آب آبیاری با ترکیبات متفاوت (درصد کاتیون و آنیون‌های مختلف) از بین دستگاه مغناطیس بتواند به نتایج متفاوتی بر روی گیاهان زراعی دیگر و یا ارقام مختلف یک گیاه زراعی بیانجامد.

منابع

1- Abdul Qados A.M.S., and Hozayn M. 2010. Response of growth, yield, yield components and some chemical constituents of Flax for irrigation with magnetized and tap water. World Applied Sciences Journal 8(5): 630-634.
2- Abdul Qados A.M.S., and Hozayn M. 2010. Magnetic water technology, a navel tool to increase growth, yield and chemical constituents of Lentil (*Lens esculenta*) under greenhouse condition. American-Eurasian J. Agric. And Environ. Sci., 7(4): 457-462.
3- Ahmadi P. 2011. Effect of magnetic field on water and magnetic fields. First International Conference on Plant, Water, Soil and Air Modeling, International Center for Advanced Science and Technology and Environmental Sciences, University of Bahonar, Kerman.
4- Alizadeh A., Bazari M.E., Velayati S., Hasheminia M., and Yaghmaie A. 2001. Irrigation of corn with wastewater. In: Ragab R, Pearce G, Changkim J, Nairizi S and Hamdy A (Eds), pp. 147-154. ICID International Workshop on Wastewater Reuse and Management. Seoul, South Korea.
5- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., and Smith M. 1998. Crop evapotranspiration. Irrigation and Drainage Paper. No. 56. FAO. United Nations, Rome, Italy.
6- Amiri E. 2006. Investigation of water balance and rice yield under irrigation management whit model, (modeling and field experiments). Ph.D Thesis. Tehran Islamic Azad University. Iran.
7- Asadi R., Nassiri M,. and Mohammadian M. 2008. Optimum management of water use in rice (dehydration conditions) Sustainable evening publications. 12 pages. (In Persian)
8- Atak C., Danilov V., Yurttas, B., Yalçn S., Mutlu D., and Rzakoulieva A. 1997. Effects of magnetic field on soybean (*Glycine max* L. Merrill) seeds. Com JINR. Dubna 1-13.
9- Badalians Gholikandi G., Jamshidi SH., and Abrishami A. 2015. Impact Assessment of Cultivating Sunflower (*Helianthus annus* L.) by Treated Municipal Wastewater on Growth, Yield and Soil Properties. Journal of Water Reuse 2(1): 27-40. (In Persian)

www.SID.ir

Archive of SID

10- Badiei A., Karandish F., and Tabatabaei SM. 2016. The Influence of Irrigation with Raw and Treated Municipal Wastewater on Wheat Yield and Microbial Characteristics of Soil and Plant. Journal of Water and Soil Science 26(4/2): 215-228. (In Persian with English abstract)
11- Bouman B.A.M., Lampayan R.M., and Tuong T.P. 2007. Water management in irrigated rice: coping with water scarcity. Los Baños (Philippines): International Rice Research Institute, 54 p.
12- Cabangon R.J., Toung T.P., and Abdullah N.B. 2002. Comparing water input and water productivity of transplanted and direct-seeded rice production systems. Agriculture Water Management 57: 11–31.
13- Cai X., and Rosgrant M.W. 2003. World water productivity, current situation and future option, CAB International.
14- Carandish F. 2014. Analysis of geomorphic methods in spatial monitoring of salinity and sediment condition of soils under irrigation with urban refined wastewater. Applied Soil Research 2(1): 115-125. (In Persian)
15- Darjani A., Ahmadi Kaliji S., and Taboli H. 2012. Calculation and Analysis of Nonparametric Indicators of Water Utilization Efficiency (Case Study: Shalakian Province of Mazandaran Province). Agricultural Economics Research 4(3): 207-219. (In Persian)
16- Day AD., Taher FA., and Katterman FRH. 1975. Influence of treated municipal wastewater on growth fiber, acid soluble nucleotide, protein and amino acid content in wheat grain. Journal of Environmental Quality 4(2): 167-169.
17- Durate Diaz C.E., Riquence J.A., Sotolongo B., Portunodo M.A., Quintana E.O., and Perez R. 1997. Effects of magnetic treatment of irrigation water on the tomato crop. Hortic.Abst. 69: 494.
18- Esmaeelnia S., Liaghat A., Heydari N., and Akram M. 2005. A Lysimetry Study of Water Table Management Methods in Tomato Irrigation. Journal of Agricultural Engineering Research 6: 23-113-124. (In Persian with English abstract)
19- Esma'ili Khoshmardan A. 2018. Investigating the water productivity and pathology of its management in the agricultural sector of the country. Office of Research and Production Policies.
20- Farshi A., Shariati M.R., Jarallahi R., Ghaemi M.R., Shahabi Far. M., and Tulaei M. 1977. Estimated Water Requirements for Major Agronomic Plants in Iran. Volume 1: Crops. Agricultural Education Publishing. (In Persian)
21- Ghanbari A., Abedi Kupaii J., and Tayyei Samirmi J. 2007. Effect of irrigation with urban treated wastewater on wheat yield and quality and some soil characteristics in Sistan region. Journal of Soil and Water Sciences (Science and Technology of Agriculture and Natural Resources). 10(4): 59-75. (In Persian with English abstract)
22- Hadian S.H., and GurbanNejad A. 2011. Optimum water consumption management in Shalizar. Publisher of Mazandaran Agriculture Promotion Coordination. 23 pages. (In Persian)
23- Hozayn M., and Abdul Qados A.M.S. 2010. Irrigation with magnetized water enhances growth, chemical constituent and yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.). Agriculture and Biology Journal of North America 1(4): 671-676.
24- Ishraqi F., and Ghasemian S.D. 2012. Economic Productivity of Water Consumption in Golestan Province. Journal of Water Research in Agriculture 26: 3-317-322. (In Persian)
25- Khanderroyan M. 2011. Effect of continuous irrigation with magnetic water on water use efficiency and corn yield. Master's degree in Irrigation and Drainage. Zanjan University. (In Persian with English abstract)
26- Kiani A.R. 2015. Guidelines for determining water productivity in farms. Technical and Engineering Research Division, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Promotion Organization, Gorgan, Iran, 16 pages. (In Persian)
27- Kiziloglu F.M., Turan M., Sahin U., Kuslu Y., and Dursun A. 2008. Effects of untreated and treated wastewater irrigation on some chemical properties of cauliflower (*Brassica olerecea* L.var. botrytis) and red cabbage (*Brassica olerecea* L. var. rubra) grown on calcareous soil in Turkey. Agricultural Water Management 95: 716-724.
28- Maheshwari B.L., and Grewal H.S. 2009. Magnetic treatment of irrigation water: Its effect on vegetable crop yield and water productivity. Agricultural water Management 96: 1229-1236.
29- Mahmoud H., and Amira M.S. 2010. Magnetic water application for improving wheat (*Triticum aestivum* L.) crop production. Agriculture and Biology Journal of North America 1(4): 677-682.
30- Mahmoudi Gh., Ghanbari A., Rastgoo M., Gholi Zade M., and Tahmasebi l. 2016. Evaluating the Magnetic Field effects on Growth and Yield of Chickpea (*Cicer arietinum*) under Mashhad Climatic Conditions. Iranian Journal of Field Crops Research 14(2): 380-391. (In Persian with English abstract)
31- Mehrabi Delshad M., Kouchakzadeh M., and Ebrahimi K. 2013. Laboratory Study of magnetic effect on saline water. In: 9th International River Engineering Conference, 22-24 January, Shahid Chamran University, Ahwaz, Iran.
32- Mokhtari D. 2007. A Survey on Rice Culture Development in Agricultural Lands of Fars Province and its Economic and Environmental Consequences. Development and productivity. 2(5): 9 p.
33- Najafi P., Mousavi S.F., and Faizi M. 2005. Effects of using municipal wastewater in irrigation of potato. Journal

www.SID.ir

Archive of SID

of Agricultural Sciences and Natural Resources 12(1): 61-70. (In Persian with English abstract)
34- Nasiri M., and Niknejad Y. 2011. Causes of damage in rice fields. Varshwa Publishing, 83 p. (In Persian)
35- Nazari M.A., Shariatmdari H., Afyooni M., Mobily M., and Rahylei Sh. 2007. The Effect of Industrial Wastewater and Sewage Utilization on Some Concentrations of Wheat, Barley and Maize. Journal of Agricultural Science and Technology 10(3): 97-110. (In Persian)
36- Nikbakht J., Khandeh Rouyan M., Tavakoli A., and Tahheri M. 2014. The effect of magnetic water deficit on yield and water use efficiency of corn. Journal of Water Research in Agriculture 24: 4-551-563. (In Persian)
37- Nikbakht J., and Rezaei E. 2017. Effect of different levels of wastewater and magnetized water on yield and water use efficiency in corn irrigation and some physical properties of soil. Iran Water and Soil Research, 84(1): 63-75.
38- Pena F. 2011. Social problems with the agricultural use of urban wastewater. Chapter 10, part II: Water Resources in Mexico, 145-154.
39- Pescod M.B. 1992. Wastewater treatment and use in agriculture. FAO, Irrigation and Drainage paper, No. 47, Rome, Italy.
40- Pirdashty H. 1999. Investigation of the process of remobilization of dry matter, nitrogen and determination of growth indices of rice cultivars in different dates of masters dissertation. Tarbiat Modares University of Tehran, 158 pages. (In Persian)
41- Qin J., Hu F., Zhang B., Wei Z., and H. Li. 2006. Role of straw mulching in noncontinuously flooded rice cultivation. Agriculture Water Management 83: 252–260.
42- Rahimian H., and Banayan M. 1998. Physiologicalprinciples of plant breeding. Translation PublishingUniversity of Mashhad.
43- Ran C., Hongwei Y., Jinsong H., and Wanpeng Z. 2009. The effects of magnetic fields on water molecular hydrogen bonds. Journal of Molecular.
44- Sinclair TR., Bennett JM., and Muchow RC. 1990. Relative sensitivity of grain yield and biomass accumulation to drought in field grown maize. Crop Science 30: 690-693.
45- Singh R.P., and Agrawal M. 2010. Variations in heavy metal accumulation, growth and yield of rice plants grown at different sewage sludge amendment rates. Ecotoxicology and Environmental Safety 73: 632-641.
46- Singh P.K., Deshbhratar P.B., and Ramteke D.S. 2012. Effects of sewage wastewater irrigation on soil properties, crop yield and environment. Agricultural Water Management 103: 100-104.
47- Tuong T.P., and Bouman B.A.M. 2003. Rice production in water scarce environments. p.53-67. In J.W. Kijne, R. Barker and D. Molden (eds) Water productivity in agriculture.
48- Verdi Nezhad M., Mostafa Zadeh B., and Mirmohammadi Meybodi S.A.M. 2005. Effect of treated Shahin Shahr effluent on corn and chemical properties of corn under irrigation and surface irrigation systems. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources 9(1): 103-115. (In Persian with English abstract)
49- Xiao-feng P., and Bo D. 2008. The changes of macroscopic features and microscopic structures of water under influence of magnetic field. Physica B, 403: 3571-3577.
50- Yazar A., Gokcel F., and Sezen MS. 2009. Corn yield response to partial rootzone drying and deficit irrigation strategies applied with drip system. Plant Soil Environment 55(11): 494‑503.
51- Yoon C.G., and Kwun S.K. 2001. Feasibility study of reclimed wastewater irrigation to paddy rice culture in Korea. In: Ragab R, Pearce G, Changkime J, Nairizi S., and Hamdy A (Eds) pp. 127-136. ICID International Workshop on wastewater Reuse and management. Seoul. South Korea.
52- Yousefian M., Arabzadeh B., Mosayee Sadaei S., Mohammadi Nashlili E. 2014. Effect of different levels of irrigation on yield, quantitative and qualitative properties of two rice varieties (Tarom and Shiroudi). Agriculture (Research and Construction) 104: 69-75. (In Persian)
53- Zolfagharan A., and Haghayeghi Moghadam A. 2008. Impact of domestic wastewater on canola yield and soil properties in surface irrigation. In: 2th seminar on strategies for improving irrigation systems, 22 May, Karaj, Iran.
54- Zolfaghari Karbasak F., Moghaddamnia A., Jabari M., and Noori R. 2009. Surveying importance of recycling and using of wastewater in supplying water resources. In: Proceedings of the regional conference on drought management and exploitation of unconventional water in agriculture, Bushehr, Iran, pp. 502-510. (In Persian)

www.SID.ir

Journal of Water and Soil
Vol. 33, No. 6, Jan-Feb. 2020, p. 885-896

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۳، شماره ۶، بهمن – اسفند ۱۳۹۸، ص. ۸۹۶-۸۸۵

The Effect of Sub-irrigation on Rice Yield with Refined Municipal Wastewater

L. Ghorbaniminaei[1]- M. Zakerinia[2]*- A. Rezaeiasl[3]- H.R. Mirkarimi[4]

Received: 17-03-2019
Accepted: 15-12-2019

Introduction: Due to limited water resources in the country, the use of new methods of irrigation with low water consumption seems necessary. Subsurface irrigation is one of the few methods to increase crop water productivity. Also, in order to cope with the water crisis, unconventional water can be used, in other words, poor water quality is being applied. There are several methods for improving the quality of water in the agriculture section, one of which is the use of magnetic fields. The purpose of this study was to investigate the effect of groundwater table management on reducing water consumption and to investigate the possibility of sub-irrigation (drainage controlled) with magnetized wastewater of Gorgan urban refinery on rice yield.

Materials and Methods: This study was conducted from May to September of 2018 in Gorgan Agricultural and Natural Resources University. The experiments were carried out in a lysimeter with a diameter of 30cm and a height of 50cm. The experiment was conducted as a factorial based on randomized complete block design with three replications. Treatments included water type factor (ordinary water (C) and sewage (W)) and water correction factor (magnetic (M) and non-magnetic (O)). To control the water level, two water tanks were used, one as a stabilizer water table and another to measure the amount of water used. Part of the ordinary water and wastewater was magnetized using a DC magnetic field generator with magnetic one tesla field intensity. Underground irrigation was then carried out on the soil columns in which the rice plant was cultivated so that the water table depth was fixed at 5 cm from the soil surface. The lysimeters were irrigated with ordinary water for one week, in the second week of treatments were applied. At the end of the growing season, traits such as rice husk yield, biological yield, harvest index, water use efficiency, physical water productivity and economic water productivity were determined. The measured data were analyzed using SPSS. Also, comparisons of means were performed by using the t-test and Duncan tests at 5% level of probability.

Results and Discussion: The results of the comparison mean water type factor showed that there was no significant difference between the wastewater and the normal water in the parameters of the measurements. Correction Water showed that non-magnetic water was significant in rough rice yield, water use efficiency, water physical productivity, and water economic efficiency compared to magnetite, but on biological yield and harvest index had not a meaningful effect. Also, the comparison of the mean of water type and correction water method on all measured parameters indicated that the nonmagnetic wastewater was superior to the rest of the treatments at the 5% level.

Conclusion: This study was conducted to investigate and further study two methods of controlled drainage management and underground irrigation for rice cultivation with the Gorgan municipal wastewater treatment plant. Based on the results of the comparison of mean interaction effects of treatment compounds, non-magnetic effluent was identified as the best treatment composition in this experiment. According to the results of this research, we can say: Rice cultivation in terms of irrigation does not require the formation of a standing water layer on the surface of the soil. Also, by using wastewater of Gorgan urban refinery for irrigation water, in addition to reducing the harvesting of high-quality water resources, the cost of fertilizer use (chemical and organic) in the production of crops can be reduced. Overall, the results of this study showed that the magnetic factor had no effect on the improvement of rough rice yield, water use efficiency, physical productivity water and economic efficiency of water under underground irrigation conditions. However, it should be noted that the results of this research are only It is obtained by a magnetic device model. Therefore, it is possible that the use of different models of magnetic devices results in different results. It is also probable that the passage of irrigation water with different compositions (percentage of cations and various anions) from the magnetometer can lead to different results on other crops or cultivars of a crop.

Keywords: Controlled drainage, Magnetism wastewater, Rice yield, Sub-irrigation, Urban wastewater treatment

1 and 2- M.Sc. Candidate of Water Engineering and Associate Professor, Department of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: mzakerinia@gmail.com)
3- Assistant Professor, Department of Mechanical Engineering of Biosystem, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
4- Ph.D. Student of Plant Breeding, Islamic Azad University, Science and Research Branch of Tehran, Tehran, Iran

www.SID.ir