تحقیقات آب و خاک ایران، دورهٔ ۴۶، شمارهٔ ۲، تابستان ۱۳۹۴ (ص ۱۸۲-۱۷۳)

استفادهٔ تلفیقی از آب شور و غیر شور در کشت سورگوم و آفتابگردان در دشت سیستان

سعید قائدی[۱]، پیمان افراسیاب[۲*]، عبدالمجید لیاقت[۳]، عیسی خمری[۴]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب دانشگاه زابل

۲. دانشیار و عضو هیئت علمی گروه مهندسی آب دانشگاه زابل

۳. استاد و عضو هیئت علمی گروه آبیاری دانشگاه تهران

۴. استادیار و عضو هیئت علمی گروه زراعت دانشگاه زابل

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۳/۳۰ ـ تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۹/۲۴)

چکیده

طی سالیان اخیر محققان به استفادهٔ تلفیقی از آب شور و غیر شور، از طریق اختلاط آب‌ها قبل از آبیاری‌ها یا استفادهٔ تناوبی از آن‌ها در طول فصل کشت، توجه بسیار کرده‌اند. پژوهش حاضر به منظور بررسی اثر سطوح مختلف کاربرد آب شور و غیر شور و اثر تلفیق آن‌ها بر عملکرد سورگوم و آفتابگردان و تأثیر روش‌های مذکور بر میزان تجمع املاح در اعماق مختلف خاک انجام گرفت. بدین منظور، آزمایشی در قالب طرح بلوک کاملاً تصادفی با شش تیمار و سه تکرار (در مجموع ۳۶ کرت) طی سال‌های ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲ در مزرعهٔ تحقیقاتی دانشگاه زابل انجام شد. خاک مزرعهٔ آزمایشی در طول ناحیهٔ ریشه بافت لوم رسی با میانگین شوری ۱٫۳۶ دسی‌زیمنس بر متر داشت. تیمارهای آزمایش‌شده شامل تیمار شاهد (۱۰۰٪ آب غیر شور با شوری ۱٫۲ دسی‌زیمنس بر متر)، کاربرد دوسوم آب شور، یک‌دوم آب شور، یک‌سوم آب شور، ۹۰ درصد آب شور، و ۱۰۰ درصد آبیاری با آب شور با شوری ۱٫۲ دسی‌زیمنس بر متر بود. در هر یک از تیمارهای تلفیقی مذکور، ابتدا از آب شور برای خیس‌کردن زمین و سپس از آب غیر شور برای تکمیل آبیاری استفاده شد. شاخص‌های زراعی بررسی‌شده، شامل وزن خشک ساقه، وزن خشک برگ، وزن خشک اندام هوایی، ارتفاع بوته‌ها، و شاخص سطح برگ بودند. نتایج نشان داد در هر دو کشت، پس از تیمار شاهد، تیمار کاربرد یک‌سوم آب شور بهترین عملکرد را از نظر صفات فیزیولوژیکی گیاه و همچنین تعدیل شوری در نیمرخ خاک نسبت به سایر تیمارها دارد. هرچند اختلاف تیمار کاربرد یک‌سوم آب شور با تیمارهای یک‌دوم و دوسوم آب شور در قالب صفات برای آفتابگردان از نظر آماری ($p \leq 0/05$) معنادار نبود، در مورد سورگوم میانگین وزن خشک و شاخص سطح برگ در تیمار یک‌سوم آب شور تفاوت معناداری ($p \leq 0/05$) با تیمار شاهد نداشت. همچنین، تیمار کاربرد یک‌سوم آب شور در هر دو کشت پس از تیمار شاهد کمترین میزان هدایت الکتریکی عصارهٔ اشباع را در لایه‌های ۰ تا ۲۰ و ۲۰ تا ۴۰ سانتی‌متری (حدود ۲٫۵ دسی‌زیمنس بر متر) و لایهٔ ۴۰ تا ۶۰ سانتی‌متری (کمتر از ۲ دسی‌زیمنس بر متر) نسبت به سایر تیمارها داشت. با توجه به نتایج این تحقیق، به نظر می‌رسد این‌گونه تلفیق آب شور و غیر شور، با هر نسبتی، کارایی بالایی در کاهش تأثیر تنش شوری بر گیاه و تعدیل املاح در نیمرخ خاک دارد.

کلیدواژگان: تعدیل املاح، تلفیق آب شور و غیر شور، زابل، صفات فیزیولوژیکی، عملکرد آفتابگردان، عملکرد سورگوم.

مقدمه

منابع آب غیر شور در مناطق خشک و نیمه‌خشک محدود بوده و پیوسته در حال کاهش است (Jiang *et al*., 2012). بنابراین، کشاورزان مجبور به استفاده از آب‌های نامتعارف، نظیر آب‌های شور و لب‌شور می‌شوند. آبیاری مزارع با این قبیل آب‌ها حتی برای گیاهان مقاوم به شوری نیز، علاوه بر کاهش محصول، مشکلات ناشی از شور و نامرغوب‌شدن اراضی را در پی دارد (Abdelgawad *et al*., 2005). لزوم مدیریت این دو مشکل به طرح و ارائهٔ راهکارهای فراوان منجر شده است. کاهش دور آبیاری و استفاده از آبیاری قطره‌ای، به منظور مرطوب‌نگه‌داشتن خاک منطقهٔ ریشه برای مقابله با پتانسیل اسمزی، مصرف آب بیشتر در آبیاری، به منظور آب‌شویی خاک منطقهٔ ریشه، کاشت ارقام گیاهی مقاوم به شوری، و تلفیق آب شور و غیر شور از آن جمله است. تلفیق آب شور و غیر شور به معنای استفادهٔ توأمان از آب شور و غیر شور است؛ به گونه‌ای که اثر غلظت نمک در آب آبیاری تقلیل یابد. هرچند به‌کارگیری این روش محدودیت‌هایی دارد، در صورت مدیریت و اجرای صحیح آن، می‌تواند راه‌حلی کارآمد در استفاده از آب‌های شور و لب‌شور در

* نویسندهٔ مسئول: p_afrasiab@yahoo.com

کشاورزی باشد. در بسیاری از تحقیقات بهترین راه‌حل استفادهٔ تلفیقی از آب شور و غیر شور، اختلاط این آب‌ها قبل از آبیاری‌ها (Pasternak *et al*., 1986; Suarez and Lebron, 1993; Oster, 1994; Abdelgawad and Ghaibeh, 2001; Qureshi *et al*., 2004; Khamisi *et al*., 2012)، یا استفادهٔ دوره‌ای از آن‌ها (Pasternak and De Malach, 1993; Rhoades, 1997; Moreno *et al*., 2001) معرفی شده است. Dinar *et al*. (1986) منحنی‌هایی ارائه دادند که به کمک آن‌ها می‌توان نسبت اختلاط آب شور و غیر شور را، با توجه به نوع گیاه، به دست آورد. Rhoades (1987) برای اولین بار گزارشی مبنی بر استفادهٔ دوره‌ای از آب شور و غیر شور در کشت پنبه ارائه کرد. Osman *et al*. (1997) اعلام کردند مخلوط‌کردن آب شور و غیر شور، قبل از آبیاری‌ها، می‌تواند جایگزینی مناسب در آبیاری‌های تحت شرایط شور باشد. Chaudhry (1999) اثر تلفیق آب‌های شور و غیر شور را در اراضی شور با مدیریت‌های مختلف (مخلوط، متناوب دوره‌ای، متناوب یک‌درمیان) بر خاک و گیاه بررسی کرد. نتایج این مطالعات نشان داد تلفیق آب‌های شور و غیر شور، علاوه بر اصلاح اراضی، سبب افزایش تراکم بوته‌ها و عملکرد محصول می‌شود. Bharat and Minhas (2005) برخی راهکارهای استفاده از آب شور را انتخاب رقم‌های گیاهی مقاوم به شوری، استفاده از آب شور در مراحلی از رشد که گیاه حساسیت کمتری به شوری از خود نشان می‌دهد، و اختلاط آب شور و غیر شور برای داشتن آب با EC بهتر اعلام کردند. Minhas *et al*. (2006) طی آزمایشی شش‌ساله (۱۹۹۷ـ۲۰۰۳) بر دو گیاه گندم و برنج به این نتیجه رسیدند که استفادهٔ متناوب از دو آب با کیفیت‌های شور و غیر شور بهتر از استفاده از آب شور به‌تنهایی است. Chorom *et al*. (2009) در آزمایشی بر اراضی شور و سدیمی جنوب اهواز با هدف بررسی تغییرات خصوصیات شیمیایی خاک و اصلاح آن گزارش دادند با اختلاط آب زهکش‌های مزرعهٔ نیشکر با آب کارون برای آب‌شویی نیمرخ خاک، حتی در بدترین کیفیت آب، می‌توان شوری و سدیمی‌بودن خاک را به زیر حد آستانه رساند. Molavi *et al*. (2012) به منظور ارزیابی اثر مدیریت آب شور بر عملکرد ذرت دانه‌ای و توزیع شوری در نیمرخ خاک پنج روش مدیریتی در منطقهٔ کرج و در شرایط لایسیمتری اجرا کردند. نتایج نشان داد در اثر استفاده از آب شور (EC=۵ dS/m) برای آبیاری ذرت دانه‌ای عملکرد ۴۱/۴۶ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش می‌یابد؛ در حالی که به‌کارگیری روش مدیریتی مخلوط و آبیاری تناوبی به صورت یک‌درمیان به ترتیب سبب کاهش عملکرد به میزان ۲۰/۵۹ و ۱۶/۳۴ درصد نسبت به تیمار شاهد شد. در این تحقیقات و بسیاری تحقیقات دیگر استفادهٔ تلفیقی از آب شور و غیر شور را در قالب سه روش اختلاط آب‌ها قبل از آبیاری، استفادهٔ متناوب به صورت یک‌درمیان (یک بار آبیاری با آب شور و بار دیگر با آب غیر شور)، و استفادهٔ متناوب دوره‌ای (استفاده از آب غیر شور در مراحل حساس رشد) بررسی کرده‌اند. تلفیق آب شور و غیر شور به صورت نفوذ نیمی از آب آبیاری با آب شور و نیمی دیگر با آب غیر شور نیز به منزلهٔ چهارمین روش بر گیاه ذرت بررسی شد (Liaghat and Esmaeili, 2003). در این روش، که به نیم‌درمیان موسوم است، در هر آبیاری نیمی از حجم آب مورد نیاز گیاه با آب شور تأمین می‌شود و بلافاصله پس از نفوذ آب شور (EC=۷/۳ dS/m) نیمی دیگر با آب غیر شور آبیاری می‌شود. محققان یادشده با اعمال چهار تیمار غیر شور، یک‌درمیان، نیم‌درمیان، و مخلوط بر گیاه تأثیر استفادهٔ توأمان از آب شور و غیر شور را بر عملکرد گیاه ذرت و منطقهٔ توسعهٔ ریشه ارزیابی کردند. نتایج نشان داد به طور کلی در هر عامل بیشترین بازده مربوط به تیمار شاهد و پس از آن به ترتیب مربوط به تیمارهای متناوب نیم‌درمیان، مخلوط، و متناوب یک‌درمیان است. آن‌ها در زمینهٔ برتری روش نیم‌درمیان اعلام کردند که اولاً، با توجه به اینکه ابتدا خاک با آب شور آبیاری می‌شود، سهم آب شور در هدررفت آب از ناحیهٔ ریشه بیشتر از آب غیر شور است. ثانیاً آب غیر شور، که در لحظات پایانی به گیاه داده می‌شود، در لایه‌های فوقانی خاک قرار می‌گیرد. در نتیجه گیاه با استفاده از این آب دچار تنش کمتری خواهد شد. پس، عملکرد کمتر کاهش می‌یابد. در آزمایشی دیگر نتایجی مشابه حاصل شد (Mostashfi HabibAbadi *et al*., 2011). هدف پژوهش حاضر این است که اثر سطوح مختلف آب شور و غیر شور و چگونگی تلفیق آن‌ها بر عملکرد دو گیاه سورگوم و آفتابگردان در کرت‌های آزمایشی در دشت سیستان بررسی شود. در این روش، ابتدا از آب شور برای خیس‌کردن زمین و سپس از آب غیر شور برای تکمیل آبیاری استفاده شد. به نظر می‌رسد در این روش عمدهٔ تلفات آب از سهم آب شور خواهد بود و گیاه از آب غیر شور بهرهٔ بیشتری می‌برد.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر از اواخر زمستان ۱۳۹۱ تا اوایل تابستان ۱۳۹۲ در مزرعهٔ تحقیقاتی دانشگاه زابل، واقع در سد سیستان، اجرا شد. این مکان در محدودهٔ جغرافیایی ´۱ °۳۱ شمالی و ´۲۶ °۶۱ شرقی با میانگین بارش سالیانهٔ ۶۱/۳ میلی‌متر و میانگین دمای ۲۲ سانتی‌گراد در سال قرار دارد. اقلیم منطقه گرم و خشک و دارای تابستان‌های گرم همراه باد شدید و زمستان‌های سرد و

خشک است. بارش و سرما در اقلیم منطقه محدود و بخش بزرگی از سال در کنترل هوای گرم و خشک است. مزرعهٔ آزمایشی زهکش‌های زیرسطحی به فواصل ۵۰ متر و عمقی معادل ۱٫۸ متر دارد. زهکش‌ها زه‌آب جمع‌شده را مستقیم درون کانال جمع‌کنندهٔ روبازی تخلیه می‌کنند. آب کانال دائم بالاتر از تراز مبنای خروجی زهکش‌ها حفظ می‌شود. بنابراین، زهکش‌ها به صورت کنترل‌شده دائم سطح آب زیرزمینی را در عمق ۱ متری نگه می‌دارند. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش به ترتیب در جدول‌های ۱ و ۲ می‌آید. خاک مزرعهٔ آزمایشی ۵۳٫۷۷ درصد شن، ۳۳٫۶۴ درصد سیلت، ۱۲٫۵۹ درصد رس، و بافت لوم شنی دارد. آب مورد نیاز اراضی از کانال‌های منشعب‌شده از رودخانهٔ هیرمند تأمین می‌شود. هدایت الکتریکی آب رودخانه طی این آزمایش برابر ۱٫۲ دسی‌زیمنس بر متر بود. برخی خصوصیات آب رودخانه در جدول ۳ می‌آید. همچنین، داخل مزرعه چاهی کم‌عمق وجود دارد که به دلیل کشت زمین‌های اطراف چاه EC آن در ماه‌های مختلف سال متغیر است. در فصل سرد سال EC به حداقل مقدار (۵٫۵- ۵ دسی‌زیمنس بر متر) و در تابستان به حداکثر مقدار (حدود ۱۹ دسی‌زیمنس بر متر) می‌رسد. میانگین هدایت الکتریکی آب چاه در طول دورهٔ آزمایش برابر ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر بود. برخی خصوصیات شیمیایی آب چاه در جدول ۳ می‌آید. اعداد جدول ۳ مربوط به حداقل مقدار هدایت الکتریکی در فصل سرد سال است. تجزیهٔ شیمیایی آب و خاک آزمایش‌شده (جدول‌های ۲ و ۳) را آزمایشگاه زاگرس آب‌شناس فارس تهیه کرد.

جدول ۱. برخی خصوصیات فیزیکی خاک منطقهٔ ریشه

درصد شن	درصد سیلت	درصد رس	ρb	θ_{FC}	θ_{PWP}
(%)			(g/cm^3)	(%)	
۵۳٫۷۷	۳۳٫۶۴	۱۲٫۵۹	۱٫۵۹	۲۱٫۰۰	۹٫۰۰

جدول ۲. برخی خصوصیات شیمیایی خاک منطقهٔ ریشه

EC_e (dS/m)	pH -	SAR -	O.C (%)	K (ppm)	P (ppm)	N (%)
۱٫۳۶	۸٫۲۰	۳٫۳۵	۰٫۱۱	۳۸٫۵۲	۳٫۲۰	۰٫۰۱

جدول ۳. برخی خصوصیات شیمیایی منابع آب موجود در فصل سرد سال

منبع آب	EC	pH	SAR	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{2+}	K^+	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}
	(dS/m)	-	-	(meq/l)						
رودخانهٔ هیرمند	۱٫۲۴	۷٫۸۵	۲٫۵۸	۳٫۰۰	۴٫۰۰	۵٫۷۸	۰٫۰۷	۵٫۰۰	۴٫۰۰	۳٫۸۷
چاه	۶٫۰۰	۶٫۹۸	۱۳٫۵۱	۵٫۵۰	۱۳٫۰۰	۴۶٫۸۰	۰٫۴۵	۱۳٫۰۰	۲۸٫۵۰	۲۵٫۰۰

این آزمایش در قالب طرح بلوک کاملاً تصادفی با شش تیمار و در هر تیمار سه تکرار برای هر گیاه انجام شد (در مجموع ۳۶ کرت). کرت‌ها با ابعاد ۳×۲٫۷ متر با فواصل ۲ متری در تیمارها و ۱ متری در تکرارها اختیار شد. آبیاری به صورت جوی- پشته‌ای بود و در هر کرت چهار ردیف کشت (با فواصل ۶۰ سانتی‌متر) در نظر گرفته شد. دو گیاه سورگوم علوفه‌ای رقم اسپیدفید و آفتابگردان رقم جرینیکا، که هر دو از ارقام استفاده‌شده در منطقهٔ سیستان‌اند، با تراکم ۱۶ بوته در متر مربع کشت شد. تیمارها از مرحلهٔ پنج‌برگی‌شدن بوته‌ها اعمال شدند. تاریخ‌های کشت و اعمال تیمارها برای هر گیاه در جدول ۴ می‌آید. تیمارهای بررسی‌شده عبارت بود از:

۱. تیمار شاهد: در این تیمار آبیاری با آب غیر شور کانال در سراسر فصل رشد صورت پذیرفت؛

۲. تیمار دوسوم شور: در این تیمار در هر آبیاری دوسوم آب آبیاری با آب شور و یک‌سوم دیگر بلافاصله پس از نفوذ آب شور با آب غیرشور تکمیل شد؛

۳. تیمار یک‌دوم شور: در این تیمار در هر آبیاری نیمی از آب آبیاری با آب شور و نیمی دیگر بلافاصله پس از نفوذ نیمهٔ اول با آب غیر شور تکمیل شد.

۴. تیمار یک‌سوم شور: در این تیمار در هر آبیاری یک‌سوم از آب آبیاری با آب شور و دوسوم باقی‌مانده بلافاصله پس از نفوذ آب شور با آب غیر شور تکمیل شد؛

۵. تیمار ۹۰ درصد شور: در این تیمار در هر آبیاری ۹۰ درصد از آب آبیاری با آب شور و ۱۰ درصد از آب مورد نیاز گیاه با آب غیر شور تأمین شد؛

۶. تیمار ۱۰۰ درصد شور: در این تیمار در سراسر فصل رشد آبیاری با آب شور چاه صورت پذیرفت.

جدول ۴. تاریخ کشت و اعمال تیمارها

گیاه	تاریخ کشت	تاریخ شروع اعمال تیمارها*	تاریخ برداشت
آفتابگردان	۱۳۹۱/۱۲/۲۲	۱۳۹۲/۰۲/۰۷	۱۳۹۲/۰۴/۰۸
سورگوم علوفه‌ای	۱۳۹۲/۰۱/۲۶	۱۳۹۲/۰۲/۲۲	۱۳۹۲/۰۳/۲۷

* برای آفتابگردان پس از چهار آبیاری و برای سورگوم پس از سه آبیاری با آب غیر شور کانال اعمال تیمارها شروع شد.

به دلیل شرایط مزرعهٔ آزمایشی، که از سیستم زهکشی کنترل‌شده بهره می‌برد و سطح ایستابی را در عمق ۱ متری نگه می‌داشت، برای تعیین حجم آب مورد نیاز هر کرت عمق توسعهٔ ریشه در سراسر فصل معادل ۰/۸ متر در نظر گرفته شد. این عدد حاصل نتایج به‌دست‌آمده از حفر بیش از ۲۰ چاهک مشاهده‌ای در مزرعهٔ آزمایشی است. در همهٔ چاهک‌های حفرشده مشاهده شد رطوبت خاک در لایهٔ ۱۰ تا ۲۰ سانتی‌متری بالای سطح ایستابی در حد اشباع نگه داشته می‌شود که متأثر از سطح ایستابی کنترل‌شده بود. ثابت‌نگه‌داشتن عمق توسعهٔ ریشه در طول فصل به دلیل تلاش برای یافتن پاسخ به چگونگی تعدیل املاح در هر یک از تیمارهای مذکور بود. از این رو، حجم آبِ داده‌شده برای همهٔ تیمارها در طول فصل یکسان در نظر گرفته شد. حجم آب مورد نیاز هر کرت، با توجه به ابعاد آن‌ها و تخلیهٔ مجاز رطوبتی ۵۵ درصدی برای سورگوم علوفه‌ای و ۴۵ درصدی برای آفتابگردان و مشخصات رطوبتی خاک (جدول ۱)، ۴۲۹ لیتر برای سورگوم و ۳۲۴ لیتر برای آفتابگردان تعیین شد (بدون درنظرگرفتن نیاز آب‌شویی). این موضوع از آن جهت بااهمیت است که در همهٔ تیمارهای موجود آب داده‌شده به هر کرت در عمق خاک باقی می‌ماند و با وجود جابه‌جایی آب غیرشور با آب شور در تیمارهای مختلف نحوهٔ برجاگذاشتن نمک در هر تیمار به‌خوبی مشخص می‌شود. آبیاری‌ها به وسیلهٔ تانکر صورت گرفت و حجم آب ورودی به کمک کنتور اندازه‌گیری شد. دور آبیاری بر اساس عرف منطقه برای هر دو گیاه به صورت ثابت و هر دَه روز یک بار تعیین شد. کودهای مورد نیاز هر دو گیاه نیز طبق عرف منطقه و توصیهٔ جهاد کشاورزی به زمین اضافه شد. این کودها شامل ۲۷۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره، ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاس، و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفات تریپل بود. دوسوم کود اوره قبل از کشت به منزلهٔ کود پایه و یک‌سوم باقی‌مانده پس از جوانه‌زنی در زمان پنج تا هفت برگی‌شدن بوته‌ها (استقرار کامل بوته) به صورت سطحی به زمین اضافه شد. قبل و بعد از اعمال تیمارها برای هر گیاه از همهٔ کرت‌ها تا عمق ۱ متری پنج نمونه خاک با فواصل ۲۰ سانتی‌متری با آگر برداشت و پس از هواخشک‌شدن، برای تعیین شوری خاک، به آزمایشگاه منتقل شد. در انتهای فصل، پس از برداشت محصول، نیز این کار تکرار شد. شوری عصارهٔ اشباع خاک با EC متر (مدل EC Testr11) اندازه‌گیری شد. همچنین، برای برداشت محصول هر کرت از هر طرف نیم متر به منزلهٔ آثار حاشیه‌ای حذف شد و به مساحت ۲/۴ متر مربع از وسط هر کرت محصول برداشت و برای تعیین عملکرد و اجزای عملکرد به آزمایشگاه منتقل شد. صفات فیزیولوژیکی و زراعی برداشت‌شده برای هر گیاه شامل وزن خشک ساقه، وزن خشک برگ، وزن خشک اندام هوایی، ارتفاع، شاخص سطح برگ، و قطر ساقه بود. همچنین، شاخص برداشت برای گیاه آفتابگردان محاسبه شد. این شاخص طبق فرمول پیشنهادی Donald and Hamblin (1976) از تقسیم عملکرد دانه بر عملکرد بیوماس تعیین شد. به دلیل علوفه‌ای‌بودن گیاه سورگوم و نداشتن دانه، این شاخص برای سورگوم تعریف نشد. نتایج با نرم‌افزار SPSS با آزمون چنددامنهٔ دانکن در سطح معناداری ۵ درصد تجزیه‌وتحلیل شد.

یافته‌ها و بحث

اجزای عملکرد محصول

نتایج تجزیهٔ واریانس صفات اندازه‌گیری‌شده در سطوح معناداری ۱ و ۵ درصد به طور خلاصه برای سورگوم علوفه‌ای و آفتابگردان به ترتیب در جدول‌های ۵ و ۶ می‌آید. صفات اندازه‌گیری‌شده شامل وزن خشک ساقه، وزن خشک برگ، وزن خشک اندام هوایی، ارتفاع بوته‌ها، و شاخص سطح برگ برای دو گیاه و صفت شاخص برداشت برای آفتابگردان بود. تجزیهٔ واریانس صفات اندازه‌گیری‌شده نشان داد مدیریت آب شور در همهٔ صفات اندازه‌گیری‌شده برای هر دو گیاه تفاوت معنادار ($p \leq \%\ ۱$) دارد. نبودِ تفاوت معنادار بین تکرارها نشان‌دهندهٔ شرایط یکسان آزمایش در همهٔ تیمارهاست.

شکل‌های ۱ تا ۶ نتایج مقایسهٔ میانگین‌ها را با آزمون دانکن در سطح معناداری ۵ درصد برای صفات فیزیولوژیکی اندازه‌گیری‌شده در دو گیاه سورگوم و آفتابگردان نشان می‌دهد. همان‌گونه که دیده می‌شود، در هر دو کشت در همهٔ صفات اندازه‌گیری‌شده بیشترین عملکرد مربوط به تیمار شاهد و کمترین عملکرد مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد شور است. مثلاً در وزن خشک کل اندام هوایی در هر دو کشت تیمار ۱۰۰ درصد شور نسبت به تیمار شاهد افت محصول ۷۰ درصدی نشان داد که بیشترین افت محصول را بین تیمارهای بررسی‌شده داشت. به نظر می‌رسد مصرف مناسب آب در تیمار شاهد منجر به افزایش فعالیت برگ‌ها و به دنبال آن افزایش فتوسنتز و تولید

مواد غذایی می‌شود و در نتیجه وزن تودهٔ زندهٔ گیاهی افزایش می‌یابد؛ در حالی که بروز تنش شوری در تیمار ۱۰۰ درصد شور از طریق آب آبیاری، سبب کاهش سطح برگ‌ها و ریزش آن‌ها و در نتیجه کاهش منبع فتوسنتزی و افت فعالیت آنزیم‌های مؤثر بر این فرایند می‌شود.در نتیجهٔ این وضعیت، افت شدید محصول در این تیمار رخ داد. Netondo *et al.* (2004) نیز طی کشت سورگوم گزارش کردند تنش شوری سبب کاهش مادهٔ خشک گیاهی، شاخص سطح برگ، میزان کلروفیل، و هدایت روزنه‌ای در این گیاه می‌شود. این در حالی است که نتایج مقایسهٔ میانگین‌ها در سطح معناداری ۵ درصد برای همهٔ صفات اندازه‌گیری‌شده (شکل‌های ۱ تا ۶) بین تیمار ۱۰۰ درصد شور و ۹۰ درصد شور تفاوت معنادار نشان نداد. بنابراین، به نظر می‌رسد تیماری که آبیاری آن به وسیلهٔ ۱۰ درصد آب غیر شور تکمیل می‌شود از نظر عملکرد تفاوتی با تیمار ۱۰۰ درصد شور ندارد و ۱۰ درصد آب کاربردی توانایی کاهش تنش شوری و جلوگیری از افت محصول را ندارد.

جدول ۵. تجزیهٔ واریانس عملکرد و اجزای عملکرد گیاه سورگوم علوفه‌ای

منابع تغییر	درجهٔ آزادی	میانگین مربعات				
		وزن خشک هوایی	اندام	وزن خشک ساقه	وزن خشک برگ	شاخص سطح برگ	ارتفاع
		(ton/ha)					(cm)
تیمار	۵	۳/۷۵۲**		۱/۵۴۸**	۰/۵۸۹**	۰/۵۰۱**	۶۰۳/۲۸۹**
تکرار	۲	۰/۰۰۵^{ns}		۰/۰۳۶^{ns}	۰/۰۵۸^{ns}	۰/۰۲۵^{ns}	۴۲/۳۸۹^{ns}
خطا	۱۰	۰/۰۳۲		۰/۰۲۶	۰/۰۲۲	۰/۰۱۶	۵۰/۳۸۹

** معناداری در سطح ۱ درصد * معناداری در سطح ۵ درصد ns عدم تفاوت معنادار

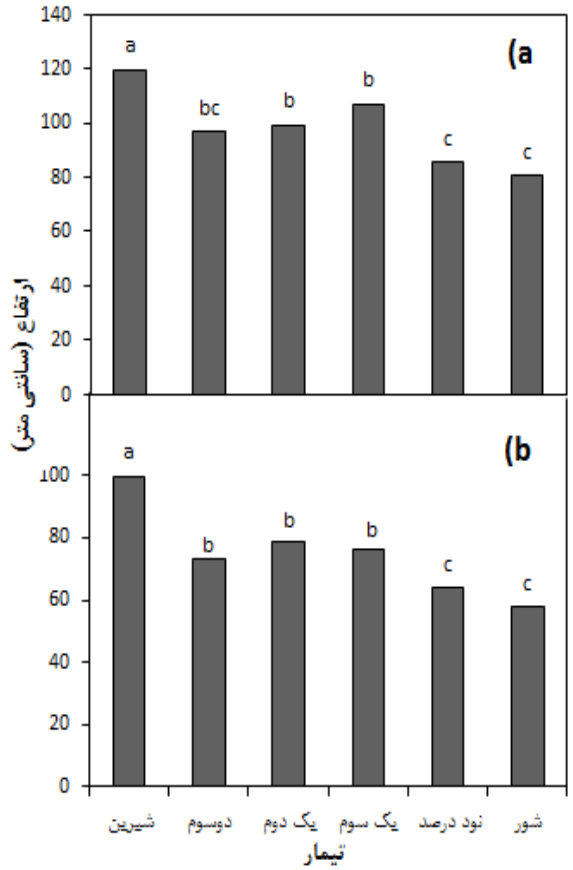
جدول ۶. تجزیهٔ واریانس عملکرد و اجزای عملکرد گیاه آفتابگردان

منابع تغییر	درجهٔ آزادی	میانگین مربعات				
		وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ساقه	وزن خشک برگ	شاخص سطح برگ	شاخص برداشت	ارتفاع (cm)
		(ton/ha)					
تیمار	۵	۴۲۹/۳۸۸**	۳۰/۳۰۸**	۳۰/۸۷۹**	۰/۳۱۵**	۰/۰۰۸**	۶۶۱/۵۵۵**
تکرار	۲	۱۲۷/۸۱۱^{ns}	۴/۸۳۹^{ns}	۵/۷۵۶^{ns}	۰/۱۶۷*	۰/۰۰۱^{ns}	۱۳/۱۱۷^{ns}
خطا	۱۰	۳۰/۶۱۴	۲/۱۸۹	۵/۰۱۲	۰/۰۳۱	۰/۰۰۱	۳۶/۸۸۵

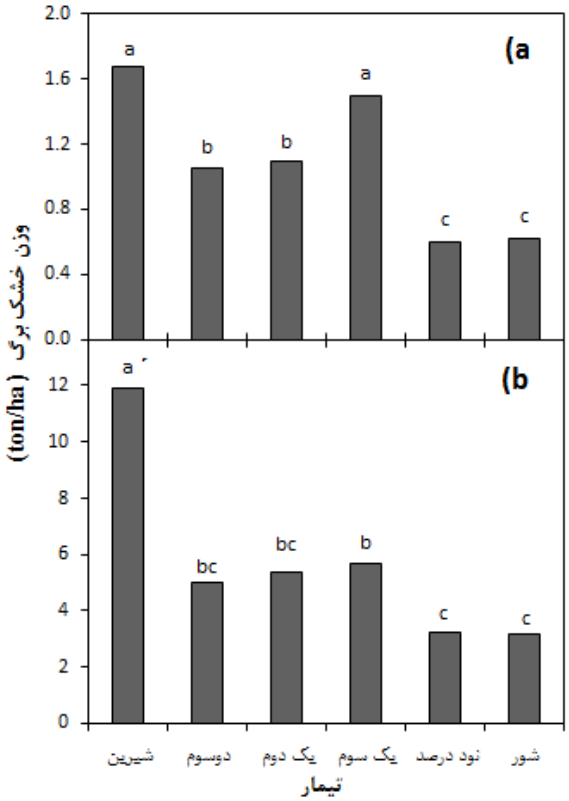
** معناداری در سطح ۱ درصد * معناداری در سطح ۵ درصد ns عدم تفاوت معنادار

همان‌گونه که در نتایج صفات زراعی اندازه‌گیری‌شده در شکل‌های ۱ تا ۶ دیده می‌شود، در هر دو کشت، پس از تیمار شاهد، بهترین عملکرد مربوط به تیمار یک‌سوم شور است. این تیمار در کشت سورگوم در وزن خشک ساقه، وزن خشک برگ، وزن خشک اندام هوایی، و شاخص سطح برگ پس از تیمار شاهد بیشترین عملکرد را داشت و با دیگر تیمارها تفاوت معنادار ($p\leq ۰/۰۵$) نشان داد. مقدار افت محصول در این تیمار نسبت به تیمار شاهد در صفت وزن خشک برگ سورگوم (شکل ۲a) برابر ۱۰/۷ درصد بود که نسبت به دیگر تیمارها کمترین مقدار افت محصول را داشت. همچنین، افزایش محصول در همین صفت نسبت به تیمار ۱۰۰ درصد شور برابر ۱۴۱/۹ درصد بود که پس از تیمار شاهد بهترین عملکرد را بین تیمارهای بررسی‌شده داشت. در دیگر صفات اندازه‌گیری‌شده نیز همین روند تکرار شد. افت محصول در این تیمار در دو صفت وزن خشک ساقه و اندام هوایی سورگوم به ترتیب برابر ۳۶/۹ و ۲۶/۵ درصد و افزایش عملکرد در این دو صفت نسبت به تیمار ۱۰۰ درصد شور به ترتیب برابر ۱۴۷/۷ و ۱۲۰/۶ درصد بود و با تیمارهای ۱۰۰ درصد شور، ۹۰ درصد شور، دوسوم شور، و یک‌دوم شور تفاوت معنادار ($p\leq ۰/۰۵$) نشان داد. در کشت آفتابگردان تیمار مذکور دارای افزایش ۱۱۲/۵ درصدی در صفت شاخص برداشت و ۱۳۸/۷ درصدی در وزن خشک اندام هوایی نسبت به تیمار ۱۰۰ درصد شور بود. در کشت آفتابگردان، تیمار یک‌سوم شور در همهٔ صفات اندازه‌گیری‌شده بیشترین عملکرد را داشت؛ اما نسبت به دو تیمار دوسوم و یک‌سوم تفاوت معنادار نشان نداد. مثلاً در صفت شاخص برداشت به‌رغم افزایش ۱۲ درصدی عملکرد این تیمار نسبت به دو تیمار دیگر تفاوت

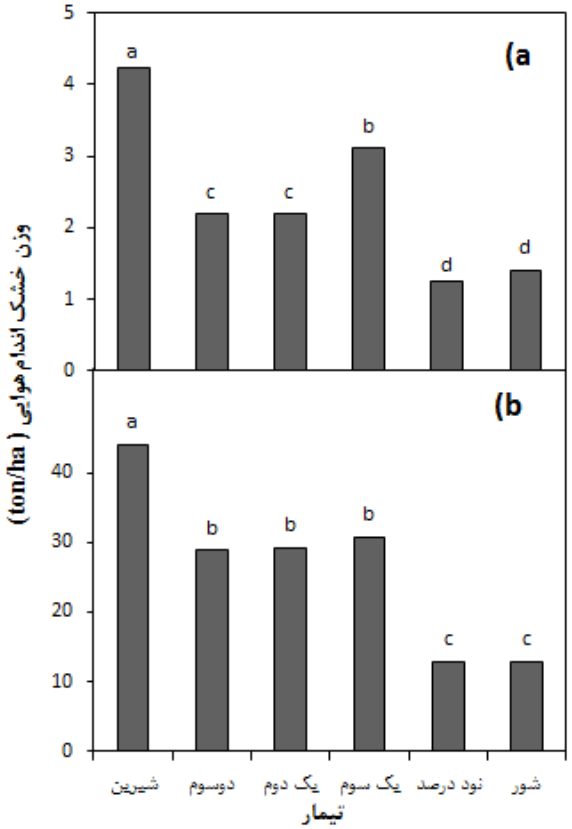
معناداری با دو تیمار مذکور نشان نداد. این اتفاق در نتایج ارتفاع سورگوم نیز مشاهده شد.



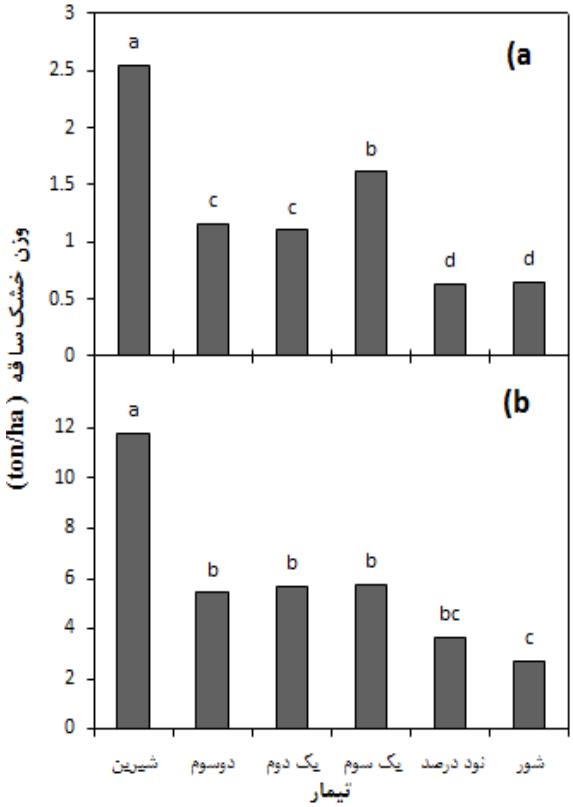
شکل ۳. میانگین وزن خشک اندام هوایی سورگوم (a) و آفتابگردان (b)
(آزمون میانگین در سطح معناداری ($p \leq$ ۰٫۰۵))



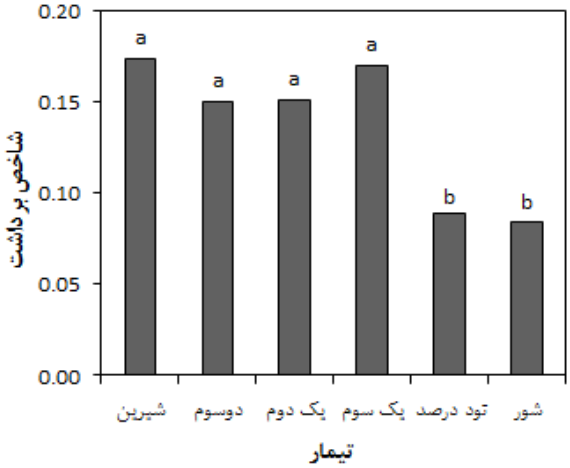
شکل ۱. میانگین وزن خشک ساقهٔ سورگوم (a) آفتابگردان (b)
(آزمون میانگین در سطح معناداری ($p \leq$ ۰٫۰۵))



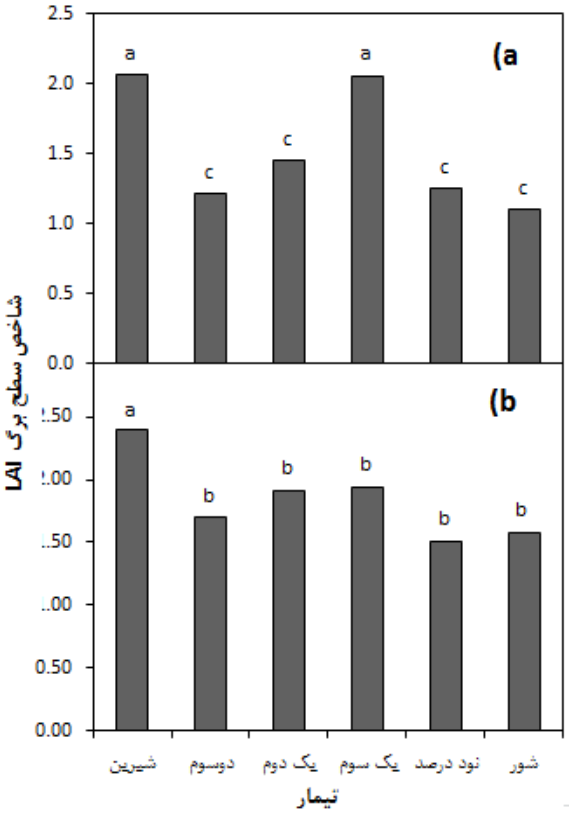
شکل ۴. میانگین ارتفاع گیاه سورگوم (a) و آفتابگردان (b)
(آزمون میانگین در سطح معناداری ($p \leq$ ۰٫۰۵))



شکل ۲. میانگین وزن خشک برگ سورگوم (a) و آفتابگردان (b)
(آزمون میانگین در سطح معناداری ($p \leq$ ۰٫۰۵))



شکل ۵. شاخص سطح برگ سورگوم (a) و آفتابگردان (b)
(آزمون میانگین در سطح معناداری ($p \leq$ ۰٫۰۵))

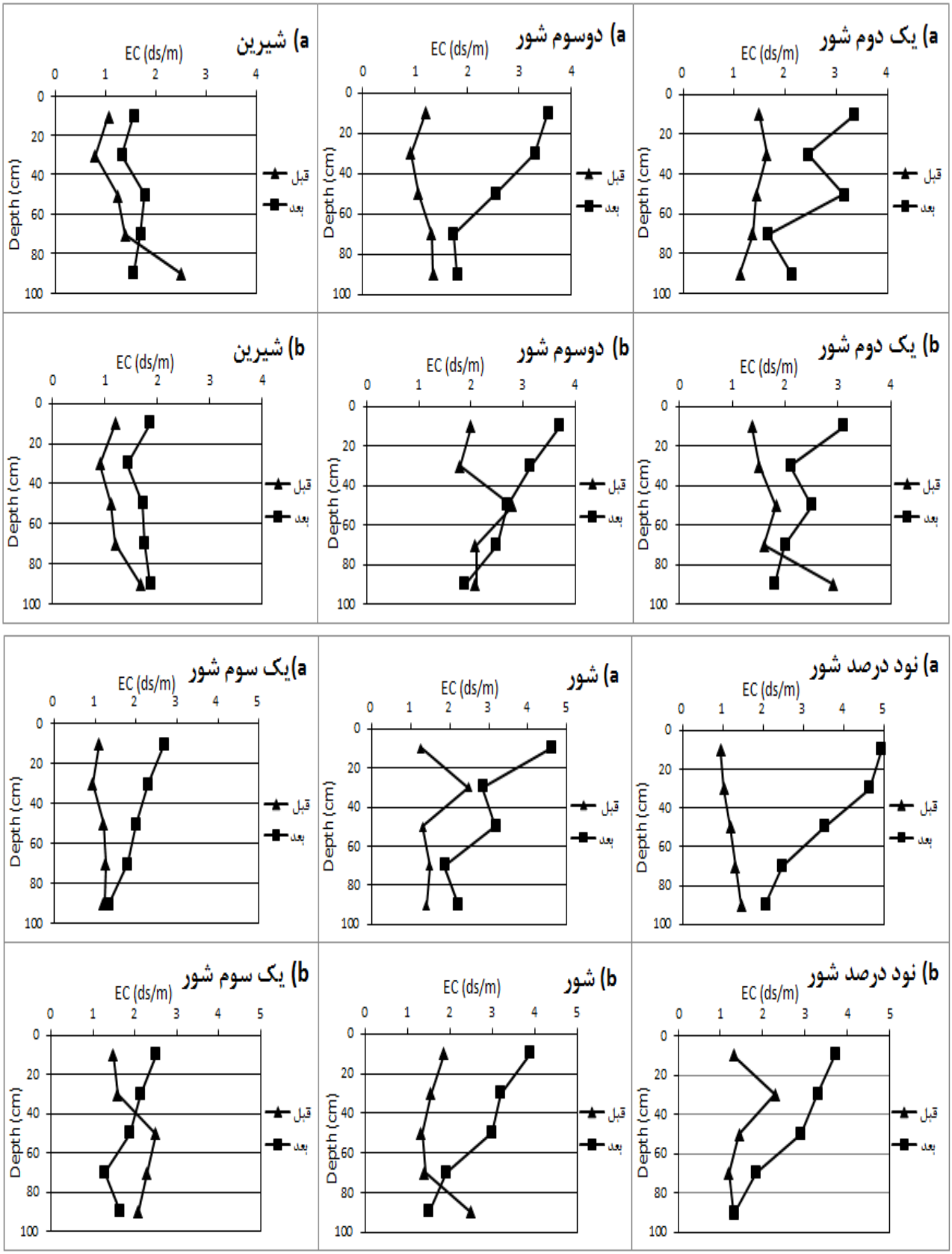


شکل ۶. میانگین شاخص برداشت آفتابگردان
(آزمون میانگین در سطح معناداری ($p \leq$ ۰٫۰۵))

به طور کلی به نظر می‌رسد، با توجه به مدیریت به‌کاررفته در نحوهٔ تلفیق آب شور و غیر شور در تیمار یک‌سوم شور، این تیمار توانسته خطر استفاده از آب شور و پتانسیل اسمزی ایجادشده در محلول خاک را به گونه‌ای به حداقل مقدار خود کاهش دهد که در برخی صفات زراعی اندازه‌گیری‌شده- نظیر شاخص برداشت آفتابگردان، وزن خشک برگ، شاخص سطح برگ، و ارتفاع گیاه سورگوم- با تیمار شاهد تفاوت معنادار در سطح اطمینان ۵ درصد نشان ندهد و در دیگر صفات اندازه‌گیری‌شده در هر دو کشت پس از تیمار شاهد بیشترین عملکرد را داشته باشد. از سوی دیگر، عدم تفاوت معنادار بین تیمارهای یک‌دوم شور و دوسوم شور در همهٔ صفات اندازه‌گیری‌شده در هر دو کشت سبب شده تیمار دوسوم شور، که در آن آب غیر شور کمتری مصرف می‌شود، تیمار برتر معرفی شود (حجم آب غیر شور مصرفی در تیمار یک‌دوم شور برابر نصف نیاز آبی گیاه و حجم آب غیر شور مصرفی در تیمار دوسوم شور معادل یک‌سوم نیاز آبی گیاه است). تیمار یک‌دوم شور در شاخص سطح برگ، ارتفاع گیاه، و وزن خشک برگ در هر دو کشت نسبت به تیمار دوسوم شور عملکرد بهتری داشت؛ اما به دلیل عدم تفاوت معنادار بین تیمار یک‌سوم شور و دوسوم شور در صفات وزن خشک ساقه و برگ، وزن خشک کل اندام هوایی، ارتفاع بوته‌ها، شاخص سطح برگ، و شاخص برداشت در کشت آفتابگردان به نظر می‌رسد برای این کشت در مناطقی مثل سیستان، تحت شرایط خاص محدودیت آب غیر شور، می‌توان از این تیمار بهره جست و با کاربرد یک‌سوم آب غیر شور نیز نتایج مناسبی به دست آورد. البته، نیاز به آزمایش‌های بیشتر با گیاهان مختلف دیگر احساس می‌شود. به طور کلی، به نظر می‌رسد تأثیرپذیری آفتابگردان از اعمال تیمارهای تلفیقی مذکور بیشتر از سورگوم است؛ به گونه‌ای که در همهٔ صفات اندازه‌گیری‌شده عملکرد آفتابگردان به‌شدت کاهش یافت. بنابراین، به نظر می‌رسد به‌کارگیری شیوهٔ تلفیقی آب شور و غیر شور برای کشت آفتابگردان مناسب نیست. همچنین، به نظر می‌رسد بیشترین تأثیرگذاری تیمارها به ترتیب بر صفات وزن خشک ساقه، وزن خشک برگ، وزن خشک اندام هوایی و شاخص سطح برگ است.

بررسی تغییرات شوری خاک

در شکل ۷ تغییرات شوری در نیمرخ خاک، قبل و بعد از اعمال تیمارهای آبیاری، می‌آید. همان‌گونه که اشاره شد، زهکش‌های زیرسطحی مزرعه همواره سطح آب زیرزمینی را در عمق ۱ متری نگه می‌دارند. به دلیل کشت وسیع در سطح مزرعه و عمر زیاد زهکش‌ها و شست‌وشوی نیم‌رخ خاک مزرعه، هدایت الکتریکی زه‌آب خروجی از زهکش‌ها در طول سال همواره کمتر از ۳ دسی‌زیمنس بر متر بود. بنابراین، با توجه به جریانات موییینگی موجود در اعماق ۶۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متری، در حد فاصل بین دو آبیاری، هدایت الکتریکی این لایهٔ خاک همواره کمتر از ۳ دسی‌زیمنس بر متر است. همان‌گونه که در همهٔ تیمارها مشاهده می‌شود، در انتهای فصل هدایت الکتریکی این



شکل ۷. شوری عصارهٔ اشباع خاک قبل و بعد از اعمال تیمارهای کشت سورگوم (a) و کشت آفتابگردان (b)

عمق نیم‌رخ خاک در حدود ۲ دسی‌زیمنس بر متر است و به نوع تیمار بستگی ندارد. همچنین، در نتایج انتهای فصل، شوری باقی‌مانده در لایه‌های سطحی خاک افزایش یافت؛ طوری که بیشترین میزان هدایت الکتریکی همواره در لایهٔ ۰ تا ۲۰

سانتی‌متری سطح خاک بود. این موضوع متأثر از میانگین دمای بالای هوای منطقه است که سبب افزایش میزان تبخیر از سطح خاک و حرکت هر چه بیشتر املاح به سمت بالا به دلیل جریان مویینگی می‌شود. به هر حال، در هر دو کشت بهترین تیمار از نظر تعدیل املاح در خاک مربوط به تیمار شاهد بود. این تیمار در امتداد نیم‌رخ خاک میزان شوری خاک را زیر۲ دسی‌زیمنس بر متر نگه داشت. تیمار یک‌سوم شور، که بین تیمارها بهترین عملکرد بیولوژیکی را داشت، در تعدیل املاح نیم‌رخ خاک نیز بهترین عملکرد را پس از تیمار شاهد از خود نشان داد؛ طوری که در هر دو کشت هدایت الکتریکی لایه‌های سطحی (۰ـ ۲۰ و ۲۰ـ۴۰ سانتی‌متری) را نزدیک به ۲٫۵ دسی‌زیمنس بر متر و هدایت الکتریکی لایهٔ ۴۰ تا ۶۰ سانتی‌متری را زیر ۲ دسی‌زیمنس بر متر نگه داشت. در این تیمار، به دلیل جایگزینی دو برابری آب غیر شور با آب شور در هر آبیاری، نمک‌های برجامانده از آبیاری با آب شور در لایه‌های بالایی خاک به بهترین نحو ممکن آب‌شویی و از منطقهٔ ریشه خارج شد. در عمق ۵۰ سانتی‌متری نتایج آب‌شویی این تیمار با تیمار شاهد کاملاً مشابه بود؛ که نشان‌دهندهٔ توانایی بسیار بالای این تیمار در آب‌شویی و تعدیل املاح خاک است. این اعداد نسبت به تیماری که به طور کامل با آب شور آبیاری شده بسیار چشمگیر و ایده‌آل به نظر می‌رسد. این در حالی است که در دو تیمار دوسوم و یک‌دوم نیز مقدار نمک باقی‌مانده در همهٔ لایه‌ها نسبت به تیمار شور کمتر است. به نظر می‌رسد این نوع تلفیق آب شور و غیر شور با هر نسبتی کارایی بسیار بالایی در تعدیل املاح نیم‌رخ خاک دارد. تعدیل نمک در نیم‌رخ خاک در تیمار ۹۰ درصد شور بسیار نزدیک به شوری باقی‌مانده در تیمار کاملاً شور است که ناموفق‌بودن این تیمار را در شست‌وشوی نمک حاصله از آب آبیاری نشان می‌دهد.

به طور کلی، نتایج عملکرد گیاه و تعدیل املاح در این تحقیق با نتایج تحقیق Liaghat and Esmaeili (2003) مطابقت داشت. آن‌ها گزارش کردند در شرایط مزرعه‌ای، علاوه بر درز و شکاف‌های حاصل از انقباض خاک‌های رسی، منافذ بزرگ دیگری نیز به واسطهٔ ریشهٔ گیاهانِ کشت‌های قبل و حرکت میکروارگانیسم‌های خاکـ مانند کرم‌ها و حیوانات موذی، مانند موش‌هاـ و سایر عوامل مشابه ایجاد می‌شود. بنابراین، چنانچه در چنین شرایطی از آب شیرین برای آبیاری استفاده شود، مقدار قابل توجهی از آب از طریق درزها و شکاف‌ها و منافذ بزرگ به پایین منطقهٔ ریشه حرکت می‌کند و از دسترس گیاه خارج می‌شود. لیکن، چنانچه در آبیاری‌ها ابتدا از آب شور برای خیس‌کردن زمین و سپس از آب شیرین برای آبیاری استفاده شود، عمدهٔ تلفات آب از سهم آب شور خواهد بود و گیاه از آب غیر شور بهرهٔ بیشتری خواهد برد. به نظر می‌رسد در این شرایط در قسمت فوقانی ستون خاک، که تراکم ریشه در آن بیشتر است، به دلیل جایگزینی آب شور، گیاه در معرض تنش شوری کمتری قرار خواهد گرفت. در نتیجه، علاوه بر استفادهٔ مستمر از آب شور و ذخیره‌سازی آب غیر شور، افت محصول و خطر شورشدن لایه‌های سطحی خاک نیز نسبت به استفادهٔ کامل از آب شور به میزان قابل توجه کاهش می‌یابد. پس، این روش می‌تواند روش مدیریتی مؤثری در استفاده از آب‌های نامتعارف در کشاورزی باشد.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، غیر از تیمار شاهد، پنج روش تلفیق آب شور و غیر شور بررسی شد. آزمایش در قالب طرح بلوک کاملاً تصادفی با شش تیمار و سه تکرار برای دو گیاه سورگوم و آفتابگردان انجام گرفت. بین تیمارهای تلفیقی ارائه‌شده، تیمار یک‌سوم شور، از نظر شاخص‌های زراعی و تعدیل شوری در نیم‌رخ خاک، بهترین عملکرد را داشت. در این تیمار، به دلیل جایگزینی حجم زیاد آب غیر شور با آب شور در لایه‌های فوقانی خاک، اثر تنش آب شور تقلیل یافت و محیط اطراف ریشه در این ناحیهٔ خاک با تنش کمتری روبه‌رو شد. بنابراین، جذب آب توسط ریشه تسهیل شد که نتیجهٔ آن افزایش فتوسنتز و کاهش افت محصول بود. بسیاری از صفات اندازه‌گیری‌شده در دو تیمار یک‌دوم و دوسوم شور نیز، با توجه به تلفیق آب شور و غیر شور، نتایج مناسبی داشت؛ به‌خصوص در کشت آفتابگردان که از نظر آماری ($p\leq ۰/۰۵$) بین این دو تیمار و تیمار یک‌سوم شور تفاوت معنادار مشاهد نشد. بین تیمارهای یک‌دوم و دوسوم شور نیز در هر دو کشت تفاوت معناداری مشاهده نشد. بنابراین، به دلیل مصرف آب غیر شور کمتر در تیمار دوسوم، تحت شرایط خاص و محدودیت زیاد آب غیر شور، استفاده از تیمار دوسوم شور توصیه می‌شود. بدین‌گونه که در هر نوبت آبیاری ابتدا دوسوم حجم آب مورد نیاز گیاه با آب شور تأمین شود و بلافاصله، پس از نفوذ آن، یک‌سوم باقی‌ماندهٔ نیاز آبی گیاه، با آب غیر شور برطرف شود. توصیه می‌شود آزمایش‌های بیشتری تحت شرایط مختلف اقلیمی و خاک با دیگر گیاهان تکرار شود. همچنین، به دلیل تأثیرگذاری سطح ایستابی کنترل‌شده توسط زهکش‌های زیر سطحی مزرعهٔ محل آزمایش روی نتایج شوری در اعماق پایینی خاک، پیشنهاد می‌شود آزمایش‌هایی در شرایط متفاوت با این پژوهش انجام گیرد و نحوهٔ آب‌شویی املاح تا زیر منطقهٔ ریشهٔ گیاه بررسی شود.

REFERENCES

Abdelgawad, G. and Ghaibeh, A. (2001). Use of low quality water for irrigation in the Middle East. In: Proceeding of the Symposium on the Sustainable Management of Irrigated Land for Salinity and Toxic Elements Control, US Salinity Laboratory Riverside California, 25–27/6/2002, 20-25.

Abdelgawad, G., Arslan, A., Gaihbe, A., and Kadouri, F. (2005). The effects of saline irrigation water management and salt tolerant tomato varieties on sustainable production of tomato in Syria (1999–2002). *Agricultural Water Management* 78: 39-53.

Bharat, R. S. and Minhas, P. S. (2005). Strategies for managing saline/alkali waters for sustainable agricultural production in South Asia.*Agricultural Water Management,* 78: 136-151.

Chaudhry, M. R. (1999). Impact of conjunctive use of water on soil and crop under farmers' management, *17th Congress on Irrigation and Drainage*, Granada, Spain, ICID-CIID, vol. IB: 95-105.

Chorom, M., Dinarvand, J., and Jafari, S. (2009). Study mixed of irrigation water and drainage water sugarcane plantations on the changes soil Specification. In: *2nd Irrigation and Drainage Network Management National Conference*, 20 Jan., Ahvaz University, Ahvaz, Iran.

Dinar, A., Letey, J., and Vaux, H. J. (1986). Optimal ratios of saline and nonsaline irrigation waters for crop production..*Soil Science Society of America Journal*. 50: 440-443.

Donald, C. M. and Hamblin, J. (1976). The Biological Yield and Harvest Index of Cereals as Agronomic and Plant Breeding Criteria.*Advances in Agronomy*, Volume 28, Pages 361-405.

Jianga, J., Huo, Z., Feng, Sh., and Zhang, CH. (2012). Effect of irrigation amount and water salinity on water consumption and water productivity of spring wheat in Northwest China. *Field Crops Research*, 137: 78-88.

Khamisia, S. A., Prathaparb, S. A., and Ahmed, C. M. (2012). Conjunctive use of reclaimed water and groundwater in crop rotations.*Agricultural Water Management*.116: 228-234.

Liaghat, I. and Esmaili, Sh. (2003). Theeffect of fresh water and saline water conjunction on crop yield and salt concentration in the root zone. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources.*, VoL 2. 10(2). (In Farsi).

Minhas, P. S., Dubey, S. K., and Sharma, D. R. (2006). Comparative effects of blending, intera/inter-seasonal cyclic uses of alkali and good quality waters on soil properties and yields of paddy and wheat. *Agricultural Water Management*, 87: 83-90.

Molavi, H., Mohammadi, M., and Liaghat, A. (2012). Effect of saline water management on yield and yield components of corn and soil salinity profile.*Journal of Irrigation Science and engineering*, Volume 35, Issue 3, 11-18. (In Farsi).

Moreno, F., Cabrera, F., Fernandez-Boy, E., Giron, I. F., Fernandez, J. E., and Bellido, B. (2001). Irrigation with saline water in the reclaimed marsh soils of south-west Spain: impact on soil properties and cotton and sugar beet crops. *Agricultural Water Management*.48: 133-150.

Mostashfi HabibAbadi, F., Shayannejad, M., Dehghani, M., and Tabatabaei, S. H. (2011). Effect of four irrigation regimes with saline water on quantitive and qualitative indexes of sunflower.*Journal of Water and Soil*. Vol. 25, No.4, Sep-Oct 2011, 698-707. (In Farsi).

Netondo, G. W., Onyango, J. C., and Beck, E. (2004). Growth and gas exchange characteristics of Avocado plants under salinity stress. *Crop Science*, 44: 806-811.

Osman, A. A., Al-Nabulsi, Y. A., and Helalia, A. M. (1997). Effects of water quality and frequency of irrigation on growth and yield of barley *(Hordeurn vulgare L.).Agricultural Water Management,* 34: 17-24

Oster, J. D. (1994). Irrigation with poor quality water—review article. *Agricultural Water Management*. 25, 271-297.

Pasternak, D. and De Malach, Y. (1993). Crop irrigation with saline water. In: *Pessarakli, Mohammad (Ed.), Handbook of Plant and Crop Stress*. Marcel Dekker Inc., 599-622.

Pasternak, D., De Malach, Y., and Borovic, J. (1986). Irrigation with brackish water on production of processing tomatoes (lycopersion esculantum Mill).*Agricultural Water Management*. 12, 149-158.

Qureshi, A. S., Turral, H., and Masih, I. (2004). Strategies for the management of conjunctive use of surface water and groundwater resources in semi-arid areas: A case study from Pakistan. Research Report 86. *International Water Management Institute*.

Rhoades, J. D. (1987). Use of saline water for irrigation.*Water Qual Bull*.12: 14-20.

Rhoades, J. D. (1997). Strategies for the use of multiple water supplies for irrigation and crop production. In: Proceedings *of the Regional Workshop on Management of Salt Affected Soils in the Arab Gulf States*, Abu Dhabi, UAE October 29 to November 2, 1995, FAO regional office for the North East, Cairo, 79-87.

Suarez, D. L. and Lebron, I. (1993). Water quality criteria for irrigation with highly saline water. In: *Lieth, H., Al Masoom, A. (Eds.), Towards the Rational Use of High Salinity Tolerant Plants*, vol. 2. Kluwer Acadimic Publishers, 389-397.