



تاثیر مدیریت آبیاری بر جذب سدیم، پتاسیم و نیتروژن در درختان پسته (رقم اکبری)

حسین پرویزی^۱، حدیث حاتمی^{۲*}، علی مومن پور^۳

۱- استادیار پژوهشی مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران

۲. نویسنده مسئول، استادیار پژوهشی مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد،

ایران. h.hatami@areeo.ac.ir*

۳. استادیار پژوهشی مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران

چکیده

در این پژوهش، اثر سه راهبرد آبیاری بخشی ریشه (PRD)، آبیاری کامل (FI) و کم آبیاری تنظیمی (RDI) در دو سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی (SDI) و زیرسطحی (SSDI) بر میزان جذب سدیم، پتاسیم و نیتروژن در درختان پسته رقم اکبری بررسی گردید. بطور کلی، مقادیر نیتروژن برگ در انتهای فصل رشد نسبت به میانه آن به ترتیب به میزان ۱۰ و ۲۰ درصد در هر دو سال کاهش یافت. در انتهای سال اول، PRD دارای بیشترین مقادیر متوسط نیتروژن جذب شده به میزان ۱,۹۵ درصد بود. پس از آن آبیاری کامل با ۱,۷ و کم آبیاری تنظیمی با ۱,۶۴ درصد قرار گرفتند. تاثیر مدیریت آبیاری بر جذب عناصر سدیم و پتاسیم معنی‌دار نبود. میزان جذب پتاسیم در PRD از همان میانه فصل رشد اول کمتر از دو راهبرد دیگر بود اما در پایان سال دوم کمترین میزان کاهش را تجربه کرد و بنابراین بیشترین مقادیر جذب پتاسیم (۱,۸۷ درصد) را نشان داد. همچنین کاهش نسبت پتاسیم به سدیم در PRD در نتیجه جذب پتاسیم بیشتر در مقایسه با دو راهبرد دیگر کمتر بود. بنابراین کاربرد PRD به دلیل تاثیر مثبت بر جذب نیتروژن و پتاسیم و همچنین تعدیل مناسب نسبت پتاسیم به سدیم توصیه می‌شود.

کلمات کلیدی: آبیاری بخشی ریشه، آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، نسبت پتاسیم به سدیم، کم آبیاری تنظیمی.

مقدمه

یکی از راهکارهای استفاده بهینه از منابع آب موجود، انجام کم آبیاری در باغ‌ها در طول فصل رشد می‌باشد. در کم آبیاری تنظیمی^۱ (RDI)، کم آبیاری در مراحل فنولوژیکی خاصی که به تنش آبی حساسیت کمتری دارند اعمال می‌گردد و باعث عدم کاهش یا کاهش اندک سود اقتصادی می‌شود. در آبیاری بخشی ریشه^۲ (PRD)، تنها یک طرف گیاه آبیاری می‌شود و بطور متناوب در هر دور آبیاری جابجا می‌شود، بنابراین در حالی که یک سمت ریشه در خاک خشک قرار گرفته است طرف دیگر آبیاری شده و ریشه در دو طرف در حال رشد است (پرویزی و همکاران، ۲۰۱۴). این تغییرات در وضعیت رطوبتی باعث تحریک سیگنال‌های فیزیولوژیکی در گیاه شده و تعادل بین جذب آب و مواد مغذی را تنظیم می‌کند. علاوه بر این، PRD موجب توسعه بیشتر ریشه‌ها در بخش‌های مرطوب خاک شده و قابلیت جذب عناصر غذایی را افزایش می‌دهد. از دیدگاه تغذیه‌ای، یکی از تأثیرات قابل توجه PRD بر جذب نیتروژن مشاهده شده است. نیتروژن یکی از عناصر حیاتی برای رشد گیاهان است و در شرایط کم‌آبی، کارایی جذب آن می‌تواند تحت تأثیر قرار گیرد (Soltani et al., 2021). همچنین، نسبت پتاسیم به سدیم (K/Na) یکی از شاخص‌های مهم در تحمل به تنش خشکی است (González, 2023). پژوهش‌ها نشان داده‌اند گیاهانی که تحت PRD رشد می‌کنند، نسبت K/Na بالاتری را حفظ می‌کنند، زیرا میزان جذب سدیم در این روش کاهش می‌یابد و گیاه قادر به حفظ پتاسیم بیشتری است. پتاسیم نقش کلیدی در تنظیم فشار اسمزی، عملکرد سلولی و باز و بسته شدن روزنه‌ها دارد، بنابراین افزایش نسبت K/Na منجر به بهبود مقاومت گیاه در برابر خشکی می‌شود. کاهش سدیم در بافت‌های گیاهی نیز باعث کاهش

¹ Regulated Deficit Irrigation

² Partial Root Zone Drying Irrigation



اثرات منفی تنش بر رشد گیاه خواهد شد. بنابراین، PRD نه تنها به کاهش مصرف آب و افزایش کارایی جذب نیتروژن کمک می‌کند، بلکه باعث تنظیم تعادل یونی و افزایش تحمل گیاه در برابر شرایط محیطی نامساعد مانند تنش خشکی می‌شود (Zhang et al., 2024). اگر چه پژوهش‌های پیشین بر اثرات مثبت PRD در تنظیم تعادل یونی و جذب نیتروژن پرداخته‌اند، اما این موضوع در درختان کمتر مورد توجه واقع شده است و در پسته مطالعه‌ای برای آن یافت نمی‌شود. بر این اساس در پژوهش حاضر، اثر راهبردهای آبیاری بخشی ریشه و کم آبیاری تنظیمی با استفاده از آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی بر روی درختان پسته بررسی و اثرات آن بر جذب سدیم، پتاسیم و نیتروژن و همچنین تاثیر نسبت پتاسیم به سدیم در تحمل تنش خشکی در این درختان ارزیابی گردید.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در شرق استان فارس و در محدوده طول جغرافیایی $54^{\circ} 58' 48''$ و عرض جغرافیایی $28^{\circ} 58' 22''$ و ارتفاع ۱۵۸۰ متر از سطح دریا انجام شده است. این پژوهش به مدت دو سال و طی سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ بر روی تعداد ۱۸۰ اصله درخت ۱۲ ساله رقم اکبری انجام شد. خاک ناحیه پژوهش دارای بافت لومی سیلتی با مقدار رطوبت حجمی ۴۰٫۸ و ۱۴٫۱ درصد در نقطه ظرفیت زراعی و پژمردگی دائم و شوری متوسط ۶٫۸۵ دسی زیمنس بر متر در محدوده توسعه ریشه بود. شوری آب آبیاری در ابتدای شروع پژوهش در دو سال متوالی به ترتیب ۵٫۱۴ و ۵٫۶۷ دسی زیمنس بر متر بود. آزمایشات در قالب طرح کرت‌های خرد شده با دو پلات اصلی شامل دو نوع سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی (SDI) و زیر سطحی (SSDI) و سه پلات فرعی شامل سه استراتژی آبیاری کامل به میزان ۱۰۰ درصد نیاز تبخیر تعرق گیاه (FI)، آبیاری بخشی ریشه به میزان ۳۵ درصد نیاز تبخیر تعرق (PRD) و کم آبیاری تنظیمی به میزان ۶۰ درصد در مراحل اول و دوم فنولوژیکی، ۱۱۵ درصد در اولین دور آبیاری در مرحله سوم و ۱۰۰ درصد نیاز تبخیر تعرق گیاه در ادامه تا پایان فصل رشد (RDI) در سه تکرار اجرا گردید. برای بررسی اثرات تنش خشکی حاصل از مدیریت آبیاری، میزان جذب عنصر نیتروژن به روش کلدال و عناصر سدیم و پتاسیم با استفاده از دستگاه فلیم فوتومتر اندازه گیری شدند. بدین منظور، دو بار، یکی در میانه فصل رشد (هفته سوم تیرماه معادل ۱۱۴ روز پس از شروع فصل رشد) و بار دیگر در انتهای فصل برداشت و بلافاصله بعد از برداشت محصول، نمونه‌ها جمع‌آوری گردید. در پایان اطلاعات جمع‌آوری شده توسط نرم افزار MSTAT-C تحلیل و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چندگانه دانکن در سطح معنی‌داری ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

میزان جذب سدیم، پتاسیم و نیتروژن

تغییرات میزان سدیم، پتاسیم و نیتروژن در برگ درختان پسته در اثر مدیریت‌های مختلف آبیاری در جدول ۱ نشان داده شده است. بر این اساس درصد نیتروژن برگ در سال دوم و برای تمام مدیریت‌ها بالاتر از مقادیر متناظر آن در سال اول پژوهش بود. این امر در واقع به دلیل تفاوت در مدیریت کودی باغدار بود و ناشی از اثرات مدیریت آبیاری نبود. همچنین، مقادیر نیتروژن برگ در انتهای فصل رشد نسبت به میانه فصل رشد به ترتیب به میزان ۱۰ و ۲۰ درصد در سال اول و دوم پژوهش کاهش یافت. در سال ۱۳۹۵ و علیرغم این که تا میانه فصل رشد، بیشترین مقادیر جذب نیتروژن در PRD و کمترین آن در RDI رخ داد اما تفاوت‌ها از نظر آماری معنی‌دار نبود. علاوه بر این، آبیاری قطره‌ای زیرسطحی برتری معنی‌داری نسبت به آبیاری قطره سطحی نشان نداد. در ادامه و با رسیدن به انتهای فصل رشد، همراه با کاهش مقادیر نیتروژن جذبی توسط برگ، اختلاف بین مدیریت‌های آبیاری به طور معنی‌داری افزایش یافت. بر این اساس، PRD دارای بیشترین مقادیر متوسط نیتروژن جذب شده در هر دو روش آبیاری سطحی و زیرسطحی به میزان ۱٫۹۵ درصد بود. پس از آن نیز FI با ۱٫۷ و RDI با ۱٫۶۴ درصد قرار گرفتند. در سال دوم نتایج با سال اول متفاوت بود به گونه‌ای که اختلاف بین برخی از مدیریت‌های آبیاری از نظر آماری معنی‌دار بود. مشابه سال



اول، تفاوت بین روش آبیاری سطحی و زیر سطحی به جز در راهبرد RDI معنی‌دار نبود. همچنین بر خلاف سال اول، اختلاف معنی‌داری در پایان فصل رشد بین مدیریت‌های مختلف آبیاری وجود نداشت. در میانه فصل دوم، بیشترین مقادیر جذب نیتروژن در FI و با میانگین ۲,۵۳ درصد مشاهده شد. RDI و PRD به ترتیب با میانگین ۲,۴۷ و ۲,۴۳ درصد در رتبه‌های بعد قرار گرفتند.

تاثیر مدیریت آبیاری بر میزان جذب عنصر سدیم نیز در دو سال متوالی رفتار متفاوتی را نشان داد. بطور کلی تفاوت بین کاربرد راهبردها و روش‌های مختلف آبیاری در هیچ یک از دو سال در میانه و انتهای فصل رشد معنی‌دار نبود. با این حال، میزان جذب سدیم در انتهای فصل اول رشد نسبت به میانه آن حدود ۱۵ درصد افزایش یافت. این افزایش احتمالاً به دلیل تجمع شوری در ناحیه ریشه در خاک می‌باشد. در سال ۱۳۹۶، مقدار جذب سدیم در انتهای فصل رشد بر خلاف سال اول با کاهش حدود ۱۸ درصدی روبرو بود. مدیریت آبیاری بر مقادیر جذب پتاسیم توسط گیاه در هیچ یک از دو سال دارای اثر معنی‌دار نبود. میزان جذب پتاسیم در راهبرد PRD اگر چه از همان میانه فصل رشد اول کمتر از دو راهبرد دیگر بود اما در پایان سال دوم کمترین میزان کاهش را تجربه کرد و بنابراین بیشترین مقادیر جذب پتاسیم با میانگین ۱,۸۷ درصد نشان داد. این کاهش جذب در دو راهبرد دیگر تقریباً برابر و بیش از ۱۵ درصد بود. بنابراین در مقایسه با FI، این راهبرد علیرغم کاهش قابل توجه آب مصرفی قادر به حفظ مناسب میزان جذب پتاسیم در درختان پسته بود که نشان دهنده اثربخشی این راهبرد می‌باشد. ثابت شده است که تنش آبی بصورت معمول می‌تواند منجر به کاهش قابل توجه جذب عناصری مانند سدیم، پتاسیم و نیتروژن در درختان پسته گردد (معزی و همکاران، ۱۳۹۸؛ Soltani et al., 2021). همچنین گزارش شده است که در گیاهانی مانند برنج، کاربرد این راهبرد منجر به کاهش جذب نیتروژن می‌شود (یوسفیان و همکاران، ۱۴۰۱). در مورد PRD اما نتایج پژوهش‌های پیشین ثابت می‌کند که در گیاهان مختلف به دلیل تشکیل ریشه‌های جدید و دسترسی به آب بیشتر در دو طرف ریشه، میزان جذب عناصر نیز بهبود می‌یابد (Shahnazari et al., 2008; Wang et al., 2017; Zhang et al., 2021). بنابراین در پژوهش حاضر، میزان جذب عناصری مانند نیتروژن و پتاسیم در PRD به میزان تنها ۳۵ درصد نیاز آبی گیاه که همراه با تنش قابل توجه خشکی بود نه تنها منجر به کاهش معنی‌دار نگردید، بلکه در برخی موارد نیز با افزایش‌هایی همراه بود که تایید کننده نتایج مطالعات پیشین می‌باشد. جدول ۱- میزان درصد عناصر جذب شده توسط برگ در تیمارهای مختلف در دو سال پژوهش

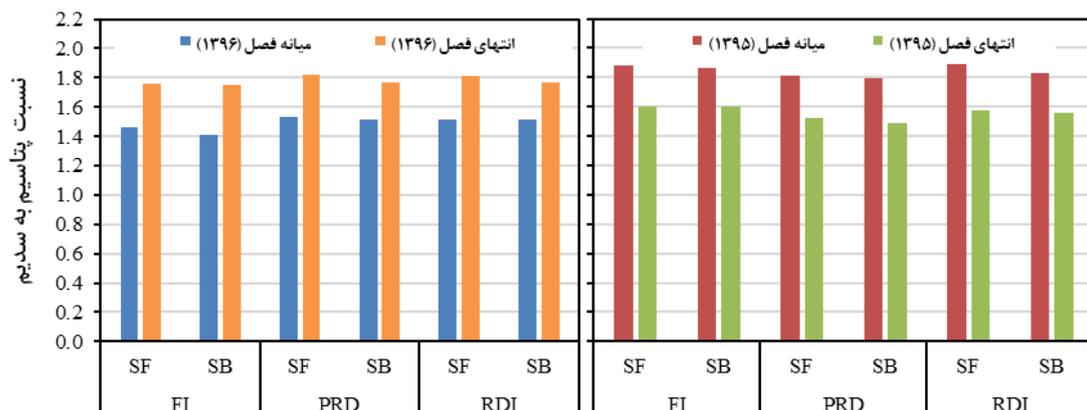
عناصر	سال	زمان اندازه‌گیری	مدیریت‌های آبیاری					
			FI*		PRD		RDI	
			SDI	SSDI	SDI	SSDI	SDI	SSDI
درصد نیتروژن	1395	میانه فصل	1.93	1.98	2.02	2.02	1.93	1.94
		انتهای فصل	1.63 b	1.76 ab	1.94 a	1.97 a	1.62 b	1.66 b
	1396	میانه فصل	2.48 ab	2.57 a	2.39 b	2.48 ab	2.40 b	2.54 a
		انتهای فصل	1.94	1.96	1.97	1.99	1.96	1.97
درصد سدیم	1395	میانه فصل	1.13	1.18	1.10	1.13	1.15	1.19
		انتهای فصل	1.31	1.30	1.33	1.36	1.28	1.29
	1396	میانه فصل	1.31	1.39	1.15	1.17	1.22	1.26
		انتهای فصل	1.02	1.04	1.02	1.07	1.00	1.03
درصد پتاسیم	1395	میانه فصل	2.14	2.19	2.00	2.03	2.17	2.17
		انتهای فصل	2.09	2.08	2.03	2.03	2.01	2.01
	1396	میانه فصل	1.92	1.95	1.76	1.77	1.85	1.91
		انتهای فصل	1.79	1.82	1.86	1.89	1.81	1.82

*FI: آبیاری کامل، PRD: آبیاری بخشی ریشه، RDI: کم آبیاری تنظیمی، SDI: آبیاری قطره‌ای سطحی و SSDI: آبیاری قطره‌ای زیرسطحی.

** حروف متفاوت نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد در آزمون دانکن می‌باشد.

نسبت پتاسیم به سدیم

شکل ۱ نشان دهنده‌ی مقادیر نسبت پتاسیم به سدیم در دو سال متوالی پژوهش و در شرایط کاربرد آبی با شوری تقریبی ۵ دسی زیمنس بر متر با استفاده از مدیریت‌های مختلف آبیاری می‌باشد. بر اساس نتایج، نسبت پتاسیم به سدیم در هر دو سال و برای تمامی مدیریت‌ها مقادیر بالاتر از یک را نشان داد. بالاتر بودن این نسبت بیان‌کننده تحمل مناسب درختان پسته رقم اکبری نسبت به افزایش شوری محلول خاک در نتیجه تنش خشکی می‌باشد. در سال اول پژوهش و در میانه فصل، روش آبیاری زیرسطحی و PRD مقادیر کمتری از نسبت پتاسیم به سدیم را نشان دادند که بیان‌کننده اثر بیشتر تنش خشکی و در نتیجه شوری در ابتدای فصل در آن‌ها می‌باشد. در ادامه و در پایان فصل رشد، اثرات شوری ناشی از تنش خشکی افزایش یافت و باعث کاهش این نسبت شد. در سال دوم و تا میانه فصل رشد، همچنان نسبت پتاسیم به سدیم کاهش و بیان‌کننده تاثیر بیشتر شوری بر گیاه بود. نکته قابل توجه در سال دوم، کاهش کمتر این نسبت در راهبرد PRD نسبت به دو راهبرد دیگر بود به گونه‌ای که منجر به ثبت بیشترین مقدار به میزان ۱,۵۲ برابر برای آن شد. با ادامه فصل رشد در سال دوم و با افزایش حجم کلی آب کاربردی، افزایش قابل توجهی در نسبت پتاسیم و سدیم در تمام مدیریت‌ها مشاهده شد و PRD نیز همچنان مقادیر بالاتری را نشان داد. دلیل عملکرد بهتر راهبرد PRD علیرغم کاربرد قابل توجه تنش خشکی در تعدیل این نسبت و بالا نگه داشتن آن مربوط به نقش مثبت آن در افزایش جذب پتاسیم می‌باشد. رستمی هیر و همکاران (۱۴۰۳) نشان دادند که ارقام مختلف سویا با افزایش نسبت پتاسیم به سدیم با تنش شوری مقابله کرده و ارقامی که این نسبت در آن‌ها بالاتر می‌باشد مقاوم تر هستند. همچنین گونزالس (۲۰۲۳) نشان داد گیاهانی که نسبت بالاتری از پتاسیم به سدیم دارند، مقاومت بیشتری در برابر تنش خشکی نشان می‌دهند، زیرا این تعادل یونی به تنظیم فشار اسمزی و حفظ آب در سلول‌ها کمک می‌کند. برخی گیاهان نیز با کاهش جذب سدیم، توانایی حفظ پتاسیم بیشتری را دارند، که بهبود عملکرد فیزیولوژیکی و رشد آن‌ها را در شرایط کم‌آبی تضمین می‌کند. با این حال، تنش خشکی می‌تواند باعث کاهش کلی جذب پتاسیم و افزایش سدیم در بافت‌های گیاهی نیز شود که ممکن است رشد و عملکرد گیاه را مختل کند. این یافته‌ها نشان می‌دهند که تنظیم دقیق نسبت پتاسیم به سدیم در گیاهان می‌تواند یک راهکار مؤثر برای بهبود تحمل به خشکی و کاهش اثرات منفی کم‌آبی باشد که از طریق راهبرد آبیاری بخشی ریشه امکان پذیر است.



شکل ۱- مقادیر نسبت پتاسیم به سدیم در تیمارهای مختلف برای دو سال پژوهش در میانه و انتهای فصل رشد.

نتیجه گیری

بطور کلی و برای نواحی پسته کاری ایران که عمدتاً در نواحی خشک و نیمه خشک واقع شده‌اند، با توجه به کاهش کمی و کیفی منابع آب شیرین، استفاده بهینه از منابع آب باقی مانده به منظور حفظ باغات تنها از طریق به کارگیری



سیستم‌ها و روش‌های نوین آبیاری امکان پذیر است. آبیاری بخشی ریشه به عنوان روشی که نتایج مثبت متعددی از آن در مورد درختان در نقاط مختلف جهان و شرایط آب و هوایی مختلف گزارش شده است در مورد درختان پسته و در کشور ما نیز نتایج مثبتی به بار خواهد آورد. بنابراین و بر اساس نتایج پژوهش حاضر، کاربرد این راهبرد آبیاری به دلیل تاثیر مثبت بر جذب نیتروژن و پتاسیم و همچنین تعدیل مناسب نسبت پتاسیم به سدیم توصیه می‌شود. این راهبرد منجر به حفظ و تعدیل پتانسیل اسمزی و عملکرد سلولی گیاه شده و ضمن صرفه جویی قابل توجه در مصرف آب، باعث افزایش بازده مصرف آب نیز می‌گردد.

منابع

۱. رستمی هیر، م.، گالشی، س.، سلطانی، ا.، زینلی، ا. (۱۴۰۳). بررسی تاثیر تنش شوری کلرید سدیم بر تجمع سدیم، پتاسیم، نیتروژن و اسید آمینه پرولین در ارقام سویا. مجله تولید گیاهان زراعی. ۱۷ (۱): ۳۸-۱۹.
۲. معزی، ع.، رشیدی، ن.، راهنما، ا. (۱۳۹۸). تاثیر هیومیک اسید بر ویژگی‌های رویشی، جذب فسفر و پتاسیم و رنگدانه‌های فتوسنتزی دانه‌های پسته تحت تنش خشکی. تحقیقات کاربردی خاک. ۷ (۳): ۱۴۹-۱۳۴.
۳. یوسفیان، م.، شاه‌نظری، ع.، ضیاءتبار احمدی، م.، عربزاده، ب.، رائینی سرجاز، م. (۱۴۰۱). بررسی اثر کم آبیاری تنظیم شده و خشکی بخشی ریشه بر خصوصیات دانه برنج و جذب نیتروژن. علوم و مهندسی آبیاری. ۴۵ (۴): ۷۳-۸۶.
4. González, E. M. (2023). Drought stress tolerance in plants. *International journal of molecular sciences*, 24(7), 6562.
5. Parvizi, H., Sepaskhah, A.R. and Ahmadi, S.H. 2014. Effect of drip irrigation and fertilizer regimes on fruit yields and water productivity of a pomegranate (*Punica granatum* (L.) cv. Rabab) orchard. *Agricultural Water Management*, 146: 45-56.
6. Shahnazari, A., Ahmadi, S.H., Lærke, P.E., Liu, F., Plauborg, F., Jacobsen, S.E., Jensen, C.R., Andersen, M.N., 2008. Nitrogen dynamics in the soil-plant system under deficit and partial root-zone drying irrigation strategies in potatoes. *Europ. Jour. of Agro.*, 28: 65-73
7. Soltani-Gerdefaramarzi, S., Beik-Khormizi, V., Azizian, A., & Yarami, N. (2021). Effect of deficit irrigation with treated wastewater on water use efficiency, nutrient uptake, and growth of pistachio seedlings in an arid area. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 21(3), 2153-2163.
8. Wang, Y., Jensen, C. R., & Liu, F. (2017). Nutritional responses to soil drying and rewetting cycles under partial root-zone drying irrigation. *Agricultural Water Management*, 179, 254-259
9. Zhang, J., Wang, Q., Pang, X. P., Xu, H. P., Wang, J., Zhang, W. N., & Guo, Z. G. (2021). Effect of partial root-zone drying irrigation (PRDI) on the biomass, water productivity and carbon, nitrogen and phosphorus allocations in different organs of alfalfa. *Agricultural water management*, 243, 106525.
10. Zhang, Y., Li, X., Jia, L., Ji, L., Wang, C., Xu, W., ... & Liu, P. (2024). Partial root zone irrigation and K application improves summer maize production and salt resistance in saline soil. *Agricultural Water Management*, 303, 109057.

Effect of Irrigation Management on Sodium, Potassium, and Nitrogen Uptake in Akbari Pistachio Trees

Hossein Parvizi¹, Hadis Hatami^{2*}, Ali Momenpour³

¹Assistant Professor of National Salinity Research Center (NSRC), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran.

²Assistant Professor of National Salinity Research Center (NSRC), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran. * h.hatami@areeo.ac.ir

³Assistant Professor of National Salinity Research Center (NSRC), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran

Abstract

This study examined the effects of three irrigation strategies including the Partial Root zone Drying (PRD), Full Irrigation (FI), and Regulated Deficit Irrigation (RDI) in Surface (SDI) and Subsurface (SSDI) drip irrigation systems, on the absorption of sodium, potassium, and nitrogen in Akbari cultivar pistachio trees. Overall, leaf nitrogen levels decreased by 10% and 20% at the end of the growing season compared to the middle of the season in both years. At the end of the first year, PRD had the highest



average nitrogen absorption at 1.95%, followed by full irrigation at 1.7% and regulated deficit irrigation at 1.64%. The impact of irrigation management on sodium and potassium absorption was not statistically significant. Potassium absorption in PRD was lower than the other two strategies from the middle of the first growing season but experienced the least reduction by the end of the second year, resulting in the highest potassium uptake (1.87%). Additionally, the reduction in the potassium-to-sodium ratio in PRD was lower due to increased potassium absorption compared to the other strategies. Thus, PRD is recommended for its positive effects on nitrogen and potassium absorption and its ability to balance the potassium-to-sodium ratio effectively.

Keywords: Partial root zone drying irrigation, Regulated deficit irrigation, Subsurface drip irrigation, potassium to sodium ratio.