مدیریت آب و آبیاری
دوره ۸ ■ شماره ۲ ■ پاییز و زمستان ۱۳۹۷
صفحه‌های ۲۰۹-۱۹۳

# بررسی تأثیر آب زیرزمینی کم‌عمق و شور بر عملکرد گیاه استویا

زهرا جلیلی[۱]، هوشنگ قمرنیا[۲*]، دانیال کهریزی[۳]

۱. دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آب، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.
۲. استاد، گروه مهندسی آب، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.
۳. دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

تاریخ ارسال: ۱۳۹۷/۰۶/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۸/۲۰

**چکیده**

آب زیرزمینی شور کم‌عمق می‌تواند تا حدودی نیاز پاره‌ای از گیاهان را تأمین کند. در این رابطه آزمایشی به‌منظور بررسی اثر آب زیرزمینی کم‌عمق و شور بر کمک به تبخیر تعرق گیاه استویا در قالب طرح کاملاً تصادفی به‌صورت فاکتوریل با سه تکرار در سال های ۹۵-۱۳۹۶ در مزرعه تحقیقاتی گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه رازی کرمانشاه انجام شد. تیمارهای اعمال‌شده شامل آب زیرزمینی با سطوح شوری ۱ و ۲ و ٦ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر در سه عمق ۰/۷ و ۰/۹ و ۱/۲ متر بود. نتایج نشان داد که درصد مشارکت آب زیرزمینی برای سطوح شوری ۱، ۲، ٦ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر در عمق‌های ۰/۷ و ۰/۹ و ۱/۲ متری به‌ترتیب در حدود (٦٦/٥، ٥٧/٧، ٤٥/٣)، (٦١/٥، ٥٢/٧، ٤٢/١)، (٥٩/٩، ٤٩/٤، ٤١/٠) و (٥٩/٠، ٤٦/٦، ٤٠/١) درصد نیاز کلی گیاه بود. نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از آب‌های زیرزمینی کم‌عمق با شوری کمتر از ۲ دسی‌زیمنس بر متر برای آبیاری گیاه استویا می‌تواند به‌صورت قابل‌توجهی نیاز آبی گیاه را برطرف نموده و به تبخیر تعرق گیاه کمک کند.

**کلیدواژه‌ها:** آب زیرزمینی، ، استویا، اقلیم نیمه‌خشک، شوری، کم‌عمق.

* نویسنده مسئول
Email: hgamarnia@razi.ac.ir

**مقدمه**

امروزه بحران آب مشکل اصلی اغلب کشورهای جهان است، زیرا که منابع آب تجدیدشونده جهان محدود است. ایران کشوری با متوسط بارش ۲۲۰ میلی‌متر در سال است (۹). بنابراین محدودیت منابع آب یکی از مهمترین مشکلات کشاورزی در کشور است و همچنین افزایش روزافزون جمعیت، نیاز به تولید مواد غذایی را بیشتر کرده است. از این‌رو یافتن راه‌هایی برای مقابله با کمبود آب در این مناطق همواره از اولویت‌های مطالعاتی و پژوهشی برخوردار بوده است. وسعت اراضی شور در حدود ۱۵/۲٪ از وسعت کل ایران یا در حدود ۲۵ میلیون هکتار از اراضی کشور می‌باشد که این اراضی در نتیجه شوری و قلیائیت بایر و بلااستفاده مانده است (۹). بخش بزرگی از خاک‌ها و حجم چشم‌گیری از کل منابع آبی موجود کشور به درجات مختلف مبتلا به شوری هستند. یکی از راهکارهای اساسی توسعه کشاورزی و افزایش سطح زیر کشت محصولات استفاده از منابع آب موجود از طریق اعمال سیاست‌های کم‌آبیاری است. در بعضی از مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان اغلب آب زیرزمینی کم‌عمق که با مسائل شوری و ماندابی اراضی نیز همراه است، به‌چشم می‌خورد (۳). راه‌حل اصلی، پایین انداختن سطح سفره آب زیرزمینی از طریق احداث سیستم‌های مختلف زهکشی زیرزمینی است، غافل از این‌که بالابودن سطح سفره آب زیرزمینی نعمتی است که از آن می‌توان جهت جبران قسمتی از نیازهای آب مورد نیاز گیاه استفاده نمود. اگر گیاه مجبور به جذب مقداری از نیاز آبی خود از آب زیرزمینی گردد، نتیجتاً مقدار آب جذب‌شده از خاک و همچنین دور و عمق آبیاری مورد نیاز آن کاهش می‌یابد. بنابراین آب زیرزمینی کم‌عمق یک منبع رایگان جهت تأمین آب کشاورزی است که آبیاری به‌وسیله آب زیرزمینی کم‌عمق را آبیاری زیرزمینی نیز می‌نامند. قمرنیا و جلیلی در آزمایشی برای بررسی کمک آب زیرزمینی به تبخیر تعرق و عملکرد محصول گیاه دارویی سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) آزمایش لایسیمتری در دو سال ۱۳۹۱–۱۳۹۰ و ۱۳۹۰–۱۳۸۹ انجام دادند. گیاه سیاهدانه در ۲۷ لایسیمتر با قطر ۰/٤ متر و پرشده از خاک منطقه (سیلتی–کلی) کاشته شد. این آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام گرفت. تیمارهای موردبررسی در این آزمایش شامل سه ایستابی آب زیرزمینی کم‌عمق با عمق‌هایعمق‌های ۰/٦، ۰/۸ و ۱/۱ متر و سه سطح شوری ۱، ۲ و ٤ دسی‌زیمنس بر متر بود. مقدار استفاده گیاه از آب زیرزمینی کم‌عمق به‌صورت روزانه توسط ماریوت سیفون اندازه‌گیری شد. برای برطرف کردن نیازهای آبی گیاه در طول این آزمایش، از آبی با کیفیت شوری ۰/۵ دسی‌زیمنس بر متر استفاده شد. نتایج نشان داد که درصد مشارکت آب زیرزمینی برای سطوح شوری ۱، ۲ و ٤ دسی‌زیمنس بر متر در عمق‌هایعمق‌های ۰/٦ و ۰/۸ و ۱/۱ متری به‌ترتیب در حدود (٦۷/۲۵، ۵۵، ٤۵/۷۵ درصد)، (٦۰/۷۵، ۵۰، ٤۱/۵ درصد) و (۵٤/۲۵، ٤۳/۵، ۳٦ درصد) نیاز کلی گیاه بود (۸). ایارز و همکاران در یک مطالعه، آب مصرفی توسط یونجه را از آب زیرزمینی بررسی نمودند. آنها در تحقیق خود از لایسیمترهایی برای تعیین پتانسیل آب مصرفی یونجه از آب زیرزمینی کم‌عمق به‌عنوان تابعی از کیفیت و عمق سطح ایستابی استفاده کردند. نتایج نشان داد که بیش از ۵۰ درصد آب مصرفی از سطح ایستابی با عمق کمتر از ۱/۵ متر با شوری کمتر از ٤ دسی‌زیمنس بر متر استحصال شده است. همچنین با گذشت زمان، پروفیل خاک‌هایی که دارای آب زیرزمینی کم‌عمق با شوری بیش از ٤ دسی‌زیمنس بر متر بود شورتر شده که منجر به کاهش مقدار استفاده گیاه از آب زیرزمینی شد (٤). نوری و همکاران در آزمایشی با استفاده از لایسیمتر زهکش‌دار به بررسی تأثیر مدیریت سطح آب زیرزمینی بر کنترل شوری خاک و عملکرد محصول یونجه پرداختند. در این آزمایش سطح آب زیرزمینی در ارتفاع ۰/۵،

۰/۷ و ۱ متری ثابت شده بود. نتایج آزمایش نشان داد که متوسط هدایت هیدرولیکی خاک در منطقه توسعه ریشه گیاه افزایش یافته بود. حداکثر شوری در عمق‌های ۰/۵ و ۰/۷ متری سطح آب زیرزمینی نسبت به حالتی که عمق آب زیرزمینی ۱ متر بود به‌ترتیب ۷۳ و ۵۲ درصد افزایش داشت (۱۲). الحسینی و همکاران به بررسی تنش شوری (با شوری ۰/٤، ۲/۵، ۵ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر) و سالیسیلیک اسید را بر روی گیاه استویا مورد بررسی قرار دادند. نتایج بررسی‌ها نشان داد زمانی‌که شوری آب آبیاری به ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر و غلظت سالیسیلیک اسید به ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر می‌رسد عملکرد محصول استویا به میزان ۲۰ درصد کاهش می‌یابد (۷). ریس و همکاران به بررسی تأثیر آب آبیاری شور با شوری‌های ۰/٤، ۳/۸، ٦/۳، ٦/۲، ۹/۷ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر در سال اول کشت و شوری‌های ۰/۳، ۲/٦، ٤/٦، ٦/۰، ۷/۳ و ۹/٦ دسی‌زیمنس بر متر در سال دوم کشت پرداختند. نتایج آزمایش آنها نشان داد که کاهش محصول استویا در دو سال انجام کشت با افزایش شوری آب آبیاری از ۲ دسی‌زیمنس بر متر بالاتر آغاز گردید (۱۳). گوییز و همکاران (۱۰) با مطالعه چهار عمق سطح ایستابی ٦، ۱۲، ۱۸ و ۲٤ اینچ روی گیاهان گوجه فرنگی، لوبیا سبز و ذرت شیرین در سه بافت خاک دریافتند که میزان محصول دهی همان‌طورکه به بافت خاک بستگی دارد از عمق سطح ایستابی نیز تأثیر می پذیرد و میزان آب استفاده شده به‌طور خطی با مقدار ماده خشک تولیدشده افزایش می‌یابد. بنز و همکاران (۵ و ٦) با مطالعه ٤ عمق سطح ایستابی (٤٦، ۱۰۱، ۱۵۵ و ۲۱۰ سانتی‌متر) و سه سطح آبیاری (۰/۳، ۰/۸ و ۱/۳ برابر تبخیر تعرق روی گیاه یونجه دریافتند که بیشترین محصول مربوط به عمق سطح ایستابی ۱۵۵ و ۲۱۰ سانتی‌متر و سطح آبیاری ۰/۸ می‌باشد. همچنین بیشترین تبخیر تعرق واقعی و مصرف آب مربوط به عمق سطح ایستابی ٤٦ سانتی‌متر می‌باشد. آنها نشان دادند که سطح آب بالا در شرایط آبیاری بین ۰/٦ تا ۳۸/٤ درصد تبخیر تعرق را تأمین می‌کند که ۳۸/٤ درصد مربوط به کمترین سطح آبیاری و ۰/٦ درصد مربوط به سطح آبیاری ۱/۳ است. بارگاهی و موسوی به بررسی تأثیر سطح ایستابی کم‌عمق (در ٤ عمق سطح ایستابی ۵۰، ۷۰، ۹۰ و ۱۲۰ سانتی‌متر) و شور آب زیرزمینی (دو سطح شوری آب زیرزمینی ۰/٦ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر) بر کمک آب زیرزمینی به تبخیر تعرق گیاه گلرنگ پرداختند. نتایج نشان داد که بیشترین مقدار تبخیر تعرق (۲۵۱ سانتی‌متر) در سطح ایستابی ۵۰ سانتی‌متر با شوری ۰/٦ دسی‌زیمنس بر متر و کمترین مقدار تبخیر تعرق (٤۳/۹ سانتی‌متر) در سطح ایستابی ۹۰ سانتی‌متر با شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر صورت گرفت (۱). به‌طورکلی شوری آب زیرزمینی باعث کاهش معنی‌داری در تبخیر تعرق گیاه، تبخیر از سطح خاک، تعرق گیاه و کمک آب زیرزمینی به تبخیر تعرق گردید. گیاه استویا معمولاً به‌صورت یک نبات علفی چندساله در زیستگاه طبیعی خود در کشور پاراگوئه می‌روید. تمامی قسمت‌های سبزرنگ گیاه از طعم و مزه شیرین برخوردار می‌باشند برگ‌های گیاه استویا به‌منظور شیرین‌سازی مواد غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرند. عصاره خالص‌سازی‌شده گلیکوزیدهای استویول به‌علت داشتن طعم شیرین مطبوع در صنایع غذایی مورد کاربرد قرار گیرد. گلیکوزید تولیدی از گیاه استویا ۱۵۰ تا ۳۰۰ برابر شیرین‌تر از ساکاروز تولیدی از چغندرقند بوده و استویا دارای ترکیبات رزینی معطر می‌باشد که اثر دارویی تقویت‌کننده بر دستگاه هاضمه دارند. بنابراین کشت گیاه استویا در ایران و پیدا کردن راهی برای هماهنگ‌سازی این گیاه با شرایط آب‌وهوایی ایران و افزایش کارایی مصرف آب (به‌کمک استفاده از آب زیرزمینی کم‌عمق و شور) از لحاظ اقتصادی بسیار کمک‌کننده است (۱۱). گیاه مورد بررسی در این پژوهش، گیاه استویا با نام علمی *Stevia rebaudiana* (Bert.) Bertoni یکی از ۱۵٤ تا بیش از ۲۰۰ گونه گیاهی

متعلق به جنس *Stevia* و از نباتات بومی کشور پاراگوئه است که دارای شیرین‌کننده‌های طبیعی عاری از کالری می‌باشد. گیاه استویا بهدلایل متعددی از قبیل سازگاری بسیار بالا به محدوده وسیعی از شرایط مختلف اقلیمی، محتوای بالای شیرین‌کننده‌های طبیعی قابل استحصال و نقش چشم‌گیری که در رفاه، آسایش و سلامت زندگی بشر خصوصاً افراد مبتلا به بیماری دیابت بازی می‌کند دارای ارزش فوق‌العاده بالایی است. این گیاه متعلق به جنس استویا بوده که این جنس به‌نوبه خود تعلق به خانواده کاسنی دارد. بررسی‌های انجام شده نشانگر آن است که تا کنون در هیچ مرجعی در رابطه با استفاده گیاه استویا از آب زیرزمینی با شوری‌های مختلف تحقیقی صورت نپذیرفته و از میزان کمک آب زیرزمینی کم‌عمق و شور به میزان تبخیر تعرق این گیاه اطلاعاتی در دست نیست. بنابراین ازآنجایی‌که در زمان رشد این گیاه در پاره‌ای از مناطق جنوبی، غربی، شمال‌غرب و شمال ایران سطح سفره آب زیرزمینی بالا بوده و این موضوع می‌تواند مورد استفاده این گیاه قرار گیرد. لذا، در این تحقیق اثر عمق‌های مختلف آب زیرزمینی (۰/۷ و ۰/۹ و ۱/۲ متر) با سطوح مختلف شوری ۱، ۲، ٦ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر بر روی عملکرد گیاه استویا مورد بررسی و تجزیه‌وتحلیل قرار گرفته است.

## مواد و روش‌ها

آزمایش در سال‌های ۱۳۹۵ الی ۱۳۹٦ در مزرعه تحقیقاتی گروه مهندسی آب دانشگاه رازی با طول و عرض جغرافیایی به‌ترتیب ٤۷ درجه و ۹ دقیقه شرقی و ۳٤ درجه و ۲۱ دقیقه شمالی و ۱۳۱۹ متر ارتفاع از سطح دریا با اقلیم منطقه (نیمه‌خشک) انجام شد. برای این منظور از لایسیمترهایی از جنس پلی‌اتیلن با قطر خارجی ٤۰۰ میلی‌متر و ارتفاع ۲ متر که از خاک منطقه پر شدند استفاده شد. در این رابطه خاک از الک ۲ میلی‌متری گذرانده شده تا سنگریزه‌های آن جدا شود، ضمناً پر کردن لایسیمترها با حفظ دانه‌بندی خاک صورت گرفته است. برخی از مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در جدول (۱) ارائه شده است، انتهای این لایسیمترها توسط رینگ و فلنچ کاملاً آب‌بندی‌شده تا از خروج آب از انتهای آنها جلوگیری شود. یک لایه ۵ سانتی‌متری شن در کف هر لایسیمتر ریخته‌شده و بر روی آن یک لایه ۵ سانتی‌متری ماسه قرار گرفت. پس از آماده‌کردن لایسیمترها به هر کدام از آنها کودهای اوره (N)، سوپر فسفات تریپل (P) و سولفات پتاسیم (K) به‌میزان ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار داده شده و با خاک سطحی مخلوط گردید. آزمایش در ۱۵ اردیبهشت سال ۱۳۹۵ شروع شده و در ۳۰ مهر ۱۳۹٦ به پایان رسید. برای رساندن رطوبت خاک هر لایسیمتر به حالت ظرفیت زراعی دو روز قبل از عملیات کاشت نشا در خاک، آبیاری انجام گردید سپس در تاریخ ۱۵ اردیبهشت سال ۱۳۹۵ نشا ریشه لخت استویا در عمق ۲ سانتی‌متری خاک با فواصل بین ردیفی ۵ سانتی‌متر کاشته شد. ٤۵ روز پس از کاشت استویا زمانی‌که چهار برگ جدید از نشا گیاه رویش پیدا کرده بود و ریشه نشاها استقرار یافتند تیمارهای مورد نظر اعمال گردید. تیمارهای درنظر گرفته‌شده در این پژوهش شامل، سه سطح ایستابی آب زیرزمینی که در عمق‌های ۰/۷، ۰/۹و ۱/۲ متری از سطح لایسیمتر ثابت نگه داشته شده‌اند و چهار سطح شوری آب زیرزمینی ۱ (کیفیت آب منطقه ) و ۲ و ٦ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر بود، مجموع این تیمارها در سه تکرار معرف پژوهش موردنظر است. برای شور کردن آب‌ها از دو نمک NaCl و $CaCl_2$ (جهت جلوگیری از دیسپرسه شدن خاک لایسیمترها) به نسبت ۱:۱ و با خلوص ۸۰ درصد استفاده شد. بنابراین تعداد ۳٦ لایسیمتر در نظر گرفته شد. برای ثابت نگهداشتن عمق آب زیرزمینی از ماریوت سیفون استفاده شد، در طول آزمایش میزان کاهش آب در ماریوت سیفون‌ها نشان‌دهنده میزان کمک آب زیرزمینی به آب مصرفی گیاه بوده است.

خصوصیات شیمیایی آب استفاده شده در جدول (۲) ارائه شده است. آزمایش در قالب طرح کامل تصادفی و به‌صورت فاکتوریل با سه تکرار انجام شد.

برای محاسبه تبخیر تعرق گیاه مرجع (چمن) از سه دستگاه لایسیمتر زهکش‌دار استوانه‌ای با قطر ۱/۵ متر و ارتفاع ۱/۲ متر و با سطح مقطع ۱/۷۷ مترمربع در مزرعه تحقیقاتی استفاده شد. لایسیمترها از جنس آهن گالوانیزه بوده و برای جلوگیری از نشت آب به خارج، بدنه بیرونی لایسیمترها با لایه‌ای از ایزوگام پوشیده شده و سپس برای جلوگیری از جذب نور و بالا رفتن دمای داخلی و کاهش خطای آزمایش، لایسیمترها با رنگ سفید پوشیده شدند. جهت نصب لایسیمترها گودال‌هایی بزرگ‌تر از ابعاد لایسیمترها حفر گردید و لایسیمترها در داخل آنها قرار داده شدند. کف لایسیمترها به‌صورت شیب‌دار بوده و در انتها به‌وسیله لوله‌ای به خارج متصل گردیده تا زه‌آب‌ها به محل اندازه‌گیری هدایت شوند. در کف لایسیمترها به اندازه ۱۵ سانتی‌متر شن ریخته شد و سپس لایسیمتر با خاک محل حفر گودال با در نظر گرفتن ترتیب لایه‌های پروفیل خاک، پر و در چندین نوبت فشرده گردید. جهت تحکیم خاک قبل از انجام عملیات کشت بر روی لایسیمتر، در چند نوبت به خاک درون لایسیمتر آب داده شد و پس از نشست کامل مجدداً لایسیمتر تا سطح موردنظر با خاک پر گردید. در این آزمایش جهت اندازه‌گیری تبخیر تعرق گیاه مرجع (چمن) از سه دستگاه لایسیمتر زهکش‌دار استوانه‌ای که در اطراف آن تا شعاع سه متری گیاه یونجه کشت شده بود استفاده گردید. همچنین برای اندازه‌گیری تبخیر تعرق گیاه استویا به‌صورت همزمان از سه دستگاه لایسیمتر زهکش‌دار استوانه‌ای دیگر استفاده شد. در این آزمایش برای اندازه‌گیری تبخیر تعرق گیاه مرجع (چمن) و استویا از رابطه بیلان آبی خاک (رابطه ۱) استفاده شد که در آن (I) عمق آب آبیاری، (P) بارندگی، (ΔS) تغییرات رطوبت خاک و (D) عمق آب زهکشی‌شده می‌باشد.

$$ETC = P + I - D \pm \Delta S \qquad (1)$$

**جدول ۱. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه مورد مطالعه**

| عمق نمونه‌گیری | وزن مخصوص ظاهری | بافت خاک | شن (٪) | سیلت (٪) | رس (٪) |
|---|---|---|---|---|---|
| ۰ -۳۰ | ۱/۳ | سیلتی کلی | ۳/۷ | ٤۲/۳ | ٥٤ |
| ۳۰ -٦۰ | ۱/۳ | | | | |

**ادامه جدول ۱. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه مورد مطالعه**

| فسفر قابل جذب (p .p. m) | پتاسیم قابل جذب (p .p. m) | کربن آلی (٪) | Mn (Meq/l) | Fe (Meq/l) | Zn (Meq/l) | Cu (Meq/l) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ۲٦ | ٤٤۰ | ۱/۳۸ | ۷/۸ | ۱۱/۹ | ۱/۳٦ | ۱/٦٤ |

**جدول ۲. خصوصیات شیمیایی آب منطقه مورد مطالعه**

| کربنات (Meq/l) | بی کربنات (Meq/l) | کلرات (Meq/l) | سولفات (Meq/l) | منیزیم و کلسیم (Meq/l) | سدیم (Meq/l) | S.A.R | شوری آب (dS/m) | pH | TDS (mg/lit) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۰/۰ | ٦/۱٥ | ۱/۹ | ۱/۱۸ | ۸/۱٥ | ۱/۰۸ | ۰/٥٤ | ۱ | ۷/۱ | ٦٤۰ |

به‌منظور تعیین مقدار آب آبیاری باید میزان رطوبت در حد ظرفیت زراعی مزرعه برحسب درصد وزنی و جرم مخصوص ظاهری خاک مشخص گردد. میزان عمق آب آبیاری در هر نوبت آبیاری از اختلاف رطوبت خاک تا رسیدن به حد ظرفیت زراعی محاسبه می‌گردد. برای اندازه‌گیری رطوبت ظرفیت زراعی، ابتدا خاک داخل لایسیمتر اشباع گردید و سپس به‌مدت ۲٤ ساعت به آب اجازه نفوذ داده شد بعد از این مدت از خاک نمونه‌برداری‌شده پس از توزین، آن را به‌مدت ۲٤ ساعت در داخل آون که دمای آن حدود ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد بود قرار داده شد تا خشک شود. پس از خشک شدن و توزین مجدد، مقدار رطوبت ظرفیت زراعی با استفاده از معادله (۳) محاسبه شد. با توجه به توضیحات داده‌شده رطوبت ظرفیت زراعی خاک منطقه ۳٤ درصد وزنی به‌دست آمد. در نهایت عمق آب آبیاری (dn) از رابطه (۲) محاسبه گردید:

$$dn = (\theta_{fc} - \theta_m) \times \rho_b \times D \times MAD \qquad (۲)$$

که در آن پارامترهای $\theta_{fc}$ رطوبت ظرفیت زراعی، $\theta_m$ رطوبت اندازه‌گیری‌شده در دوره معین قبل از رسیدن به نقطه پژمردگی دائم، $\rho_b$ جرم مخصوص ظاهری خاک ($gcm^{-3}$)، $D$ عمق لایه خاک و $MAD$ *درصد* تخلیه مجاز رطوبتی می‌باشد. در این تحقیق مقدار $MAD$ معادل ۷۰ درصد در نظر گرفته شد (با توجه به در نظر گرفتن آستانه تحمل گیاه به دوره‌های آبیاری). زه‌آب قبل از هر آبیاری توسط ظروف مدرج اندازه‌گیری و میزان بارندگی به‌صورت روزانه از ایستگاه هواشناسی دریافت می‌گردید. در این تحقیق همچنین اندازه‌گیری رطوبت در دور آبیاری با استفاده از دستگاه $TDR$ انجام شد. سنسورهای دستگاه $TDR$ در عمق‌هایعمق‌های ٤۰، ۸۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری کارگذاری شدند. اطراف سنسورها به‌طور کامل با خاک پوشیده شد که از ایجاد فضای باز جلوگیری شود زیرا وجود درز هوا قرائت‌ها را تحت تأثیر قرار می‌داد (شکل۱).

تبخیر- تعرق گیاه استویا از معادله بیلان آب محاسبه شد. پارامترهای معادله بیلان در دور آبیاری اندازه‌گیری شدند و مقدار تبخیر- تعرق نیز در دور آبیاری محاسبه و در نهایت با تقسیم آن بر تعداد روزهای موجود در دور تبخیر- تعرق گیاه به‌صورت روزانه به‌دست آمد. پس از اندازه‌گیری پارامترهایی نظیر تبخیر- تعرق گیاه مرجع و تبخیر-تعرق گیاه استویا ضریب گیاهی ($Kc$) از رابطه (۳) محاسبه شد:

$$k_c = \frac{ET_c}{ET_o} \qquad (۳)$$

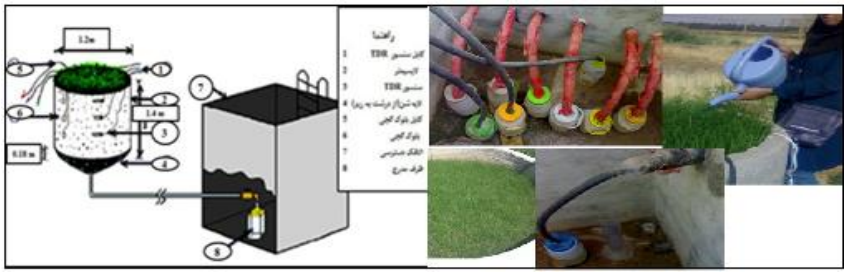
که در آن پارامترهای $K_c$ ضریب گیاهی، $ET_c$ تبخیر- تعرق گیاه استویا (میلیمتر در روز) و $ET_o$ تبخیر- تعرق گیاه مرجع (میلی‌متر در روز) می‌باشد. در این آزمایش، دوره رشد استویا به چهار مرحله (ابتدایی، توسعه، میانی و پایانی) تقسیم شد. مرحله اولیه از تاریخ جوانه زدن بذر تا ۱۰ درصد رشد گیاه، مرحله توسعه از ۱۰ درصد رشد تا شروع گل‌دهی، مرحله میانی ازآغاز گل‌دهی تا رسیدن محصول و مرحله پایانی از انتهای مرحله میانی تا برداشت محصول در نظر گرفته شد. در طی دو سال انجام آزمایش تبخیر- تعرق گیاه مرجع و استویا و به‌تبع آن ضرایب گیاهی برای دوره‌های مختلف رشد به‌صورت روزانه در محیط مزرعه تحقیقاتی به‌دست آمد (۲). به‌منظور تعیین نیاز آبی گیاه استویا، متوسط ضرایب Kc استویا در این تحقیق برای دو سال انجام آزمایش و دوره‌های ابتدایی رشد، توسعه، میانی و انتهایی به‌ترتیب ۰/۷٦، ۱/۱۵، ۱/٤۹ و ۱/۱۷ در نظر گرفته شد (۲). پس از محاسبه نیاز آبی گیاه مقدار بارش و میزان استفاده گیاه از آب زیرزمینی و در نهایت کمبود نیاز آبی گیاه به‌صورت سطحی و با کیفیت ۱ دسی‌زیمنس بر متر تأمین گردید. شاخص کارایی مصرف آب سطحی بر اساس عملکرد برگ از (معادله ٤) و بر اساس عملکرد قند از (معادله ۵) محاسبه شد.

(٤) = شاخص کارایی مصرف آب بر اساس عملکرد دانه

$$\frac{\text{عملکرد دانه (کیلوگرم بر مترمربع)}}{\text{کل آب مصرف‌شده (میلی‌متر)}}$$

(٥) = شاخص کارایی مصرف آب بر اساس عملکرد روغن

$$\frac{\text{عملکرد روغن (کیلوگرم بر مترمربع)}}{\text{کل آب مصرف‌شده (میلی‌متر)}}$$



**شکل ۱. اندازه‌گیری تبخیر- تعرق گیاه استویا و گیاه مرجع با استفاده از لایسیمتر زهکش‌دار**

گلیکوزیدها ترکیبات شیمیایی هستند که از پیوند گروه هیدروکسیل (Hydroxyl) موجود بر روی کربن آنومر (Anomeric) یک مونوساکارید (Monosaccharide) با یک مونوساکارید دیگر و یا با یک ترکیب غیرقندی تولید می‌شوند. گلیکوزیدها حاصل متابولیسم ثانویه گیاهان می‌باشند. در اجزای مختلف پیکره گیاه استویا در حدود ۱۰ ترکیب عمده گلیکوزیدی وجود دارد که گلیکوزیدهای استویوزید و ربادیوزید A نسبت به سایر گلیکوزیدها از اهمیت بیشتری در خاصیت شیرین‌کنندگی استویا برخوردار هستند. در گیاه استویا، ربادیوزید A کمترین تلخ مزگی را در در میان استویل گلیکوزیدها دارد. برای تولید تجاری آن، گیاه استویا خشک شده، به فرایند استخراج آبی وارد می‌شود. این افشره خام محتوی ۵۰٪ ربادیوزید A است، مولکول‌های گلیکوزیدی مختلف آن با فنون متبلورسازی (کریستالزیشن) و با حلال (معمولاً اتانول یا متانول)، مرحله به مرحله از یکدیگر جدا می‌شوند و می‌توان ربادیوزید A را به‌دست آورد. در این تحقیق برای استخراج گلیکوزیدهای استویوزید و ربادیوزید A از دستگاه الایزا ساخت شرکت فندلاند استفاده گردید این دستگاه با استفاده از Stripهایی که در پلیت‌های موجود دستگاه قرار می‌گیرد به استخراج قند از محلول غلیظ‌شده حاصل از برگ‌های گیاه می‌پردازد. محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزار MSTAT-C انجام شد و ترسیم نمودارها با Excel صورت گرفت. مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون دانکن ($P\leq$۰/۰۱) بررسی گردید.

## نتایج

در جدول (۳) مقادیر کل آب استفاده‌شده برای کلیه تیمارها آورده شده است، با توجه به نتایج مندرج در این جدول کل آب استفاده شده برای همه تیمارها شامل ۲٦۷/٤۰ و ۱۵۵/٤۲ میلی‌متر بارندگی در سال اول و دوم رشد گیاه استویا، به‌ترتیب ۱۸۳۲/٤۲ و ۱٦۸۵/٤٦ میلی‌متر در سال ۱۳۹۵ و ۱۳۹٦ محاسبه شده است. در تیمارهای با شوری آب زیرزمینی ۱ و ۲ و ٦ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر کمترین و بیشترین متوسط آب سطحی مصرف‌شده به‌ترتیب متعلق به تیمارهایی با عمق آب زیرزمینی ۰/۷ و ۱/۲ متر می‌باشد. ترتیب آب سطحی مصرف‌شده برای تیمارهای با شوری ۱ دسی‌زیمنس بر متر عبارتست از ۰/۷ (۳۷۸/۲٦ میلی‌متر)>۰/۹ (۵۳٤/٤۹ میلی‌متر)>۱/۲ (۷۵۲/٦٤ میلی‌متر) و برای تیماری با شوری ۲ دسی‌زیمنس بر متر عبارتست از

۰/۷ (٤٦٥/٤٧ میلی‌متر) < ۰/۹ (٦٢٢/٢٣ میلی‌متر)< ۱/۲ (۸۰۸/۷٦ میلی‌متر) و برای تیماری با شوری ٦ دسی‌زیمنس بر متر ۰/۷ (٤۹۳/۷۰ میلی‌متر)< ۰/۹ (٦۸۱/٢٤ میلی‌متر)< ۱/۲ (۸۲۸/٥٤ میلی‌متر) و همچنین برای تیماری با شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر ۰/۷ (٥۰۹/۸٥ میلی‌متر)< ۰/۹ (۷۲۸/۹۹ میلی‌متر)< ۱/۲ (۸٤۳/۷۲ میلی‌متر) است. کل آب زیرزمینی مصرف‌شده و درصد مشارکت آب زیرزمینی و مشارکت آب زیرزمینی برحسب میلی‌متر، درصد و میلی‌متر در روز در تیمار با شوری ۱ دسی‌زیمنس بر متر برای عمق‌های آب زیرزمینی ۰/۷، ۰/۹ و ۱/۲ به‌ترتیب حدود ۱۱٦۹/۲۷ میلی‌متر، ٦٦/٥ درصد، ۲/۱۸ میلی‌متر بر روز< ۱۰۱۳/۰٥ میلی‌متر، ٥۷/۷ درصد، ۱/۸۹ میلی‌متر بر روز< ۷۹٤/۸۹ میلی‌متر، ٤٥/۳ درصد، ۱/٤۸ میلیمتر بر روز بود. در تیمار با شوری ۲ دسی‌زیمنس بر متر به‌ترتیب حدود ۱۰۸۲/۰۷ میلی‌متر، ٦۱/٥ درصد، ۲/۰۲ میلی‌متر بر روز > ۹۲٥/۳۱ میلی‌متر، ٥۲/۷ درصد، ۱/۷۲ میلی‌متر بر روز > ۷۳۸/۷۷ میلی‌متر، ٤۲/۱ درصد، ۱/۳۸ میلی‌متر بر روز و در تیمار با شوری ٦ دسی‌زیمنس بر متر به‌ترتیب حدود ۱۰٥۳/۸۳ میلی‌متر، ٥۹/۹ درصد، ۱/۹٦ میلی‌متر بر روز > ۸٦٦/۲۹ میلی‌متر، ٤۹/٤ درصد، ۱/٦۱ میلی‌متر بر روز > ۷۱۸/۹۹ میلی‌متر، ٤۱/۰ درصد، ۱/۳٤ میلی‌متر بر روز و در تیمار با شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر به‌ترتیب حدود ۱۰۳۷/٦۷ میلی‌متر، ٥۹/۰ درصد، ۱/۹۳ میلی‌متر بر روز > ۸۱۸/٥٥ میلی‌متر، ٤٦/٦ درصد، ۱/٥۲ میلی‌متر بر روز > ۷۰۳/۸۱ میلی‌متر، ٤۰/۱ درصد، ۱/۳۱ میلی‌متر بر روز محاسبه شده است. به‌طورکلی نتایج جدول (۳) نشان می‌دهند که با افزایش عمق آب زیرزمینی مقدار مصرف آب سطحی توسط گیاه نیز افزایش پیدا کرده درحالی‌که مقدار کل آب زیرزمینی مصرف‌شده و مشارکت آب زیرزمینی برحسب درصد و میلی‌متر بر روز کاهش نموده است. با افزایش شوری آب زیرزمینی از ۱ به ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر مصرف آب زیرزمینی کاهش یافته و مصرف آب سطحی توسط گیاه افزایش یافته است. در جدول (٤) خلاصه آنالیز واریانس انجام‌شده برای کل آب زیرزمینی مصرف‌شده و مشارکت آب زیرزمینی برحسب درصد و میلی‌متر بر روز آورده شده است. نتایج نشانگر معنی‌دار بودن مشارکت آب زیرزمینی در عمق‌های مختلف تحت شوری‌های مختلف در سطح ۰/۰۱ می‌باشد. شکل (۲)، تبخیر تعرق و کل آب زیرزمینی مصرف‌شده در طول دوره رشد گیاه استویا را نشان می‌دهد. همچنان‌که شکل (۲) (الف سال ۱۳۹٥ و ب سال ۱۳۹٦) نشان می‌دهد، در تیمار با شوری ۱ دسی‌زیمنس بر متر با عمق‌های آب زیرزمینی ۰/۷ و ۰/۹ متر به‌ترتیب از تاریخ ۱٤ تیر (٦۰ روز پس از کشت) و ۱۹ تیر (٦٥ روز پس از کشت) شروع به استفاده از آب زیرزمینی نموده‌اند و تیمار با عمق آب زیرزمینی ۱/۲ متر از تارخ ۲۹ تیر (یعنی ۷٥ روز پس از کشت) شروع به استفاده از آب زیرزمینی نموده است. در تیمارهای با شوری ۲ دسی‌زیمنس بر متر با عمق‌های آب زیرزمینی ۰/۷ و ۰/۹ متر به‌ترتیب از تاریخ ۱٤ تیر (٦۰ روز پس از کشت) و ۱۹ تیر (٦٥ روز پس از کاشت) شروع به استفاده از آب زیرزمینی شور نموده‌اند و تیمار با عمق آب زیرزمینی ۱/۲ متر از تارخ ۲۹ تیر (۷٥ روز پس از کشت) شروع به استفاده از آب زیرزمینی نموده است. در تیمار ۱۱۰ سانتی‌متر آب زیرزمینی به‌علت عمیق‌تر بودن سطح آب زیرزمینی شور گیاه دیرتر (۱٥ روز بعد از تیمار ۷۰ و ۱۰ روز بعد از تیمار ۹۰ سانتی‌متر) شروع به استفاده از آب زیرزمینی نموده است. در تیمار با شوری ٦ دسی‌زیمنس بر متر با عمق آب زیرزمینی ۷۰ سانتی‌متر از تاریخ ۱٤ تیر (٦۰ روز پس از کشت) و ۹۰ سانتی‌متر از تاریخ ۱۹ تیر (٦٥ روز پس از کشت) شروع به استفاده از آب زیرزمینی شور نموده‌اند و تیمار با عمق آب زیرزمینی ۱۲۰ سانتی‌متر از تاریخ ۲۹ تیر (۷٥ روز پس از کشت) شروع به استفاده از آب زیرزمینی نموده است. در تیمار ۱۲۰ سانتی‌متری آب زیرزمینی به‌علت عمیق‌تر بودن

سطح آب زیرزمینی شور گیاه دیرتر (۱۵ روز بعد از تیمار ۷۰ سانتی‌متر) شروع به استفاده از آب زیرزمینی نموده است. در تیمار با شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر با عمق آب زیرزمینی ۷۰ سانتی‌متر از تاریخ ١٤ تیر (٦٠ روز پس از کشت) و ۹۰ سانتی‌متر از تاریخ ۱۹ تیر (٦٥ روز پس از کشت) شروع به استفاده از آب زیرزمینی شور نموده‌اند و تیمار با عمق آب زیرزمینی ۱۲۰ سانتی‌متر از تارخ ۲۹ تیر (۷۵ روز پس از کشت) شروع به استفاده از آب زیرزمینی نموده است. در تیمار ۱۲۰ سانتی‌متر آب زیرزمینی به‌علت عمیق‌تر بودن سطح آب زیرزمینی شور گیاه دیرتر (۱۵ روز بعد از تیمار ۷۰ سانتی‌متر) شروع به استفاده از آب زیرزمینی نموده است. همچنین، در تیمارهای با ۱/۲ متر آب زیرزمینی به‌علت عمیق‌تر بودن سطح آب زیرزمینی، گیاه دیرتر شروع به استفاده از آب زیرزمینی کرده است. همچنین شکل (۳) نشانگر آن است که مقدار استفاده گیاه از آب زیرزمینی که شوری بیشتری داشته کمتر بوده که این موضوع نشان‌دهنده کم‌شدن کمک آب زیرزمینی به تبخیر تعرق گیاه استویا در شوری‌های بالای ۲ دسی‌زیمنس بر متر است.

**جدول ۳. کل آب سطحی و زیرزمینی استفاده‌شده و درصد مشارکت آب زیرزمینی**

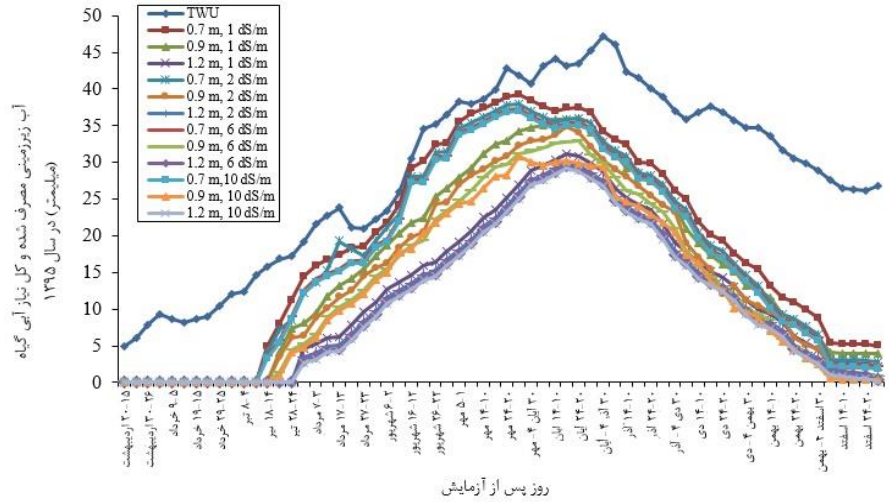
| مشارکت آب زیرزمینی (میلی‌متر در روز) | بارندگی (میلی‌متر) | مشارکت آب زیرزمینی (درصد) | کل آب زیرزمینی مورد استفاده (میلی‌متر) | کل آب سطحی مورد استفاده (میلی‌متر) | کل آب مورد نیاز (میلی‌متر) | عمق آب زیرزمینی (متر) | شوری آب زیرزمینی (دسی‌زیمنس بر متر) | سال |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۲/۲۳ | ۲٦۷/٤۰ | ٦٥/٤ | ۱۱۹۷/۷٤ | ۳٦۷/۲۸ | ۱۸۳۲/٤۲ | ۰/۷ | ۱ | ۱۳۹٥ |
| ۱/۸۸ | | ٥٥/۲ | ۱۰۱۱/٦۹ | ٥۳۳/۳۳ | | ۰/۹ | ۱ | |
| ۱/٤٤ | | ٤۲/۲ | ۷۷۳/۸۷ | ۷۹۱/۱٥ | | ۱/۲ | ۱ | |
| ۲/۰۸ | | ٦۱/۱ | ۱۱۱۹/۲۲ | ٤٤٥/۸۰ | | ۰/۷ | ۲ | |
| ۱/۷۲ | | ٥۰/۳ | ۹۲۱/۳٥ | ٦٤۳/٦۷ | | ۰/۹ | ۲ | |
| ۱/۳۳ | | ۳۹/۰ | ۷۱٤/۰۹ | ۸٥۰/۹۳ | | ۱/۲ | ۲ | |
| ۲/۰۲ | | ٥۹/۳ | ۱۰۸٦/۸۳ | ٤۷۸/۱۹ | | ۰/۷ | ٦ | |
| ۱/٥۹ | | ٤٦/٦ | ۸٥٤/٦٤ | ۷۱۰/۳۸ | | ۰/۹ | ٦ | |
| ۱/۲۹ | | ۳۷/۸ | ٦۹۳/۰۲ | ۸۷۲/۰۰ | | ۱/۲ | ٦ | |
| ۱/۹۹ | | ٥۸/۳ | ۱۰٦۹/۱٥ | ٤۹٥/۸۷ | | ۰/۷ | ۱۰ | |
| ۱/٥۱ | | ٤٤/۳ | ۸۱۰/۹٦ | ۷٥٤/۰٦ | | ۰/۹ | ۱۰ | |
| ۱/۲٦ | | ۳٦/۹ | ٦۷٦/۸٥ | ۸۸۸/۱۷ | | ۱/۲ | ۱۰ | |
| ۲/۱۲ | ۱٥٥/٤۲ | ٦۷/۷ | ۱۱٤۰/۸۰ | ۳۸۹/۲٤ | ۱٦۸٥/٤٦ | ۰/۷ | ۱ | ۱۳۹٦ |
| ۱/۸۹ | | ٦۰/۲ | ۱۰۱٤/٤۰ | ٥۱٥/٦٤ | | ۰/۹ | ۱ | |
| ۱/٥۲ | | ٤۸/٤ | ۸۱٥/۹۱ | ۷۱٤/۱۳ | | ۱/۲ | ۱ | |
| ۱/۹٥ | | ٦۲/۰ | ۱۰٤٤/۹۱ | ٤۸٥/۱۳ | | ۰/۷ | ۲ | |
| ۱/۷۳ | | ٥٥/۱ | ۹۲۹/۲٦ | ٦۰۰/۷۸ | | ۰/۹ | ۲ | |
| ۱/٤۲ | | ٤٥/۳ | ۷٦۳/٤٥ | ۷٦٦/٥۹ | | ۱/۲ | ۲ | |
| ۱/۹۰ | | ٦۰/٦ | ۱۰۲۰/۸۳ | ٥۰۹/۲۱ | | ۰/۷ | ٦ | |
| ۱/٦۳ | | ٥۲/۱ | ۸۷۷/۹٤ | ٦٥۲/۱۰ | | ۰/۹ | ٦ | |
| ۱/۳۹ | | ٤٤/۲ | ۷٤٤/۹٦ | ۷۸٥/۰۸ | | ۱/۲ | ٦ | |
| ۱/۸۷ | | ٥۹/۷ | ۱۰۰٦/۲۱ | ٥۲۳/۸۳ | | ۰/۷ | ۱۰ | |
| ۱/٥٤ | | ٤۹/۰ | ۸۲٦/۱۳ | ۷۰۳/۹۱ | | ۰/۹ | ۱۰ | |
| ۱/۳٦ | | ٤۳/٤ | ۷۳۰/۷۷ | ۷۹۹/۲۷ | | ۱/۲ | ۱۰ | |

حروف مختلف نشان‌دهنده سطوح معنی‌داری (P۰/۰۱) در آزمون دانکن می‌باشند.

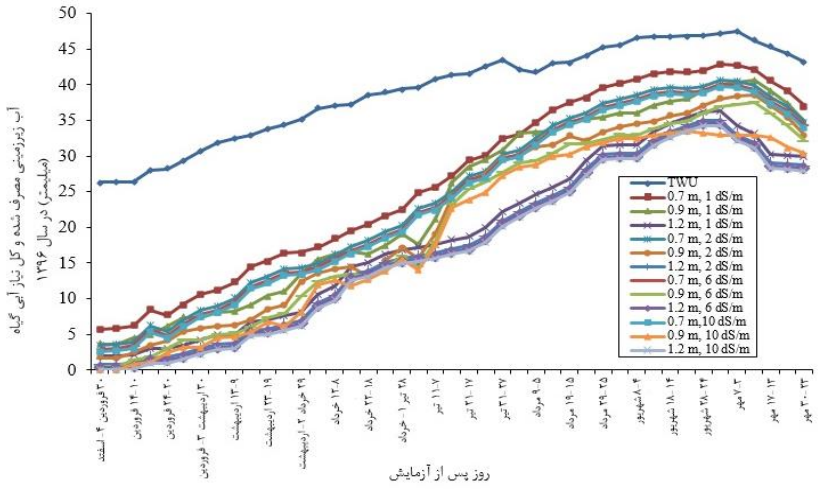
**جدول ٤. خلاصه آماری و سطوح معنی‌داری آنالیز واریانس برای مشارکت آب زیرزمینی**

| منبع تغییرات | درجه آزادی | آب زیر زمینی مورد استفاده (میلی‌متر) | مشارکت آب زیرزمینی (٪) | مشارکت آب زیرزمینی (میلی‌متر بر روز) |
|---|---|---|---|---|
| تکرار | ۲ | ۲۳/۸۳** | ۳/۲۸** | ۰/۰۳٤** |
| فاکتور A | ۲ | ۳۰٤۳/٤** | ۳۸۰/۵** | ۰/۱۳۵** |
| فاکتور B | ۲ | ٤۲۹۲/۱** | ٤۸۸/٦** | ۰/۰۱۷** |
| AB | ٤ | ۳۵/۹** | ٤/۲* | ۰/۰۰۲$^{ns}$ |
| خطا | ۱٦ | ۰/٦۱ | ۰/۱۵٤ | ۰/۰۱ |
| ضریب تغییرات (درصد) | – | ۲/۵۱ | ۲/۲٦ | ۲/٤ |

*، ** و ns: وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱درصد و نبود اختلاف معنی‌دار.




(الف)




(ب)

**شکل ۳. کل آب و آب زیرزمینی مصرف‌شده در طول دوره رشد استویا**

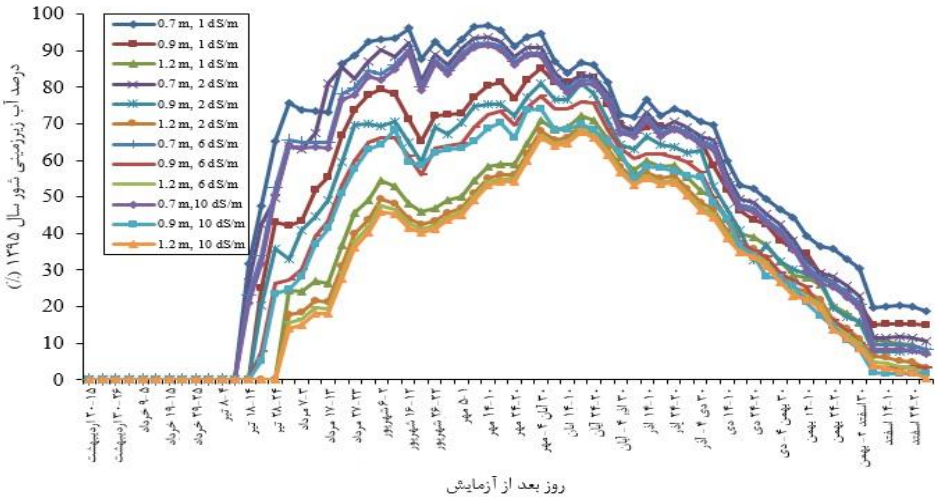
شکل‌های (٤- الف و ب) درصد مشارکت آب زیرزمینی تیمارهای مختلف را نشان می‌دهد. همچنان‌که شکل (٤) نشان می‌دهد، درصد مشارکت آب زیرزمینی در تیمارهای با عمق‌هایعمق‌های ۰/۷ و ۰/۹ متر آب زیرزمینی و برای شوری‌های ۱ و ۲ و ٦ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر بیشتر از تیمار با عمق آب زیرزمینی ۱/۲ متر می‌باشد. این امر شاید به‌علت وجود فاصله بیشتر بین ریشه گیاه و عمق سطح ایستابی آب زیرزمینی در تیمار ۱/۲ متر آب زیرزمینی نسبت به تیمارهای ۰/۷ و ۰/۹ متر آب زیرزمینی است. همان‌طورکه در این نمودار مشاهده می‌شود برای تیمار با آب زیرزمینی با کیفیت شوری‌های ۱ و ۲ و ٦ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر و در تیمارهای ۰/۷ و ۰/۹ و ۱/۲ متر، در هیچ روزی نیاز آبی گیاه به‌طور صددرصد توسط آب زیرزمینی تأمین نگردیده است و گیاه در طول دوره رشد خود نیاز داشته تا مقداری از نیاز آبی خود را از طریق آبیاری سطحی تأمین کند.

شکل (۵) مشارکت آب زیرزمینی در تیمارهای مختلف شوری و عمق‌های مختلف را بر حسب میلی‌متر بر روز نشان می‌دهد، با توجه به نمودار در تیمار ۰/۷ متر آب زیرزمینی برای شوری‌های ۱ و ۲ و ٦ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر نسبت به بقیه عمق‌های متوسط مشارکت آب زیرزمینی بیشتر بوده است و این موضوع نشانگر آن است که هرچه آب زیرزمینی فاصله کمتری تا سطح خاک داشته باشد (آب زیرزمینی کم‌عمق) به‌علت آسان‌تر بودن استفاده از این منبع آب، گیاه قادر خواهد بود تا برای رفع نیازهای آبی خود بیشتر از آب زیرزمینی استفاده نماید. با توجه به این نمودار هرچه شوری آب زیرزمینی کمتر باشد (آب زیرزمینی کم‌عمق از کیفیت بهتری برخوردار باشد) متوسط مشارکت آب زیرزمینی بیشتر بوده و گیاه برای برطرف کردن نیازهای خود به‌مقدار کمتری از آبیاری سطحی نیاز خواهد داشت.

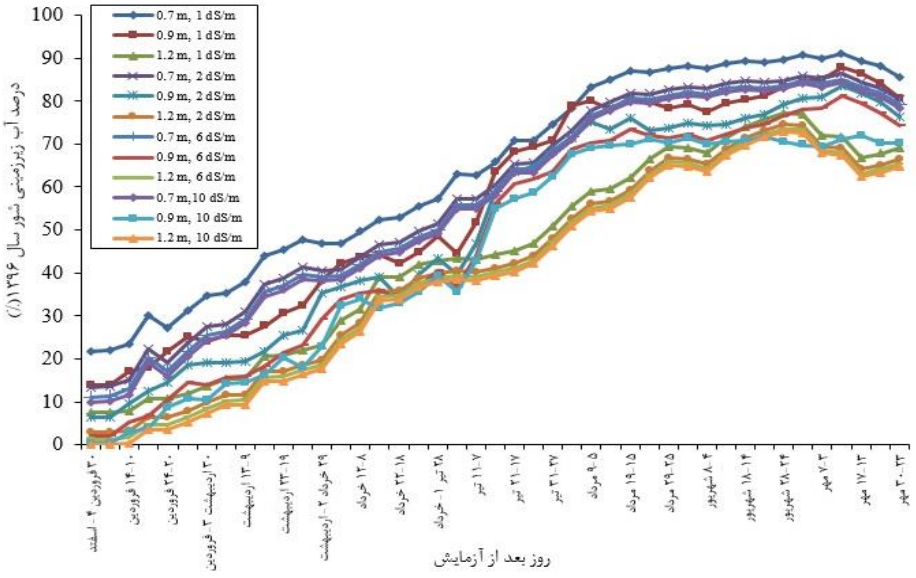
شکل (٦- الف و ب) میزان شوری خاک در عمق‌های ٤۰، ۸۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری از سطح خاک در نتیجه استفاده از آب زیرزمینی کم‌عمق و شور را در طی دو سال انجام آزمایش نشان می‌دهد، با توجه به نمودار در طی دو سال انجام آزمایش بیشترین و کمترین مقدار شوری خاک به‌ترتیب در تیمارهایی با شوری آب زیرزمینی ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر و عمق ۱۰۰ سانتی‌متر (۸/٦۵ دسی‌زیمنس بر متر) و شوری آب زیرزمینی ۱ دسی‌زیمنس بر متر و عمق ٤۰ سانتی‌متر (۱/۷۱ دسی‌زیمنس بر متر) مشاهده شد. این موضوع ثابت می‌کند که هر چه آب زیرزمینی شور فاصله کمتری تا سطح خاک داشته باشد (آب زیرزمینی کم‌عمق) به‌علت انباشت کمتر نمک در سطح خاک شوری خاک کمتر می‌باشد.

نتایج عملکرد برگ و قند، کارایی مصرف آب (براساس عملکرد برگ و قند)، برای عمق‌های مختلف آب زیرزمینی و سطوح شوری در جدول (۵) ارائه شده است. نتایج به‌دست‌آمده نشانگر آن است که کمترین و بیشترین عملکرد برگ با ۷۲/۸ و ۳۸۲/۹۵ کیلوگرم در هکتار و عملکرد قند با ٤/۰٦ و ۸۱/۷٤ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب متعلق به تیمارهای ۱/۲ متر با شوری آب زیرزمینی ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر و ۰/۷ متر با شوری آب زیرزمینی ۱ دسی‌زیمنس بر متر به‌دست آمده است. بیشترین و کمترین کارایی مصرف آب براساس عملکرد برگ و قند عبارت است از (۱/۰۹ و ۰/۲۱) کیلوگرم بر هکتار بر میلی‌متر و (۰/۷۰ و ۰/۰۳) کیلوگرم بر هکتار بر میلی‌متر، که به‌ترتیب متعلق به تیمارهای ۰/۷ متر با شوری آب زیرزمینی ۱ دسی‌زیمنس بر متر و ۱/۲ متر با شوری آب زیرزمینی ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر

به‌دست آمده است. کمترین کارایی مصرف آب براساس عملکرد برگ و قند در تیمار ۱/۲ متر آب زیرزمینی با شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شده که این امر نشان‌دهنده آن است که در این تیمار علاوه بر مصرف بیشتر آب سطحی برای آبیاری، کارایی مصرف آب براساس عملکرد برگ و قند کاهش داشته و استفاده از آب سطحی توسط گیاه بدون ایجاد افزایش در کارایی مصرف آب براساس عملکرد برگ و قند بوده است. آنالیز واریانس بر اساس عملکرد برگ و قند و کارایی مصرف آب زیرزمینی انجام شد که نتایج آن در جدول‌های (۷) و (۸) ارائه شده است. نتایج به‌دست‌آمده نشان‌دهنده معنی‌دار بودن اثرات عمق‌های مختلف آب زیرزمینی و کیفیت آنها بر عملکردهای برگ و قند و کارایی مصرف آب آنها است.

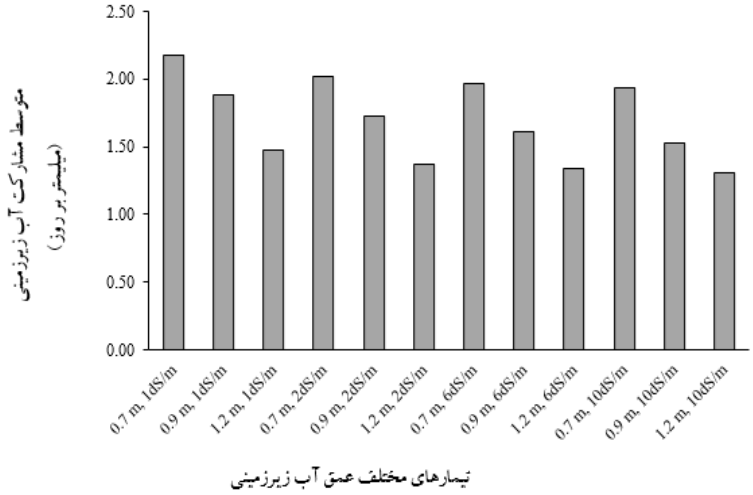



(الف)

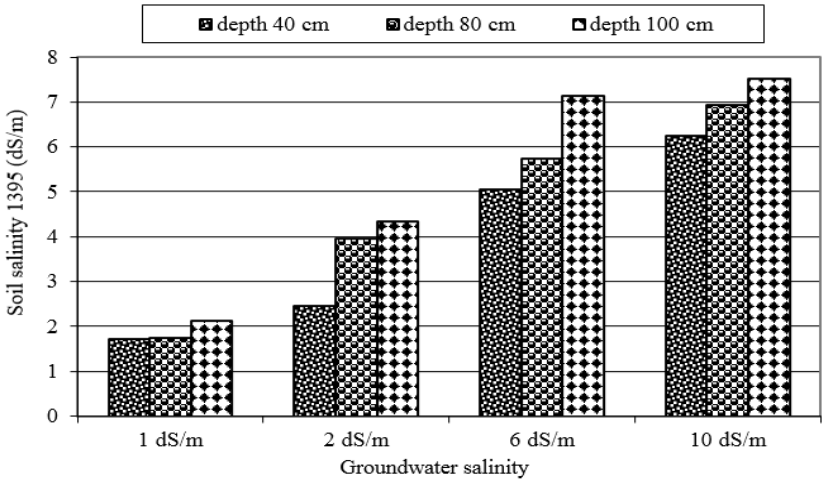



(ب)

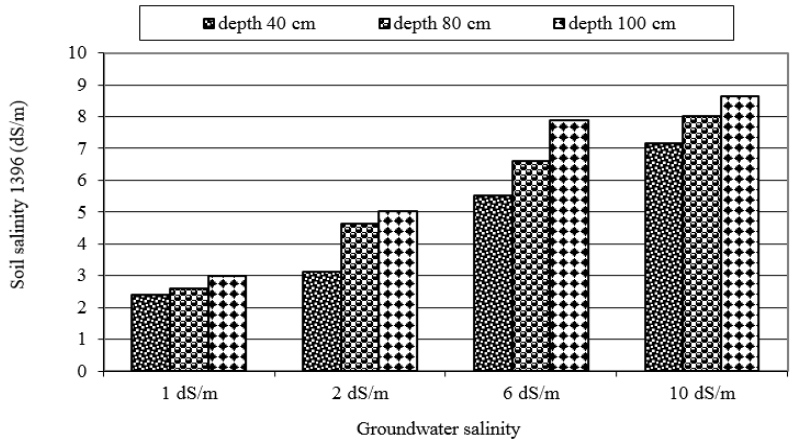
**شکل ٤. درصد مشارکت روزانه آب زیرزمینی در طول دوره رشد استویا**




**شکل ۵. مشارکت آب زیرزمینی (میلی‌متر بر روز)**




(الف)




(ب)

**شکل ٦. شوری خاک در نتیجه استفاده از آب زیرزمینی در طول دو سال آزمایش**

**جدول ۵. تأثیر عمق و سطوح مختلف شوری آب زیرزمینی بر عملکرد و کارایی مصرف آب در استویا**

| کارایی مصرف آب براساس عملکرد قند (کیلوگرم بر هکتار بر میلی‌متر) | کارایی مصرف آب براساس عملکرد برگ (کیلوگرم بر هکتار بر میلی‌متر) | عملکرد قند (کیلوگرم بر هکتار) | عملکرد برگ (کیلوگرم بر هکتار) | شوری (دسی‌زیمنس بر متر) و عمق (متر) آب زیرزمینی | سال |
|---|---|---|---|---|---|
| ۰/۶۲ | ۱/۰۳ | ۷۲/۴ | ۳۶۰/۹ | ۰/۷و۱ | ۱۳۹۵ |
| ۰/۵۲ | ۰/۹۴ | ۶۰/۵ | ۳۳۱/۹ | ۰/۹و۱ | |
| ۰/۲۷ | ۰/۶۹ | ۳۱/۳ | ۲۴۱/۲ | ۱/۲و۱ | |
| ۰/۴۶ | ۰/۸۶ | ۵۳/۸ | ۳۰۲/۵ | ۰/۷و۲ | |
| ۰/۳۴ | ۰/۷۳ | ۴۰/۳ | ۲۵۸/۵ | ۰/۹و۲ | |
| ۰/۱۲ | ۰/۴۶ | ۱۴/۴ | ۱۶۰/۲ | ۱/۲و۲ | |
| ۰/۳۵ | ۰/۷۶ | ۴۰/۷ | ۲۶۷/۵ | ۰/۷و۶ | |
| ۰/۲۵ | ۰/۶۴ | ۲۹/۹ | ۲۲۵/۴ | ۰/۹و۶ | |
| ۰/۰۵ | ۰/۲۷ | ۵/۸۲ | ۹۳/۵ | ۱/۲و۶ | |
| ۰/۱۵ | ۰/۴۵ | ۱۷/۲ | ۱۵۷/۶ | ۰/۷و۱۰ | |
| ۰/۱۰ | ۰/۳۷ | ۱۱/۹ | ۱۳۱/۷ | ۰/۹و۱۰ | |
| ۰/۰۲ | ۰/۱۵ | ۱/۸۷ | ۵۱/۶ | ۱/۲و۱۰ | |
| ۰/۷۸ | ۱/۱۵ | ۹۱/۱۳ | ۴۰۵/۰۰ | ۰/۷و۱ | ۱۳۹۶ |
| ۰/۶۳ | ۱/۰۴ | ۷۳/۹۰ | ۳۶۶/۷۳ | ۰/۹و۱ | |
| ۰/۳۵ | ۰/۷۹ | ۴۱/۵۷ | ۲۷۸/۰۷ | ۱/۲و۱ | |
| ۰/۵۷ | ۰/۹۶ | ۶۷/۰۵ | ۳۳۷/۶۲ | ۰/۷و۲ | |
| ۰/۴۲ | ۰/۸۱ | ۴۹/۴۰ | ۲۸۶/۳۵ | ۰/۹و۲ | |
| ۰/۱۶ | ۰/۵۲ | ۱۸/۷۰ | ۱۸۲/۴۵ | ۱/۲و۲ | |
| ۰/۴۵ | ۰/۸۶ | ۵۲/۱۹ | ۳۰۳/۰۷ | ۰/۷و۶ | |
| ۰/۳۴ | ۰/۷۴ | ۳۹/۹۰ | ۲۶۰/۴۴ | ۰/۹و۶ | |
| ۰/۰۹ | ۰/۳۶ | ۱۰/۴۱ | ۱۲۴/۹۵ | ۱/۲و۶ | |
| ۰/۲۱ | ۰/۵۴ | ۲۴/۶۷ | ۱۸۸/۵۰ | ۰/۷و۱۰ | |
| ۰/۱۶ | ۰/۴۶ | ۱۸/۲۲ | ۱۶۳/۰۸ | ۰/۹و۱۰ | |
| ۰/۰۵ | ۰/۲۷ | ۶/۲۴ | ۹۴/۱۵ | ۱/۲و۱۰ | |

حروف مختلف نشان‌دهنده سطوح معنی‌داری (P<۰/۰۱) در آزمون دانکن می‌باشند.

**جدول ۶. آنالیز واریانس برای عملکرد برگ و قند**

| منبع تغییرات | درجه آزادی | عملکرد برگ (کیلوگرم بر هکتار) | عملکرد قند (کیلوگرم بر هکتار) |
|---|---|---|---|
| تکرار | ۲ | ۰/۰۰۰۱۲* | ۰/۰۰۰۰۴ns |
| فاکتور A | ۲ | ۰/۰۰۰۳۶** | ۰/۰۰۰۵۲ns |
| فاکتور B | ۲ | ۰/۰۱۳** | ۰/۰۱۸** |
| AB | ۴ | ۰/۰۰۰۱ns | ۰/۰۰۰۲* |
| خطا | ۱۶ | ۰/۰۰۰۱۱ | ۰/۰۰۰۲۵ |
| ضریب تغییرات (درصد) | – | ۲/۵ | ۲/۱۲ |

*، ** و ns: وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱درصد و نبود اختلاف معنی‌دار.

**جدول ۷. آنالیز واریانس برای کارایی مصرف آب زیرزمینی براساس عملکرد دانه و روغن**

| منبع تغییرات | درجه آزادی | کل آب سطحی مورد استفاده (میلی‌متر) | کارایی مصرف آب بر اساس عملکرد دانه (کیلوگرم بر متر مربع بر میلی‌متر) | کارایی مصرف آب بر اساس عملکرد روغن (گرم بر متر مربع بر میلی‌متر) |
|---|---|---|---|---|
| تکرار | ۲ | ۱٤/٦** | ۰/۰۱٤** | ۰/۰۰۵۲** |
| فاکتور A | ۲ | ۳۰۳۹/۹٦** | ۱/۲** | ۰/٦۱٤** |
| فاکتور B | ۲ | ٤۳۰۹/۷۳** | ۰/۱٦** | ۰/۰۸٦** |
| AB | ٤ | ۳۵/۸۲** | ۰/۰۰۵ns | ۰/۰۰۲ns |
| خطا | ۱٦ | ۳/۲٤ | ۱/۰٤ | ۱/۱۲ |
| ضریب تغییرات (درصد) | – | ۲/۰۷ | ۲/۰۱ | ۲/۱۷ |

*، ** و ns: وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱درصد و نبود اختلاف معنی‌دار.

## بحث و نتیجه‌گیری

تاکنون در زمینه تأثیر آب زیرزمینی کم‌عمق با کیفیت‌های مختلف و در شرایط آبیاری کامل بر کمک به تبخیر تعرق در طول رشد گیاه استویا در مناطق خشک و نیمه‌خشک تحقیقی انجام نشده تا بتوان مقایسه نمود. اما در رابطه با بعضی از سایر گیاهان دارویی تحقیقاتی صورت پذیرفته است.

به‌طورکلی، پژوهش حاضر به‌منظور بررسی تأثیر آب زیرزمینی کم‌عمق در سه عمق ۰/۷ و ۰/۹ و ۱/۲ متر با چهار سطح شوری ۱، ۲، ٦ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر بر روی اجزای عملکرد گیاه دارویی استویا انجام شد و نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که هرچه عمق و شوری آب زیرزمینی افزایش پیدا کند به‌علت آسان نبودن دسترسی ریشه‌های گیاه به آب‌های زیرزمینی با عمق بیشتر و تأثیر منفی شوری بر رشد اجزای گیاه استویا، سبب کاهش درصد مشارکت آب زیرزمینی و افزایش احساس نیاز به انجام آبیاری سطحی برای رفع نیازهای آبی گیاه می‌شود. همچنین طبق نتایج الحسینی و همکاران که گیاه استویا را در شرایط مشابه با تحقیق حاضر کشت کرده بودند نیز نتایج این تحقیق مشهود است زیرا هرچه عمق آب زیرزمینی و شوری آن افزایش پیدا می‌کند به علت این‌که دسترسی گیاه به آب جهت تأمین نیازهای خود کمتر می‌شود عملکرد گیاه نیز کاهش می‌یابد (۷). همچنین طبق نتایج به‌دست‌آمده، مشخص گردید که آب زیرزمینی با کیفیت شوری ۱ دسی‌زیمنس بر متر در کمک به تبخیر تعرق گیاه استویا نقش به‌سزایی دارد به‌طوری‌که برای عمق‌های ۰/۷ و ۰/۹ و ۱/۲ متر درصد مشارکت آب زیرزمینی به‌ترتیب حدود کل نیازهای آبی گیاه می‌باشد. ضمناً نتایج نشان داد که درصد مشارکت آب زیرزمینی برای سطوح شوری ۱ و ۲ و ٦ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر در عمق‌های ۰/۷ و ۰/۹ و ۱/۲ متری به‌ترتیب در حدود (٦٦/۵، ۵۷/۷، ٤۵/۳)، (٦۱/۵، ۵۲/۷، ٤۲/۱)، (۵۹/۹، ٤۹/٤، ٤۱/۰) و (۵۹/۰، ٤٦/٦، ٤۰/۱) درصد نیاز کلی گیاه بود. نتایج این تحقیق نشانگر این موضوع است که استفاده از آب‌های زیرزمینی کم‌عمق با شوری کمتر از ۲ دسی‌زیمنس بر متر برای آبیاری گیاه استویا می‌تواند به‌صورت قابل‌توجهی نیاز آبی گیاه را برطرف نموده و به تبخیر تعرق گیاه کمک کند، همچنین دور و عمق آبیاری مورد نیاز نیز کاهش یابد. ضمناً با استفاده گیاه از آب زیرزمینی کم‌عمق می‌توان به مقدار زیادی در استفاده از آب سطحی صرفه‌جویی نموده و از این آب سطحی در توسعه سطح بیشتری از اراضی استفاده کرد.

## سپاسگزاری

این مطالعه با حمایت مالی صندوق حمایت از پژوهشگران و فن‌آوران کشور با شماره طرح ۹۶۰۰۱۳۵۷ انجام شده است. بدینوسیله نویسندگان مراتب سپاس خود را برای حمایت مالی انجام شده اعلام می‌دارند.

## منابع

۱. بارگاهی، خ.، موسوی، س ع ا. (۱۳۹۷)، تأثیر سطح ایستابی کم‌عمق شور آب زیرزمینی بر کمک آب زیرزمینی به تبخیر و تعرق گلرنگ (*Carthamus tinctoriuse* L.)، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال دهم شماره (۳) ۶۹:۵۹.

۲. جلیلی، ز.، قمرنیا، ه. و کهریزی، د. (۱۳۹۷)، برآورد آب مورد نیاز و ضرایب گیاهی استویا (*Stevia rebaudiana* Bertoni) در اقلیم نیمه‌خشک در شرایط لایسیمتری، مجله علوم آب و خاک دانشگاه صنعتی اصفهان (پذیرش برای چاپ).

3. Ansari, R. & Khanzad, A.N. (1995). Biological amelioration of saline soil. In: Proceeding of a workshop on drainage system performance in the Indus plain and future strategies. Drainage research institute of Pakistan. JANUARY: 217-222.

4. Ayars, J. E., Schoneman, R. A., Soppe, R. W., Mead, R. M. & Brown, L. C. (2009). Irrigating cotton in the presence of shallow groundwater. Drainage in the 21st century, Proceedings of the 7th International Drainage Symposium, Orlando, Florida, USA, 8-10 March. 82-89.

5. Benz, L. C., Doering, E. J. & Reichman, G. A. (1984). Water table condition to alfalfa evaporation and yield in sandy soil. Trans. ASAE 27: 1307-1312.

6. Benz, L. C., Doering, E. J. & Reichman G. A. (1985a). Alfalfa yield and evapotranspiration response to static watertable and irrigation. Trans. ASAE 28(4):1178-1185.

7. Ebtsam, A., El-Housini, M.A., Ahmed, M.S. Hassanein & Tawfik, M.M. (2014). Effect of Salicylic Acid (SA) on Growth and Quality of Stevia (*Stevia rebaudiana* Bert.) Under Salt Stress. American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci., 14 (4): 275-281, 2014

8. Ghamarnia, H. & Jalili, Z. (2014). Shallow saline groundwater use by Black cumin (*Nigella sativa* L.) inthe presence of surface water in a semi-arid region. Agricultural Water Management 132: 89-100.

9. Ghamarnia, H., Miri, E., Jafarizade, M. & Ghobadi, M. (2011). Nigella Sativa plant growth rate at different growth stages to determine the lysimeter method. Journal of Water in Agriculture, (2):146-133.

10. Goins, T., Lunin, J. & Worley, H. L. (1966). Water table effects on growth of tomatoes, snap beans and sweet corn. Trans. ASAE 9: 530-533.

11. Mondase, R.L., Antonio, V.G., Liliana, Z.B. & Kong, A.H-Hen. (2012). *Stevia rebaudiana* Bertoni, source of a highpotency natural sweetener: A comprehensive review on the biochemical, nutritional and functional aspects. Food Chemistry, 132: 1121-1132.

12. Noory, H., Liaghat, A.M., Chaichi, M.R. & Parsinejad, M. (2009). Effects of water table management on soil salinity and alfalfa yield in a semi-arid climate. Journal of irrigation science, DOI 10.1007/s00271-009-0155-2.

13. Reis, M., Coelho, L., Santos, G., Kienle, U. & Beltr, J. (2015). Yield response of stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) to the salinity of irrigation water. Agricultural Water Management, 152 (2015): 217-221.

**Water and Irrigation Management**
**(Scientific Journal of Agriculture)**
**(*College of Abouraihan – University of Tehran*)**
**Vol. 8 ■ No. 2 ■ Autumn & Winter 2019**

# Investigating on the effect of shallow saline groundwater on the Stevia yield

Zahra Jalili[1], Houshang Ghamarni[2*], Danial Kahrizy[3]

1. Ph.D Candidate, Department of Water Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran.
2. Professor, Depatment of Water Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran.
3. Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Razi University, Kermanshah, Iran.

Received: August 27, 2018 Accepted: November 11, 2018

**Abstract**
The shallow groundwater can compensate a part of plants water requirement. In this investigation Lysimetric experiments were conducted to determine the contribution made by groundwater to the overall water requirements of (*Stevia rebaudiana* B.). The plants were grown in 36 mini lysimeter (or pot), each having a diameter of 0.40 m and packed with silty clay soil. The three replicate randomized complete block factorial experiments were carried out using different treatment combinations. Nine treatments were applied by maintaining groundwater, with an EC of 1, 2, 6 and 10 dS/m, at three different water table levels (0.7, 0.9 and 1.20 m) with supplementary surface irrigation. The supplementary irrigation requirement for each treatment was applied by adding water (EC of 1 dS/m). The average percentage contribution from groundwater for the different treatments (1, 2, 6 and 10 dS/m) and water table depths (0.7, 0.9 and 1.2 meter) as (66.5, 57.7, 45.3) and (61.5, 52.7, 42.1) and (59.9, 49.4, 41.0) and (59.0, 46.6, 40.1) percent of the average annual (Stevia Rebaudiana B.) water requirement respectively. The main results showed that the shallow ground water with quality less than 2 dS/m can be used to compensate a most part of the annual plant water requirement.

**Keywords:** Semi-arid climate. shallow saline groundwater, *Stevia*.

* Corresponding author: hgamarnia@razi.ac.ir