نشریه مدیریت آب در کشاورزی
جلد ۱۱، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۴۰۳، ص. ۶۲-۴۷

Water Management in Agriculture
Vol. 11, No. 1, Spring and Summer 2024, 47-62

مقاله علمی -پژوهشی

اثر سامانه آبیاری واترباکس بر بهره‌وری آب و اجزای عملکرد درختان مرتعی در شرایط اقلیمی گرم و خشک

غلامرضا بستانیان[۱]، محمد الباجی[۲*]، عبدعلی ناصری[۳]، سعید برومندنسب[۴]، ناصر عالم زاده انصاری[۵]

چکیده

کشور ایران با برخورداری از ۴۰ میلیون هکتار عرصه بیابانی، با چالش‌های زیادی جهت مقابله با پدیده بیابان‌زایی مواجه است که مهم‌ترین آن‌ها فرسایش بادی است. ساده‌ترین راه مقابله با پدیده‌های بیابان‌زایی، جنگل‌کاری است. با توجه به محدودیت کمی و کیفی منابع آبی، انتخاب روش مناسب آبیاری گیاهان مرتعی از اهمیت زیادی برخوردار است. برای تعیین مناسب‌ترین روش آبیاری برای کشت گیاهان مرتعی مختلف یک تحقیق به مدت دو سال (۱۴۰۰-۱۳۹۸) در دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار اجرا شد. عامل اول نوع گیاه مرتعی در چهار سطح شامل کهور (T_1)، کونوکارپوس (T_2)، برهان (T_3) و کنار (T_4) و عامل دوم روش آبیاری در چهار سطح شامل سطحی (I_1)، واترباکس (I_2)، کوزه‌ای (I_3) و بابلر (I_4) بودند. نتایج تجزیه واریانس نشان داد نوع گیاه مرتعی ازنظر شاخص‌های اندازه‌گیری شده شامل ارتفاع گیاه، قطر ساقه، وزن خشک و تر ساقه، وزن خشک و تر برگ، شاخص سطح برگ، حجم آب مصرفی و بهره‌وری مصرف آب اختلاف معنی‌داری در سطح ۱ درصد با یکدیگر داشتند. روش‌های آبیاری استفاده شده نیز از نظر تمامی این شاخص‌ها به‌جز قطر ساقه و شاخص سطح برگ اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد با یکدیگر داشتند. از بین انواع پوشش گیاهی، کهور با بیشترین میزان پوشش (شامل ارتفاع و وزن خشک و تر) و کمترین میزان مصرف آب با متوسط ۹۹۶ لیتر در طول دو سال به ازای هر اصله و بالاترین بهره‌وری مصرف آب با متوسط ۹/۷۲ کیلوگرم بر مترمکعب مناسب گیاه بود. از بین روش‌های آبیاری، روش آبیاری بابلر از نظر میزان پوشش بهتر از سایر تیمارها بود ولی روش آبیاری واترباکس از نظر شاخص‌های مصرف آب و بهره‌وری مصرف آب تیمار برتر بودند و نسبت به روش آبیاری سطحی ۸۷ درصد در مصرف آب صرفه‌جویی نمود و کارایی مصرف آب را ۲۹۸ درصد افزایش داد؛ بنابراین سامانه آبیاری واترباکس در پروژه‌های جنگل‌کاری و بیابان‌زدایی می‌تواند جایگزین سایر روش‌های آبیاری شود.

واژه‌های کلیدی: آبیاری کوزه‌ای، بقای گیاه، بهره‌وری مصرف آب، واترباکس

مقدمه

بحران کمبود منابع آب شیرین به دلایلی نظیر خشک‌سالی، کمبود بارندگی و آلودگی منابع، می‌تواند اثرات منفی زیادی در سال‌های آینده داشته باشد. به‌طوری‌که در سال ۲۰۱۹ توسط مجمع جهانی اقتصاد، از کم‌آبی به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین خطرات جهانی نام برده شده است. دلایل کم‌آبی از برآورده نشدن جزئی یا کامل تقاضا، رقابت اقتصادی بر سر کیفیت و کمیت آب، اختلافات بین کاربران، تخلیه و کاهش غیرقابل برگشت آب زیرزمینی و اثرات منفی بر روی محیط‌زیست است (FAO, 2012). عواملی مثل تغییر اقلیم، خشک‌سالی، سیل، جنگل‌زدایی، افزایش آلودگی، گازهای گلخانه‌ای و استفاده بی‌رویه از آب در بخش کشاورزی می‌توانند باعث کمبود منابع شوند. سالانه، آب شیرین کافی برای

[۱] دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی علوم آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
[۲] دانشیار گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب و محیط‌زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران (*نویسنده مسئول: m_albaji2000@yahoo.co.uk)
[۳] استاد گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب و محیط‌زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
[۴] استاد گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب و محیط‌زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
[۵] دانشیار گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۲۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۱۳

تأمین این تقاضا در سطح جهان وجود دارد، اما تغییرات مکانی و زمانی این تقاضا، بسیار زیاد است و باعث بروز کم‌آبی (فیزیکی) در بخش‌هایی از جهان در زمان‌های خاصی از سال می‌شود (Mekonnen and Hoekstra, 2016).

کشور ایران با برخورداری از ۴۰ میلیون هکتار عرصه بیابانی، با چالش‌های زیادی جهت مقابله با پدیده بیابان‌زایی مواجه است. ازآنجاکه ۲۰ میلیون هکتار از عرصه‌های بیابانی ایران در معرض فرسایش شدید بادی قرار گرفته و به‌عنوان کانون‌های ریزگرد قلمداد می‌شوند، اهمیت اقدامات بیابان‌زدایی دوچندان می‌گردد. ساده‌ترین راه مقابله با پدیده‌های بیابان‌زایی، جنگل‌کاری است؛ اما عواملی از قبیل کمبود آب و رطوبت در مناطق بیابانی، بارندگی‌های کم و غیرقابل‌پیش‌بینی، دمای بالای محیط، وزش بادهای شدید و نیز تبخیر و تعرق بالا در موفقیت و یا شکست پروژه‌های جنگل‌کاری و نیز حفظ و بقای گیاهان کاشته شده نقش تعیین‌کننده‌ای دارند. با توجه به محدودیت کمی و کیفی منابع آبی، انتخاب روش مناسب آبیاری گیاهان از اهمیت زیادی برخوردار است. تعیین بهترین روش آبیاری جهت پروژه‌های جنگل‌کاری و بیابان‌زدایی، تابع عواملی نظیر شرایط اقلیمی، تنوع گیاهان، نیروی انسانی و عوامل اقتصادی است. سیر تکامل بهره‌گیری از روش‌های متنوع آبیاری، به موازات پیشرفت‌های فنی و تکنولوژیکی، از آبیاری سطحی به روش‌های آبیاری تحت‌فشار بارانی و قطره‌ای و اخیراً نیز به سیستم‌های آبیاری زیرسطحی (تراوا، قطره‌ای زیرسطحی، سفالی و واترباکس) تغییر پیدا کرده است. هدف اصلی کلیه روش‌های آبیاری، ایجاد محیطی مناسب از نظر رطوبت و تهویه در ناحیه توسعه ریشه گیاهان است.

آبیاری کوزه‌ای یک تکنیک قدیمی بوده که ابتدا در ایران و نیز شمال آفریقا ابداع شد (Pal et al., 2020). پس‌ازآن، در بسیاری از نقاط خشک جهان ازجمله هند، کشورهای آفریقایی و آمریکای جنوبی مورد استفاده قرار گرفت (Vasudevan et al., 2014; Siyal et al., 2013; Tesfaye et al., 2011). آبیاری کوزه‌ای یکی از روش‌های سنتی و درعین‌حال مدرن آبیاری بوده که کمترین میزان مصرف انرژی در مقایسه با سایر سیستم‌های آبیاری دارد؛ بنابراین آبیاری کوزه‌ای که فشار کار مورد نیاز در آن معمولاً کمتر از ۲۰ سانتی‌متر بوده، می‌تواند به‌عنوان برترین روش تأمین آب بدون استفاده از انرژی در شرایط خشک‌سالی در مناطق خشک و نیمه‌خشک، معرفی گردد (Paredes and San Jose, 2019). تحقیقات انجام‌شده نشان داده که آبیاری کوزه‌ای نه‌تنها سبب افزایش عملکرد محصول شد بلکه کارایی مصرف آب را به‌طور قابل‌توجهی افزایش داد (Li et al., 2019). همچنین، در پژوهشی ضمن معرفی روش آبیاری زیرسطحی کوزه‌ای و تلفیق آن با روش‌های نوین آبیاری، نتایجی حاصل شد که نشان‌دهنده کاهش ۶۰ درصدی مصرف آب در آبیاری کوزه‌ای نسبت به آبیاری میکرو سطحی بود (Ansari et al., 2015). ازآنجاکه آبیاری کشاورزی ۷۰ درصد برداشت آب و ۸۰ تا ۹۰ درصد مصرف منابع آب را به خود اختصاص داده است (Jägermeyr et al., 2015)، توجه دانشمندان زیادی را به استفاده از استراتژی‌های مختلف آبیاری میکرو به‌منظور بهبود راندمان مصرف آب در محصولات کشاورزی با حفظ عملکرد مناسب جلب نموده است (Çolak et.al., 2018; Gärdenäs et al., 2005; Namara et al., 2007). آبیاری بابلر به‌عنوان یکی از استراتژی‌های آبیاری میکرو قادر به تضمین عملکرد محصول با کاهش ورودی آب آبیاری و درعین‌حال افزایش راندمان مصرف آب است (Ismail et al., 2013; Li et al., 2013). عدم گرفتگی بابلر در مناطقی که کیفیت آب نامناسبی دارند، سبب شده تا نسبت به قطره‌چکان کاربرد وسیع‌تری داشته باشد. نتایج یک طرح تحقیقاتی که در حدفاصل سال‌های ۱۹۹۱ تا ۲۰۱۵ باهدف بررسی راندمان کاربرد آب تحت روش‌های آبیاری سطحی و بابلر در ۲۰۰ مزرعه تحقیقاتی ایران اجرا شد نشان داد که متوسط راندمان کاربرد آب در آبیاری سطحی حوضچه‌ای ۵۵/۳ و در آبیاری بابلر ۷۱ درصد بود (Abbasi et all., 2017).مطالعات انجام‌شده نشان‌دهنده کاهش ۷۰ تا ۸۰ درصدی مصرف آب در آبیاری بابلر نسبت به روش آبیاری سطحی است (Soomro et al., 2012). آبیاری بابلر درواقع روش اصلاح‌شده آبیاری قطره‌ای است که برای محصولات باغی بسیار مناسب ارزیابی‌شده است (Rowell,1994).

سامانه آبیاری فتیله‌ای با نام تجاری واترباکس جدیدترین روش آبیاری است که به‌عنوان ابزاری جهت پیاده‌سازی مدلی

سازگار با محیط‌زیست و پایدار شناخته‌شده و برای حفظ اکوسیستم‌های طبیعی جهان ضروری است. واترباکس از ظرفی با گنجایش ۱۵ لیتر آب از جنس پلی‌پروپیلن تشکیل شده که به‌عنوان مخزن آب برای گیاه عمل نموده و آب توسط دو فتیله به محیط توسعه ریشه‌ها انتقال می‌یابد. یکی از مهم‌ترین مزایای این سیستم، عدم نیاز به طراحی و تخصص بالا جهت نصب و راه‌اندازی است. همچنین با توجه به دارا بودن قابلیت خودتنظیم بودن سیستم، نیازی به انجام محاسبات برآورد نیاز آبی گیاهان نبوده و همین امر سبب محبوبیت این سیستم شده است. انتقال آب از سامانه واترباکس به خاک و نیز تأمین آب مورد نیاز گیاه بر اساس پتانسیل ماتریک سطح خاک و ریشه گیاه است (Lauren, 2013). طراحی واترباکس به‌گونه‌ای است که آب باران و همچنین بخارآب موجود در هوا که در اثر میعان روی سطوح آن به قطرات ریز شبنم تبدیل‌شده است به درون محفظه هدایت و جمع‌آوری می‌شوند و به‌طور روزمره در دسترس نهال قرار می‌گیرند. همچنین در این سیستم با توجه به عدم نیاز به سیستم پمپاژ، در مقایسه با سایر روش‌های آبیاری صرفه اقتصادی بیشتری دارد. بر اساس مطالعات انجام‌شده سیستم آبیاری واترباکس در مقایسه با آبیاری قطره‌ای تا ۹۰ درصد در مصرف آب صرفه‌جویی داشته و نیازی به انرژی ندارد (Babaheydari et al., 2019). نتایج پژوهشی باهدف تأثیر آبیاری به روش واترباکس بر روی میزان بقای چهار گونه درختی سیب، آووکادو، گواوا و پرتقال در شمال اتیوپی حاکی از زنده ماندن ۱۰۰ درصدی درختان سیب، پرتقال و گواوا بوده اما نرخ بقای درخت آووکادو ۸۴ درصد گزارش شد (Asmelash et al., 2015). در سال ۲۰۱۳ نیز مطالعه‌ای توسط دانشگاه پلی‌تکنیک والنسیا با هدف ارزیابی عملکرد آبیاری به روش واترباکس در طول دوره کاشت و نیز اثر آن بر بقا و رشد درختان جنگلی کاج و بلوط در منطقه‌ای با شرایط بسیار نامناسب در اسپانیا انجام‌شده که نتایج حاصله نشان از بهبود بقای درختان کشت‌شده توسط روش واترباکس نسبت به نمونه‌های شاهد بود اما میزان رشد آن‌ها به لحاظ ارتفاعی کمتر از گونه‌های شاهد بود که دلیل این میزان کاهش رشد نیز به عدم رسیدن تشعشع کافی به نهال به خاطر عدم عبور نور از واترباکس و نیز کاهش سرعت ریشه‌زایی عنوان شد (Guillermo, 2013). مقایسه فناوری واترباکس با سایر روش‌های جنگل‌کاری در مناطق خشک و نیمه‌خشک نشان داد که در مقایسه با گروه شاهد، فناوری جنگل‌کاری با واترباکس سبب افزایش ۳۰ درصدی رطوبت خاک در عمق ۶۰-۰ سانتی‌متر شد. از طرفی، واترباکس سبب کاهش ۲ تا ۴ درجه‌ای دمای لایه سطحی خاک تا عمق ۲۰ سانتی‌متری شد. همچنین، افزایش ۳۰ و ۱۰ درصدی میزان بقاء و متوسط ارتفاع درختان کشت‌شده با فناوری واترباکس از دیگر نتایج پژوهش بود (Liu et al., 2014). همچنین، در خصوص میزان بقای نهال‌های کشت‌شده، مطالعه‌ای بر روی نهال‌های انبه در شمال اتیوپی صورت گرفت که حاکی از بقای ۱۰۰ درصدی نهال‌های کشت‌شده با فناوری صرفه‌جوی آب در طول یک سال پس از کاشت و بقای ۲۰ درصدی نهال‌های کشت‌شده بدون آبیاری بود. از طرفی نهال‌هایی که به‌صورت دستی و به فاصله ۳ روز آبیاری شده‌اند، بقای ۱۰۰ درصدی نیز داشتند (Petros et al., 2021). با توجه به اینکه تاکنون چنین تحقیقی در کشور ایران انجام نشده است ضرورت دارد مناسب‌ترین روش آبیاری و گونه گیاهی مرتعی برای مناطقی از کشور که کمبود میزان بارش سالانه را دارند تعیین شوند. هدف از انجام این تحقیق مقایسه چهار روش آبیاری سطحی، تحت‌فشار (بابلر)، کوزه‌ای و واترباکس بر روی چهار گونه درخت مرتعی سازگار با شرایط اقلیمی گرم و خشک شامل کهور، کونوکارپوس، برهان و کنار است. در این مطالعه گونه‌های درختی بومی مناطق گرم و خشک نظیر کهور، کنوکارپوس، برهان و کنار که مقاومت نسبتاً بالایی نسبت به خشکی و گرما دارند انتخاب شد. کهور ایرانی با نام علمی *Prosopis cineraria* گونه‌ی بومی و شاخص ناحیه‌ی رویشی وسیعی از بیابان‌ها و استپ‌های جهان است. این رویشگاه‌ها از نظر اقلیم، خاک، تراکم و انبوهی پوشش گیاهی متنوع‌اند (امتحانی و همکاران، ۱۳۸۷). درخت برهان با نام علمی *Albezia lebbek* گیاه بومی بخش‌های گـرم و مرطوب آسیا بوده که به‌صورت وسیعی در استان‌های جنوبی و جنوب غربی ایران کاشته می‌شود. در بسیاری از کشورها نظیر هند از چوب آن الوار تولید می‌کنند. از غلاف دانه‌ها و برگ‌های این درخت نیز به‌عنوان خوراک دام برای برخی چارپایان استفاده می‌شود. درخت کنار با نام

علمی Ziziphus یکی از درختان بومی مناطق گرمسیری جنوب ایران است که به دلیل مقاومت به خشکی، اهمیت فراوانی در امر جنگل‌کاری و توسعه‌ی پوشش گیاهی دارد. از سوی دیگر میوه این گیاه نیز موردتوجه عامه مردم بوده و میزان مواد غذایی موجود در میوه کنار با انجام برنامه‌های به‌نژادی می‌تواند ارزش باغبانی آن را افزایش دهد (عصاره، ۱۳۸۷).

کنوکارپوس گیاه زینتی رایج در مناطق نیمه گرمسیری و گرمسیری است که معمولاً به‌صورت درختچه‌هایی با ارتفاع ۱/۱ تا ۸ متر دیده می‌شود، این درختچه متعلق به تیره‌ی *Combretaceae* است. به علت مقاومت و سازگاری با هوای گرم و خشک، خاک خشک، شرایط ضعیف تهویه خاک، زهکشی بد، آلودگی هوا و نیز خاک‌های متراکم، کشت آن اهمیت زیادی در دهه گذشته در ایران و مخصوصاً استان خوزستان پیدا کرده است. رشد بسیار سریع این درختچه یکی دیگر از عوامل مهمی است که در اهمیت آن نقش داشته است .با توجه به خشکی هوا و کمبود رطوبت، امکان جنگل‌کاری با کاشت مستقیم بذر وجود ندارد. لذا به‌منظور کاهش احتمال شکست این قبیل پروژه‌ها، می‌بایست از نهال‌های گلدانی استفاده و سپس نسبت به آبیاری آن‌ها تا زمان استقرار نهال اقدام نمود. به‌طوری‌که امکان جذب رطوبت خاک‌های عمقی توسط ریشه‌های نهال فراهم گردد.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در طول سال‌های ۱۴۰۰-۱۳۹۸ به مدت ۲ سال در مزرعه تحقیقاتی دانشکده مهندسی علوم آب و محیطزیست دانشگاه شهید چمران اهواز واقع در استان خوزستان و جنوب غربی ایران و در حاشیه غربی رود کارون با عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۲۰ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۴۰ دقیقه شرقی و ارتفاع ۲۲/۵ متر از سطح دریا انجام شد. به‌منظور بررسی شاخص‌های هواشناسی از آمار و اطلاعات ایستگاه سینوپتیک اهواز واقع در نزدیکی محل اجرای پروژه، با دوره آماری ۱۵ ساله (۱۳۹۹-۱۳۸۴) استفاده شد (جدول ۱). تبخیر و تعرق پتانسیل بر اساس روش پنمن مانتیث محاسبه شد. این روش با اتکا به پارامترهای فیزیکی مؤثر در تبخیر، محبوبیت و دقت بیشتری نسبت به سایر روش‌های محاسبه تبخیر و تعرق دارد. بررسی پارامترهای اقلیمی (جدول ۱) نشان می‌دهد، منطقه طرح دارای اقلیم خشک و گرم بیابانی است. از طرفی، گستردگی و شدت توفان‌های گرد و غبار در نواحی جنوب غرب ایران به‌ویژه استان خوزستان، با توجه به موقعیت جغرافیایی و شرایط اقلیمی خاص خود موجب شده است این پدیده یکی از عمده‌ترین مخاطرات زیست‌محیطی در این نواحی باشد .در این مطالعه با توجه به شرایط اقلیمی موجود برای تعیین مناسب‌ترین روش آبیاری برای کشت گیاهان مرتعی مختلف یک تحقیق به مدت دو سال (۱۴۰۰-۱۳۹۸) در دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار اجرا شد. عامل اول نوع گیاه مرتعی در چهار سطح شامل کهور (P1)، کونوکارپوس (P2)، برهان (P3) و کنار (P4) و عامل دوم روش آبیاری در چهار سطح شامل سطحی (I1)، واترباکس (I2) کوزه‌ای (I3) و بابلر (I4) بودند. این آزمایش در مزرعه‌ای به وسعت ۲۰۰۰ مترمربع انجام‌شده که در آن از نهال‌های دو ساله در گلدان‌های نایلونی استفاده شده و نهال‌ها پس از انتقال به مزرعه در فواصل ۲ × ۲ متر کشت شدند و مجموع گلدان‌های کشت‌شده ۹۶ اصله نهال بودند. آبیاری سطحی[1] به‌عنوان تیمار شاهد بر روی ۲۴ نهال استفاده شد. در این روش پس از انتقال آب به مزرعه، با استفاده از خاک مزرعه در اطراف هر درخت چاله‌ای به‌صورت تشتک به عمق ۳۰ سانتیمتر و شعاع ۷۵ سانتیمتر ایجاد گردید. دور آبیاری ۷ روزه در نظر گرفته شد و برای کاهش میزان تبخیر آبیاری در اوایل روز انجام شد.

برای محاسبه نیاز آبیاری درختان، از روش پیشنهادی دانشگاه کالیفرنیا (Costello et all., 2000) مطابق رابطه ۱ استفاده شد.

$$ET_L = K_L \times ET_O \qquad (۱)$$

در این رابطه، ETO تبخیر و تعرق پتانسیل، ETL تبخیر و تعرق فضای سبز و KL ضریب فضای سبز است.

[1] - Surface irrigation

جدول ۱- شاخص‌های هواشناسی منطقه طرح با دوره آماری ۱۵ ساله (۱۳۹۹-۱۳۸۴)

مشخصات ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)	متوسط بارندگی سالانه (میلی‌متر)	حداکثر مطلق دما (درجه سانتی‌گراد)	متوسط دمای سالانه (درجه سانتی‌گراد)	حداقل مطلق دما(درجه سانتی‌گراد)	تبخیر- تعرق پتانسیل سالانه (میلی‌متر)
سینوپتیک اهواز	۴۸-۴۰	۲۰-۳۱	۲۲/۵	۲۴۴/۶	۵۴	۳۲/۵۸	-۴	۲۷۸۸/۳

جایگزینی KL به‌جای KC به سه دلیل تنوع گونه‌های درختی در فضاهای سبز و جنگلی، تفاوت در تراکم درختان کشت شده و تفاوت در ریز اقلیم‌ها نظیر مناطق سرد و سایه‌دار تا مناطق گرم و آفتابی و یا در معرض باد بود. مقدار KL با استفاده از رابطه ۲ بدست آمد.

$$K_L = K_S \times K_d \times K_{mc} \qquad (۲)$$

در این رابطه KS عامل گونه‌ها، Kd عامل تراکم و Kmc عامل ریز اقلیم است. بر اساس مقادیر مندرج در جداول جهت هریک از پارامترهای فوق (Costello et al., 2000) و نیز با در نظر گرفتن گونه‌های گیاهی موردمطالعه، تراکم کاشت و نیز شرایط اقلیمی مزرعه آزمایش، مقدار ضریب فضای سبز (KL) برای درختان P1، P2، P3 و P4 به ترتیب برابر ۰/۲، ۰/۵۵، ۰/۳ و ۰/۲ به دست آمد. با توجه به اینکه بخشی از نیاز آبی گیاهان در برخی از ماه‌های سال از طریق بارندگی تأمین می‌شد، جهت برآورد نیاز آبی خالص گیاهان می‌بایست تفاضل میزان بارندگی مؤثر را مطابق با روش USDA از مقدار تبخیر و تعرق گیاه محاسبه نمود (رابطه ۳).

$$P_{eff} = P_{tot} \times \frac{(125 - 0.2P)}{125} \qquad (۳)$$

در این رابطه، Peff بارندگی مؤثر و Ptot بارندگی ماهانه برحسب میلی‌متر است؛ بنابراین با در نظر گرفتن راندمان آبیاری سطحی (۶۰ درصد) حجم ناخالص نیاز آبی گیاهان در ماه‌های سال برآورد شد (جدول ۲). در این جدول، مقادیر صفر در برخی از ماه‌های سال که عمدتاً در فصول سرد سال بوده، نشان‌دهنده عدم نیاز به آبیاری بود. نیاز آبیاری درختان در این ماه‌ها از طریق بارندگی تأمین شد.

دومین سیستم آبیاری مورد استفاده در این طرح، سیستم آبیاری کوزه‌ای[1] بود که یکی از روش‌های کارآمد آبیاری زیرسطحی است. در این روش، آب از طریق دیواره کوزه‌های مدفون در خاک و به‌واسطه گرادیان فشاری که در سراسر دیواره کوزه وجود دارد، به‌صورت نشتی مستقیماً به محیط توسعه ریشه گیاه انتقال می‌یابد. در این آزمایش، از دو کوزه سفالی با ظرفیت ۷ لیتر استفاده شد و برای پر کردن کوزه‌ها، شبکه آبیاری مستقلی طراحی و نصب شد (شکل ۱). دور آبیاری در این روش در طول مدت آزمایش از ۳ تا ۷ روز در فصول مختلف سال متغیر بود. به‌منظور پر کردن منظم کوزه‌ها و نیز جلوگیری از خشک شدن آن‌ها، پیشنهادهایی توسط محققان ارائه شده است (Bainbridge, 2001). حجم متوسط ناخالص ماهانه نیاز آبی درختان طرح در ماه‌های مختلف سال با روش آبیاری کوزه‌ای برآورد شد (جدول ۳).

[1] - Pitcher irrigation

جدول ۲- حجم متوسط ناخالص ماهانه نیاز آبی در ماه‌های مختلف سال به روش آبیاری سطحی (لیتر برای هر درخت)

ماه‌های سال (لیتر)													
متوسط سالانه (لیتر)	اسفند	بهمن	دی	آذر	آبان	مهر	شهریور	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین	نوع گیاه
۱۰۲۶	۰	۰	۰	۰	۰	۷۷	۱۴۴	۱۸۲	۲۰۷	۲۰۱	۱۵۱	۶۴	P۱
۳۲۳۸	۱۳۳	۴۱	۰	۰	۰	۲۵۲	۴۰۹	۵۱۷	۵۶۸	۵۴۸	۴۴۰	۲۶۶	P۲
۱۶۱۱	۳۱	۰	۰	۰	۰	۱۲۶	۲۱۶	۲۷۲	۳۱۰	۳۰۱	۲۳۳	۱۲۲	P۳
۱۰۲۶	۰	۰	۰	۰	۰	۷۷	۱۴۴	۱۸۲	۲۰۷	۲۰۱	۱۵۱	۶۴	P۴

جدول ۳- متوسط حجم ناخالص ماهانه نیاز آبی در ماه‌های مختلف سال به روش آبیاری کوزه‌ای (لیتر برای هر درخت)

ماه‌های سال (لیتر)													
متوسط سالانه (لیتر)	اسفند	بهمن	دی	آذر	آبان	مهر	شهریور	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین	نوع گیاه
۶۱۸	۰	۰	۰	۰	۰	۴۶	۸۷	۱۰۹	۱۲۴	۱۲۱	۹۲	۳۹	$P_۱$
۲۲۲۳	۹۳	۲۹	۰	۰	۰	۱۷۷	۲۸۶	۳۶۲	۳۹۸	۳۸۴	۳۰۸	۱۸۶	$P_۲$
۱۰۴۴	۲۰	۰	۰	۰	۰	۸۲	۱۴۰	۱۷۶	۲۰۱	۱۹۵	۱۵۱	۷۹	$P_۳$
۶۹۵	۰	۰	۰	۰	۰	۵۱	۹۹	۱۲۰	۱۴۱	۱۳۷	۱۰۳	۴۴	$P_۴$

شکل ۱- مراحل نصب واتر باکس

سیستم آبیاری بابلر[1] یکی دیگر از روش‌های آبیاری بکار رفته در طرح بوده که تعداد ۲۴ نهال با این روش آبیاری شدند. بابلرهای بکار رفته در طرح از نوع تنظیم شونده با آبدهی ۲۴ لیتر در ساعت بودند. به همین منظور، شبکه آبیاری میکرو نیز به‌صورت مستقل طراحی و اجرا گردید. در این سیستم دور آبیاری ۴ روزه لحاظ شد؛ بنابراین با راندمان ۸۵ درصدی سیستم آبیاری بابلر، حجم ناخالص آب موردنیاز گیاهان در ماه‌های مختلف سال محاسبه شد (جدول ۴).

[1] - Bubbler irrigation

جدول ۴- حجم متوسط ناخالص ماهانه نیاز آبی در ماه‌های مختلف سال به روش آبیاری بابلر (لیتر برای هر درخت)

نوع گیاه	ماه‌های سال (لیتر)												
	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	متوسط سالانه (لیتر)
P_1	۴۵	۱۰۷	۱۴۲	۱۴۶	۱۲۸	۱۰۲	۵۴	۰	۰	۰	۰	۰	۷۲۴
P_2	۱۸۸	۳۱۱	۳۸۷	۴۰۱	۳۶۵	۲۸۹	۱۷۸	۰	۰	۰	۲۹	۹۴	۲۲۴۲
P_3	۸۶	۱۶۴	۲۱۲	۲۱۹	۱۹۲	۱۵۲	۸۹	۰	۰	۰	۰	۲۲	۱۱۳۶
P_4	۴۵	۱۰۷	۱۴۲	۱۴۶	۱۲۸	۱۰۲	۵۴	۰	۰	۰	۰	۰	۷۲۴

چهارمین روش آبیاری موردمطالعه در این پژوهش، سامانه آبیاری واترباکس بود. برآورد حجم ناخالص نیاز آبی واترباکس برخلاف سایر روش‌های آبیاری از فرمول و یا روابط خاصی تبعیت نمی‌کند. در این سامانه میزان ۱۵ لیتر آب در زمان کاشت به مخزن واترباکس اضافه‌شده و تا زمانی که این میزان توسط فتیله‌ها به ناحیه ریشه‌ها منتقل و توسط درخت مصرف شد، مجدداً اقدام به پر کردن مخزن آن کردیم. یکی از قابلیت‌های واترباکس این است که قادر به جمع‌آوری آب ناشی از نزولات و ذخیره‌سازی در خود است. علاوه بر این، دستگاه با چگالش بخارآب موجود در جو آن را به نقطه شبنم رسانیده و آن را به آب تبدیل و در خود ذخیره می‌کند؛ بنابراین زمان پر کردن مخزن واترباکس در ماه‌های مختلف سال متفاوت و از ۳۵ روز تا ۹۰ روز متغیر بود. با توجه به شرایط آب و هوایی اهواز و وقوع دماهای بالاتر از ۴۹ درجه سانتی‌گراد، برای هر واترباکس ۴ فتیله جهت انتقال آب به محیط ریشه‌ها تعبیه شد (شکل ۲).

واترباکس با پوشش خاک اطراف نهال به قطر ۵۰ سانتیمتر، مانع تبخیر رطوبت موجود در خاک می‌شد. واترباکس‌های مورد استفاده در این آزمایش دارای دو درپوش بودند، درپوش اول بر روی واتر باکس نزولات جوی را جمع‌آوری و به داخل مخزن خود هدایت می‌کرد. درپوش دوم که سیاه‌رنگ بود، ضمن ممانعت از تبخیر آب داخل مخزن، از ورود نور نیز به داخل جلوگیری کرده و درنتیجه جلبک‌ها قادر به رشد در مخزن نبودند. واترباکس علاوه بر قابلیت‌های فوق در طول روز با ایجاد میکروکلیمایی کوچک هوای اطراف نهال و خاک آن را سایه و خنک نموده و در طول شب، گرم‌تر از محیط اطراف می‌ساختند. همچنین، واترباکس در مقابل وزش بادها به‌عنوان قیم برای نهال ایفای نقش می‌کرد.

شکل ۲- مراحل نصب واتر باکس

داده‌های اندازه‌گیری شده در زمان کاشت (فروردین‌ماه ۱۳۹۸) شامل ارتفاع نهال، قطر ساقه و سطح برگ بودند. سپس داده‌برداری در دو مرحله انجام شد. مرحله اول یک سال پس از کاشت (فروردین‌ماه ۱۳۹۹) و مرحله دوم دو سال پس از کاشت (فروردین‌ماه ۱۴۰۰) بود. داده‌های اندازه‌گیری شده در این دو مرحله شامل شاخص‌های گیاهی نظیر رشد طولی (ارتفاع)، قطر ساقه، وزن تر و خشک برگ و نیز وزن تر و خشک ساقه بودند. جهت تعیین ارتفاع درخت، از سطح زمین تا انتهای بلندترین شاخه درختان با استفاده از متر اندازه‌گیری شد.

به‌منظور تعیین وزن تر ساقه و برگ درختان، در هر دوره از برداشت اطلاعات (یک سال و دو سال پس از کاشت)، با قطع درختان و قطعه‌قطعه نمودن آن‌ها و نیز جداسازی تمامی برگ‌ها، وزن تر ساقه و برگ با ترازوهای دقیق اندازه‌گیری و سپس جهت تعیین وزن خشک، ساقه‌ها و برگ‌ها درون آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار گرفتند. به‌منظور تعیین قطر ساقه درختان، با استفاده از کولیس قطر تنه درختان ۱۵ سانتیمتر بالاتر از سطح خاک اندازه‌گیری شد. همچنین میزان مصرف آب و در بهره‌وری مصرف آب که از مهم‌ترین اهداف آزمایش بود اندازه‌گیری شدند. بهره‌وری آب آبیاری عبارت است از نسبت وزن خشک اندام هوایی (وزن خشک برگ و ساقه) به میزان آب آبیاری و از رابطه ۴ محاسبه شد.

$$WP_I = \frac{Y}{I} \qquad (۴)$$

ارتفاع نهال‌های کاشته شده، از سطح زمین تا نوک نقطه رشد اندازه‌گیری شد (شکل ۳). ارتفاع نهال در زمان کاشت و یک‌سالگی و نیز دو سال پس از کاشت اندازه‌گیری شد.

تجزیه‌وتحلیل واریانس برای پارامترهای ثبت شده توسط IBM SPSS Statistics برای ویندوز، نسخه ۲۲,۰ انجام شد و مقایسه میانگین تیمارها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح $\alpha=0.05$ انجام شد.

شکل ۳- اندازه‌گیری ارتفاع نهال در دو تیمار مختلف

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب (دوساله) داده‌ها نشان داد نوع درخت مرتعی از نظر شاخص‌های اندازه‌گیری شده شامل ارتفاع گیاه، قطر ساقه، وزن خشک و تر ساقه، وزن خشک و تر برگ، شاخص سطح برگ، حجم آب مصرفی و بهره‌وری مصرف آب اختلاف معنی‌داری در سطح ۱ درصد با یکدیگر داشتند. روش‌های آبیاری استفاده‌شده نیز از نظر تمامی این شاخص‌ها به‌جز قطر ساقه و شاخص سطح برگ اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد با یکدیگر داشتند. اثرات متقابل تیمارها نیز به‌جز شاخص‌های ارتفاع و قطر ساقه در سایر شاخص‌ها در سطح ۱ درصد اختلاف معنی‌داری نشان دادند.

جدول ۵- تجزیه واریانس اثر روش‌های آبیاری بر اجزای عملکرد انواع درختان مرتعی

منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع	قطر ساقه	وزن تر ساقه	وزن تر برگ	وزن خشک ساقه	وزن خشک برگ	شاخص سطح برگ	حجم آب مصرفی	بهره‌وری مصرف آب
سال	۱	۷۲۴۷۱**	۵۲۴۹**	۱۲۴۴**	۳۹۰۶۰۰۴۳**	۱۴۲۲**	۲۴۷**	۰/۱ ^{ns}	۲۴۹۲**	۵۷۷**
تکرار (سال)	۴	۳۹۵ ^{ns}	۱۵ ^{ns}	۲/۲ ^{ns}	۲۳۴۵۲ ^{ns}	۱/۲ ^{ns}	۰/۴ ^{ns}	۱/۶ ^{ns}	۱/۰ ^{ns}	۱/۰ ^{ns}
نوع درخت (T)	۳	۴۴۶۸۶۰**	۸۲۲۷**	۱۳۸۴**	۴۵۵۱۹۸۷۰**	۱۵۵۳**	۲۳۶**	۳۸**	۱۱۲۵**	۱۴۹۵**
سال × درخت	۳	۵۱۸۱۵**	۵۸۸**	۸۹۰**	۱۸۰۲۱۳۴۰**	۱۰۴۵**	۹۵**	۱/۰ ^{ns}	۱۵۳**	۴۲۵**
روش آبیاری	۳	۳۰۶۱*	۱۰۸ ^{ns}	۶/۶**	۶۴۳۱۹۵**	۱۷**	۳/۸*	۱/۸ ^{ns}	۲۵۱۳**	۲۶۳**
سال× آبیاری	۳	۲۳۴ ^{ns}	۸۰ ^{ns}	۱۱**	۶۴۰۳۹۳**	۲۵**	۴/۷**	۰/۷ ^{ns}	۳۱۶**	۱۹**
درخت × آبیاری	۹	۸۶۵ ^{ns}	۱۳۸^{ns}	۶/۶**	۴۴۵۴۷۲**	۱۸**	۴/۹**	۳/۴**	۳۴۵**	۱۸۴**
سال × درخت× آبیاری	۹	۱۲۵۹ ^{ns}	۴۴ ^{ns}	۱۲**	۶۱۴۰۲۲**	۲۶**	۵/۴**	۲/۷*	۵۱**	۱۱**
خطای (a)	۶۰	۷۷۹	۵۱	۶۷۴۴۴۹	۶۰۴۰۶	۲۱۱۵۹۹	۲۱۵۴۸	۰/۴	۹۴۲۷	۰/۳
ضریب تغییرات		۱۶/۵۰	۱۳/۸۷	۱۱/۷۲	۱۳/۹۶	۱۰/۷۹	۱۹/۰۲	۱۸/۰۱	۶/۷۵	۱۱/۳۰

^{ns} عدم تفاوت معنی‌دار، *تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد، **تفاوت معنی‌دار در سطح ۱ درصد

جدول ۶ – مقایسه میانگین اثر روش‌های آبیاری بر اجزای عملکرد انواع درختان مرتعی

میانگین صفات و مقایسه آن‌ها به روش آزمون دانکن (در سطح احتمال ۵ درصد)*

تیمار	ارتفاع	قطر ساقه	وزن تر ساقه	وزن تر برگ	وزن خشک ساقه	وزن خشک برگ	شاخص سطح برگ	حجم آب مصرفی	بهره‌وری مصرف آب
سال	سانتی‌متر	میلی‌متر			گرم			لیتر	کیلوگرم بر مترمکعب
سال اول	۱۴۱ ^{a}	۲۲/۵۹ ^{a}	۸۲۴ ^{a}	۳۸۷ ^{a}	۴۴۱ ^{a}	۱۴۰ ^{a}	۱/۳۲ ^{a}	۹۴۴ ^{a}	۱/۳۲ ^{a}
سال دوم	۱۹۶ ^{b}	۳۷/۳۸ ^{b}	۶۷۳۸ ^{b}	۱۶۶۳ ^{b}	۳۹۸۳ ^{b}	۶۱۲ ^{b}	۱/۳۲ ^{a}	۱۹۳۳ ^{b}	۴/۲۱ ^{b}
نوع درخت									
کهور (T_1)	۳۷۳ ^{a}	۵۶/۲۸ ^{a}	۱۳۱۱۰ ^{a}	۳۰۰۶ ^{a}	۷۷۴۷ ^{a}	۱۰۲۰ ^{a}	۰/۲۱ ^{c}	۹۹۶ ^{c}	۹/۷۲ ^{a}
کنوکارپوس (T_2)	۱۰۰ ^{bc}	۲۷/۷۲ ^{b}	۱۴۰۸ ^{b}	۹۱۷ ^{b}	۷۷۴ ^{b}	۳۹۹ ^{b}	۲/۰۰ ^{a}	۲۴۰۲ ^{a}	۰/۸۴ ^{b}
برهان (T_3)	۱۱۵ ^{b}	۲۲/۶۳ ^{c}	۴۳۳ ^{c}	۱۳۲ ^{c}	۲۱۸ ^{c}	۵۳ ^{c}	۱/۷۵ ^{a}	۱۳۶۵ ^{b}	۰/۲۹ ^{c}
کنار (T_4)	۸۸ ^{c}	۱۳/۳۱ ^{d}	۱۸۰ ^{c}	۴۶ ^{c}	۱۱۰ ^{d}	۳۳ ^{c}	۱/۳۰ ^{b}	۹۹۴ ^{c}	۰/۲۰ ^{c}
روش آبیاری									
سطحی (I_1)	۱۶۵ ^{b}	۲۷/۲۴ ^{a}	۴۱۰۰ ^{a}	۱۱۰۵ ^{a}	۲۵۸۱ ^{a}	۳۷۵ ^{ab}	۱/۴۳ ^{a}	۲۵۸۵ ^{a}	۱/۴۲ ^{c}
واترباکس (I_2)	۱۶۱ ^{b}	۳۰/۳۱ ^{a}	۳۲۲۰ ^{b}	۷۸۱ ^{b}	۱۷۱۴ ^{c}	۳۰۰ ^{b}	۱/۰۶ ^{a}	۳۱۵ ^{d}	۵/۶۶ ^{a}
کوزه‌ای (I_3)	۱۶۴ ^{b}	۲۹/۹۸ ^{a}	۳۶۷۰ ^{ab}	۱۱۲۷ ^{a}	۲۰۹۰ ^{b}	۴۴۲ ^{a}	۱/۳۶ ^{a}	۹۹۰ ^{c}	۲/۱۲ ^{b}
بابلر (I_4)	۱۸۵ ^{a}	۳۲/۴۱ ^{a}	۴۱۳۸ ^{a}	۱۰۹۰ ^{a}	۲۴۶۳ ^{a}	۳۸۹ ^{ab}	۱/۴۲ ^{a}	۱۸۶۷ ^{b}	۱/۸۶ ^{b}

*: در هر ستون تفاوت بین میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند معنی‌دار نیست.

جدول ۷- مقایسه میانگین اثرات متقابل روش‌های آبیاری بر اجزای عملکرد انواع درختان مرتعی

تیمار	میانگین صفات و مقایسه آن‌ها به روش آزمون دانکن (در سطح احتمال ۵ درصد)*								
	ارتفاع	قطر ساقه	وزن تر ساقه	وزن تر برگ	وزن خشک ساقه	وزن خشک برگ	شاخص سطح برگ	حجم آب مصرفی	بهره‌وری مصرف آب
	سانتی‌متر	میلی‌متر	گرم					لیتر	کیلوگرم بر مترمکعب
T_1I_1	۳۷۰ a	۴۹/۰۲ b	۱۴۵۲۰ a	۳۲۹۸ a	۹۳۸۰ a	۱۰۶۶ a	۰/۲۲ d	۱۵۷۵ e	۵/۳۳ c
T_1I_2	۳۶۸ a	۶۱/۵۳ a	۱۱۶۴۰ b	۲۷۲۴ b	۶۰۷۴ d	۹۹۷ a	۰/۲۱ d	۳۱۵ h	۱۹/۹ a
T_1I_3	۳۷۶ a	۵۰/۸۰ b	۱۱۸۸۰ b	۲۷۹۳ b	۶۸۸۲ c	۹۳۲ a	۰/۱۹ d	۹۴۵ g	۶/۸۵ b
T_1I_4	۳۷۹ a	۶۳/۷۵ a	۱۴۳۸۰ a	۳۲۱۰ a	۸۶۵۱ b	۱۰۸۳ a	۰/۲۱ d	۱۱۵۰ f	۶/۸۱ b
T_2I_1	۱۰۱ bcd	۲۵/۵۸ cdef	۱۲۶۷ de	۹۰۷ d	۶۳۹ fg	۳۴۰ c	۲/۰۲ ab	۴۷۱۷ a	۰/۱۹ f
T_2I_2	۸۰ cd	۲۶/۶۵ cde	۶۳۲ def	۲۸۲ e	۴۳۳ fg	۱۳۶ d	۱/۴۱ bc	۳۱۵ h	۱/۵۴ d
T_2I_3	۹۴ bcd	۳۰/۱۵ c	۲۳۶۸ c	۱۴۷۲ c	۱۲۶۱ e	۷۲۹ b	۲/۱۴ ab	۱۱۲۵ f	۱/۳۲ de
T_2I_4	۱۲۷ b	۲۸/۵۰ cd	۱۳۶۵ d	۱۰۰۸ d	۷۶۱ ef	۳۹۲ c	۲/۴۴ a	۳۴۵۰ b	۰/۳۲ f
T_3I_3	۱۲۵ b	۲۳/۵۵ cdefg	۵۳۳ def	۱۸۶ e	۲۵۶ fg	۷۰ d	۲/۷۴ a	۲۴۷۵ c	۰/۱۲ f
T_3I_1	۱۰۷ bc	۱۸/۳۰ efgh	۳۷۵ def	۶۱ e	۲۱۴ fg	۲۷ d	۱/۱۶ c	۳۱۵ h	۰/۷۰ ef
T_3I_2	۱۰۷ bc	۲۸/۱۷ cd	۳۱۳ def	۲۱۰ e	۱۴۶ fg	۸۲ d	۱/۵۶ bc	۹۴۵ g	۰/۲۰ f
T_3I_3	۱۲۳ b	۲۰/۵۰ defg	۵۱۲ def	۷۳ e	۲۵۷ fg	۳۳ d	۱/۵۴ bc	۱۷۲۵ d	۰/۱۴ f
T_4I_1	۶۵ d	۱۰/۸۲ h	۸۳ f	۲۹ e	۵۰ g	۲۴ d	۰/۷۵ cd	۱۵۷۵ e	۰/۰۵ f
T_4I_2	۸۹ bcd	۱۴/۷۵ gh	۲۳۱ ef	۵۸ e	۱۳۵ g	۳۹ d	۱/۴۶ bc	۳۱۵ h	۰/۴۹ f
T_4I_3	۸۳ cd	۱۰/۷۸ h	۱۱۵ f	۳۳ e	۷۰ g	۲۲ d	۱/۵۳ bc	۹۴۵ g	۰/۰۹ f
T_4I_4	۱۱۵ bc	۱۶/۹۰ fgh	۲۹۳ def	۶۸ e	۱۸۵ fg	۴۷ d	۱/۴۷ bc	۱۱۴۲ f	۰/۱۷ f

*: در هر ستون تفاوت بین میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند معنی‌دار نیست.

از بین کلیه شاخص‌های مرتبط با اجزای عملکرد، درخت کهور به دلیل ارتفاع و قطر ساقه بیشتر و وزن تر و خشک بالاتر در برگ‌ها و ساقه نسبت به سایر تیمارها برتر بود و فقط شاخص سطح برگ آن نسبت به سایر تیمارها از نظر آماری کمتر بود (جدول ۶). در یک تحقیق که در مناطق جنگل‌کاری زاگرس انجام شد. نتایج نشان داد که کاشت درختان کهور نسبت به درختان اکالیپتوس و کنار اثر بیشتری بر افزایش ترسیب کربن در خاک داشت (میرزایی و همکاران، ۱۳۹۲). در یک تحقیق دیگر چهار گونه درخت مناسب برای خاک‌های شنی خوزستان شامل کهور، گز شاهی، اکالیپتوس و کنار از نظر مقاومت به آفت موریانه با یکدیگر مقایسه شدند و نتایج نشان داد مناسب‌ترین درخت برای کاشت کهور است (امیدبخش و همکاران، ۱۳۸۲). حجم آب مصرفی و بهره‌وری مصرف آب در تیمار کهور به ترتیب ۹۹۶ لیتر و ۹/۷۲ کیلوگرم بر مترمکعب بود که نسبت به تیمارهای دیگر اولویت داشت؛ بنابراین با توجه به موارد یاد شده کشت درخت کهور نسبت به سایر درختان مناسب‌تر است.

مقایسه روش‌های آبیاری از نظر تأثیر بر ارتفاع درختان نشان داد در روش آبیاری بابلر متوسط ارتفاع درختان ۱۸۵ سانتی‌متر بود و نسبت به سایر تیمارها به‌طور معنی‌داری در سطح ۵ درصد افزایش داشت (جدول ۶). بین روش‌های دیگر آبیاری در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌داری از نظر ارتفاع درخت مشاهده نشد. دلیل آن را می‌توان به یکنواختی بالای توزیع آب در مقایسه با آبیاری سطحی نسبت داد. نتایج تحقیقات نشان داد که رشد طولی درختان مسن سیب با سیستم آبیاری قطره‌ای نسبت به آبیاری سطحی بیشتر است (سالمی و قاسمی، ۱۳۸۰). در مقایسه با روش‌های آبیاری کوزه‌ای و واترباکس، کاهش رشد طولی درختان را می‌توان به میزان آب قابل‌دسترس و کاهش آب مصرفی نسبت داد.

مقایسه روش‌های آبیاری از نظر تأثیر بر قطر ساقه درختان نشان داد قطر متوسط درختان در تمامی روش‌های آبیاری تفاوت آماری معنی‌داری در سطح ۵ درصد نداشتند؛ یعنی با انتخاب روش آبیاری نمی‌توان انتظار داشت که قطر درختان کاشته شده افزایش یابد. وزن تر ساقه در روش‌های آبیاری سطحی و بابلر با متوسط مقادیر ۴۱۰۰ و ۴۱۳۸ گرم نسبت به روش‌های دیگر آبیاری بیشتر بودند (جدول ۶). دلیل آن به خاطر کاهش میزان آب مصرفی در روش‌های کوزه‌ای و واترباکس است. نتایج تحقیقات انجام شده نشان داد که کمبود شدید آب در هر زمانی از فصل رشد تنه را کاهش می‌دهد (Mills et al., 1996).

وزن خشک ساقه نیز که بیانگر توانایی درخت در حفظ رطوبت ا ست نیز در روش‌های آبیاری سطحی و بابلر با متو سط مقادیر ۲۵۸۱ و ۲۴۶۳ گرم نسبت به سایر تیمارها بیشتر بود (جدول ۶).

مقایسه روش‌های آبیاری از نظر تأثیر بر وزن برگ درختان نشان داد وزن تر برگ در روش آبیاری واترباکس ۷۸۱ گرم بود و نسبت به سایر تیمارها به‌طور معنی‌داری در سطح ۱ درصد کاهش داشت (جدول ۶). بین روش‌های دیگر آبیاری در سطح ۱ درصد تفاوت معنی‌داری از نظر وزن تر برگ مشاهده نشد. وزن خشک برگ نیز در روش آبیاری کوزه‌ای با متوسط مقدار ۴۰۰ گرم نسبت به سایر تیمارها بیشتر بود. نتایج تحقیقات بر روی درختان ترون، زرشک، پیروکانتا و رز نشان داد آبیاری کوزه‌ای نسبت به آبیاری قطره‌ای و سطحی عملکرد بهتری بر شاخص‌های رشد درختان و نیز وزن تر و خشک برگ داشت (انصاری و همکاران، ۱۳۹۳).

مقایسه روش‌های آبیاری از نظر تأثیر بر شاخص سطح برگ درختان نشان داد شاخص سطح برگ در تمامی روش‌های آبیاری تفاوت آماری معنی‌داری در سطح ۱ درصد نداشتند؛ بنابراین با انتخاب روش آبیاری نمی‌توان انتظار کاهش و یا افزایش شاخص سطح برگ داشت (جدول ۶). مقایسه روش‌های آبیاری از نظر تأثیر بر حجم آب مصرفی نشان داد روش آبیاری سطحی با ۲۵۸۵ لیتر برای هر درخت در مدت دو سال و نیز روش آبیاری واترباکس با مقدار ۳۱۵ لیتر برای هر درخت به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار آب مصرفی داشت (جدول ۶)؛ بنابراین تأثیر روش آبیاری و نوع درخت بر حجم آب مصرفی در سطح ۱ درصد دارای تفاوت معنی‌داری است و نیز اثر متقابل روش آبیاری و نوع درخت بر حجم آب مصرفی اختلاف معنی‌داری ایجاد نکرد (جدول ۷)؛ بنابراین می‌توان سامانه آبیاری واترباکس به دلیل کاهش میزان آب مصرفی ناشی از عدم تبخیر آب از سطح خاک و کنترل جریان‌های جانبی و عمودی آب، عدم رشد علف‌های هرز، محافظت از نهال کاشته شده در مقابل سرمازدگی در ماه‌های سرد سال و عدم نیاز به مراقبت و نگهداری از سیستم آبیاری به مدت یک سال و درنهایت نرخ بالای بقاء گیاهان کشت شده، در مقایسه با سایر روش‌های آبیاری در طرح‌های جنگل‌کاری و احداث فضای سبز پیشنهاد نمود. بااین‌حال، جهت اجرای طرح‌های وسیع جنگل‌کاری با استفاده از فناوری‌های صرفه‌جویی آب نظیر واترباکس، می‌بایست این سامانه آبیاری را بر روی تک‌تک درختان مورداستفاده در طرح و نیز در شرایط آب و هوایی مختلف بررسی و آزمایش گردد (Tapia et al., 2019). نتایج جدول آنالیز واریانس (جدول ۵) نشان داد، اثر نوع گیاه و نوع آبیاری بر بهره‌وری مصرف آب در سطح ۱ درصد دارای اخلاف معنی‌داری است. مقایسه روش‌های آبیاری از نظر تأثیر بر شاخص بهره‌وری مصرف آب نشان داد روش آبیاری واترباکس و سطحی با بهره‌وری ۵/۶۶ و ۱/۴۲ کیلوگرم بر مترمکعب به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار بهره‌وری مصرف آب داشت (جدول ۶). در این تحقیق علاوه بر شاخص‌های بیان‌شده، میزان بقای گیاهان نیز بررسی شد. نتایج سال اول نشان‌دهنده بقای ۱۰۰ درصدی تمامی گیاهان تحت تیمارهای مختلف آبیاری بود؛ اما دو سال پس از کاشت بقای ۹۵/۸۳ درصدی گیاهان P2 و P4 مربوط به تیمارهای آبیاری I2 و I4 مشاهده شد. درنتیجه استفاده از فناوری‌های صرفه‌جویی در مصرف آب آبیاری نظیر سامانه واترباکس و نیز سیستم آبیاری کوزه‌ای برای کشت درختان مرتعی در مناطق گرم و خشک با نیاز آبی کم، نرخ بقای قابل قبولی به دنبال خواهد داشت. در مطالعات مشابهی که به‌منظور بررسی نرخ بقاء گیاهان مثمر و غیرمثمر به روش واترباکس انجام شد. بقای ۱۰۰ درصدی درختان سیب، پرتقال و گواوا و نیز بقای ۸۴ درصدی درختان آووکادو گزارش شد (Asmelash et al., 2015). همچنین در سایر مطالعات انجام‌شده

در خصوص تکنیک‌های صرفه‌جویی آب، نرخ بقای ۷۵ تا ۹۵ درصد گزارش شد (Abdullah, 2017; Faruqi et al., 2018). نتایج بدست آمده از تحقیقات صورت گرفته در خصوص استفاده از سیستم‌های صرفه‌جویی در مصرف آب آبیاری، نگرانی‌های ناشی از مرگ‌ومیر گیاهان و پایین بودن نرخ بقای گیاهان را برطرف کرده است (Tapia et al.,2019).

نتیجه‌گیری

استفاده از فناوری‌های صرفه‌جویی در مصرف آب و نیز بقای گیاهان کاشته شده یکی از اهداف اصلی این مطالعه بود که بقای ۱۰۰ درصدی درختان کهور، برهان و کنار و بقای ۹۵/۳۳ درصدی درختان کنوکارپوس با استفاده از فناوری واترباکس و نیز بقای ۱۰۰ درصدی همه گیاهان موردمطالعه با روش کوزه‌ای حاصل شد. ازآنجاکه آبیاری درختان کاشته شده با سامانه واترباکس در فصول گرم سال هرماه و در فصول سرد سال بعضاً هر سه ماه یک‌بار انجام شد، نسبت به آبیاری کوزه‌ای که هر ۳ تا ۷ روز یک‌بار انجام شد، کاهش ۶۸ درصدی در گیاهان کهور، برهان و کنار و نیز ۷۲ درصدی در گیاه کنوکارپوس به همراه داشت. نتایج این مطالعه نشان داد، اثر نوع گیاه بر عملکرد رشد در سطح یک درصد دارای اختلاف معنی‌داری بود و اثر نوع آبیاری و اثر متقابل گیاه و آبیاری بر عملکرد رشد، اختلاف معنی‌داری ایجاد نکرد؛ بنابراین، فاکتورهای رشد در برخی از گیاهان کاشته شده نظیر درختان کهور که با سامانه واترباکس آبیاری شدند، با توجه به در اختیار داشتن ذخیره آب کافی در تمام ایام سال و عدم تبخیر از سطح خاک، نه‌تنها تفاوت معنی‌داری نداشت بلکه به‌مراتب بهتر از سایر روش‌های آبیاری بود؛ اما در گیاه کونوکارپوس که نیاز آبی بیشتری نسبت به سایر گیاهان موردمطالعه داشت، شرایط متفاوت بوده و علی‌رغم نرخ بقای قابل‌قبول ۹۵/۳۳ درصد، سامانه واترباکس نسبت به سایر روش‌های آبیاری دارای اختلاف معنی‌داری بوده و عملکرد قابل قبولی نداشت؛ بنابراین استفاده از سامانه واترباکس برای کاشت گیاهان پرمصرف پیشنهاد نمی‌شود.

با مقایسه مقادیر مصرف آب در هر یک از سیستم‌های آبیاری نسبت به شاهد (آبیاری سطحی)، نتایج قابل‌قبول و امیدوارکننده‌ای به دست آمد که می‌توان با اتکا به این نتایج نسبت به توسعه سامانه‌های صرفه‌جویی آب آبیاری نظیر سامانه واتر باکس اقدام نمود. در این پژوهش، میزان آب مصرفی تجمعی در طول دو سال در سامانه واترباکس ۳۱۵ لیتر بود که در مقایسه با سیستم آبیاری سطحی، ۲۲۷۰ لیتر به ازای هر درخت کاهش مصرف آب داشت. در روش آبیاری کوزه‌ای که تلفیق سیستم‌های سنتی با سیستم‌های نوین آبیاری تحت‌فشار است، با مصرف ۹۹۰ لیتر به ازای هر درخت، کاهش ۱۵۹۵ لیتری به ازای هر درخت داشت. در روش آبیاری بابلر، مصرف آب به ازای هر درخت ۱۸۶۷ لیتر بود که کاهش ۷۱۸ لیتر به ازای هر درخت داشت؛ بنابراین، با به‌کارگیری سامانه‌ها و تکنیک‌های صرفه‌جویی در مصرف آب نظیر آبیاری کوزه‌ای و سامانه واترباکس در جهت توسعه طرح‌های زیست‌محیطی از قبیل بیابان‌زدایی و جنگل‌کاری در مناطق گرم و خشک که با محدودیت شدید منابع آب مواجه هستند، می‌توان بخش عمده‌ای از مشکلات اجرایی طرح‌ها که مربوط به تأمین آب موردنیاز بوده، مرتفع نمود. در خصوص کاربرد سیستم آبیاری بابلر، علی‌رغم کاهش ۲۸/۶ درصد مصرف آب، با توجه به هزینه‌های بالای سرمایه‌گذاری اولیه و نیز مشکلات بهره‌برداری و نگهداری، این سیستم جهت طرح‌های وسیع جنگل‌کاری پیشنهاد نمی‌گردد.

منابع

امتحانی، م. ح.، عظیم زاده، ح.م. و اختصاصی، م.ح. ۱۳۸۷. وضعیت اکولوژیکی کهور ایرانی Prosopis cineraria و تأثیرات زیست‌محیطی آن در جنوب کشور. مجله محیط‌شناسی. ۳۴ (۴۸): ۸۱-۸۸.

امیدبخش، م.، سلیمان نژادیان، ا.، حبیب پور، ب. و عصاره، م.ح. ۱۳۸۲. بررسی مقاومت درختان اراضی شنی خوزستان به موریانه. مجله پژوهش و سازندگی، ۱۶(۳): ۵۱-۴۴.

انصاری، ح.، نادریان فر، م.، رمضانی، ح. و جلینی، م. ۱۳۹۳. مقایسه و ارزیابی برخی شاخص‌های رشد گونه‌های غالب فضای سبز شهری در سیستم‌های آبیاری زیرسطحی سفالی، قطره‌ای و سطحی. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۸ (۲): ۴۰۲-۴۱۲.

سالمی، ح. و قاسمی، ا. ۱۳۸۰. ارزیابی تبدیل روش آبیاری سطحی به آبیاری قطره‌ای در درختان مسن سیب سمیرم. نشریه تحقیقات مهندسی کشاورزی. ۲ (۸): ۴۰-۲۵.

عصاره م. ح.۱۳۸۷. ویژگی‌های زیستی درختان کنار در ایران و معرفی سایر گونه‌های جنس Ziziphus. انتشارات موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع.

میرزایی، ج.، صیدی، ف.، سبحان اردکانی، س. و بازگیر، م. ۱۳۹۲. اثرات جنگلکاری با گونه های بومی و غیر بومی بر میزان ترسیب کربن خاک در مناطق خشک زاگرس (مطالعه موردی: پارک جنگلی آبگرم دهلران). نشریه علمی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران. ۲۱(۳): ۵۱۶-۵۰۶.

Abbasi, F., Sohrab, F., Abbasi, N. 2017. Evaluation of Irrigation Efficiencies in Iran. Irrigation and Drainage Structures Engineering Research, 17(67): 113-120.

Abdullah, W.A. 2017. Pilot Cocoon Planting Technology As a Model to Enable the Growing of Olive and Almond Trees in Arid Condition in Palestine. Special Report, Menaqua Land Restoration of the Middle East & North Africa.

Ansari, H., Naghedifar, M.R. and Faridhosseini, A. 2015. Performance evaluation of drip, surface and pitcher irrigation systems. A Case Study of Prevalent Urban Landscape Plant Species. International Journal of Farming and Allied Science. 4: 610-620.

Asmelash, A., Hadush, M. and Beyene, D. 2015. Preliminary Study on Effect of Waterboxx on Survival Rate of Fruit Trees (Apple, Avocado, Gouva and Orange) at Selame Elementary School Garden Wukro, Tigray North Ethiopia.

Babaheydari, H.A., Fatahi, R. and Khojasteh, D.N. 2019. Comparison of surface, drip and water box irrigation methods on the establishment of hawthorn seedling for controlling desertification phenomenon. Journal of Water and Soil . 245-258.

Bainbridge, D.A. 2001. Buried clay pot irrigation: a little known but very efficient traditional method of irrigation. Agric. Water Manage. 48: 79–88.

Çolak, Y.B., Yazar, A., Gönen, E., Ça, E. 2018. Yield and quality response of surface and subsurface drip-irrigated eggplant and comparison of net returns. Agric. Water Manag. 206: 165–175.

Costello, L. R. and Jones, K. S. 2000. A guide to estimating irrigation water needs of landscape plantings in California – the landscape coefficient method and water use classification of landscape species III (WUCOLS III). Available from: http://www.owue.water.ca.gov/docs/wucols00. Accessed 10 April 2013.

FAO. 2012. Coping with water scarcity. An action framework for agriculture and food security. Prepared by Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO Water Reports, no. 38.

Faruqi, S., Wu, A., Brolis, E., Anchondo, A. and Batista, A. 2018. The Business of Planting Trees: a Growing Investment Opportunity. World Resources Institute and the Nature Conservancy. Available at https:// www.wri.org/ publication/ business-of-planting-trees.

Gärdenäs, A.I., Hopmans, J.W., Hanson, B.R. and Šimůnek, J. 2005. Two-dimensional modeling of nitrate leaching for various fertigation scenarios under micro-irrigation. Agric. Water Manag. 74: 219–242.

Guillermo, J. M. A. 2013. Evaluación de depósitos de agua de liberación lenta (Waterboxx©) en el establecimiento de repoblaciones en áreas adversas de la Comunidad Valenciana. (TRABAJO FINAL DE CARRERA) Universidad Politécnica de Valencia. Valencia.

Ismail, E.A., Ismail, M.N.H. and Eid, T.A. 2013. Effect of applying surface and bubbler irrigation systems on fruitful Washington navel orange trees production. Egypt. J. Agric. Res. 91: 1565–1580.

Jägermeyr, J., Gerten, D., Heinke, J., Schaphoff, S., Kummu, M. and Lucht, W. 2015. Water savings potentials of irrigation systems: global simulation of processes and linkages. Hydrol. Earth Syst. Sci. 19: 3073–3091.

Lauren, B. 2013. Wick irrigation systems for subsistence farming. Bachelor of science in mechanical engineering. 20-23 jon. Massachusetts, US.

Li, X., Yang, P., Shi, H., Ren, S., Li, Y., Li, P. and Wang, C. 2013. The effect of transpiration

Mihitsab-Azmati Watershed, Rama Area, Northern Ethiopia. Journal of Agric. Water Manage 243: 106476.

Rowell, D. L. 1994. The preparation of saturation extracts and the analysis of soil salinity and sodicity. In soil science methods and applications. Longman Group, UK (1994).

Siyal, A.A., Van Genuchten, M.T. and Skaggs, T.H. 2013. Solute transport in a loamy soil under subsurface porous clay pipe irrigation. Agricultural Water Management, 121: 73-80.

Soomro, K. B., H. A. Sahito, J. A. Rind, B. Mal and S. H. Kaleri. 2012. Effect of marginal quality water on okra yield under drip irrigation system. Glo. Adv. Res. J. Engg. Technol. Innova., 1(5): 103-112.

Tapia, P.I., Negoita, L., Gibbs, J.P. and Jaramillo, P. 2019. Effectiveness of water-saving technologies during early stages of restoration of endemic Opuntia cacti in the Gal´apagos Islands. Ecuador. PeerJ. 7, e8156. https://doi.org/10.7717/peerj.8156.

Tesfaye, T., Tesfaye, K., Woldetsadik, K. 2011. Clay pot irrigation for tomato (Lycopersicon esculentum Mill) production in the north east semiarid region of Ethiopia. Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics, 112: 11-18.

Vasudevan, P., Thapliyal, A., Tandon, M., Dastidar, M., Sen, P. 2014. Factors controlling water delivery by pitcher irrigation. Irrigation and Drainage. 63: 71-79.

uncertainty on root zone soil water by Bayesian analysis. Math. Comput. Model. 58: 691–700.

Li, Y., Yang, X., Liu, D., Chen, J., Zhang, D. and Wu, Z. 2019. Permeability of the porous Al2O3 ceramic with bimodal pore size distribution. Ceramics Int. 45: 5952–5957.

Liu, M., Li, Z. and Ren, W. 2014. Effect of Waterboxx Technology on Haloxylon Ammodendron Afforestation in Arid and Semiarid Areas. Advanced Science, Engineering and Medicine. 236-239.

Mekonnen, M. and Hoekstra, A.Y. 2016. Four billion people facing severe water scarcity. Science Advances. 2 (2): e1500323.

Mills, T.M., Behboudian M.H. and Clothier B.E. 1996. Water relation growth and composition of Braeburn apple fruit under deficit irrigation. Journal of the American Society for Horticultural Science, 121(2): 286-298.

Namara, R.E., Nagar, R.K. and Upadhyay, B. 2007. Economics, adoption determinants, and impacts of micro-irrigation technologies: empirical results from India. Irrig. Sci. 25: 283–297.

Paredes, A.M.D. and San Jose, J.D. 2019. Pitcher irrigation: some theoretical and practical aspects. Irrig. Drain. 68 (3): 542-550.

Pal, A., Adhikary, R., Bera, M. and Garanayak, R. 2020. Pitcher irrigation: a water saving technique in arid region. International Journal of Engineering, Science and Mathematics. 9(2): 50-57.

Petros, w., Tesfahunegn, G.B., Berihu, M. and Meinderts, J. 2021. Effectiveness of water-saving techniques on growth performance of Mango(Mangifera Indica L.) Seedlings in

Water Management in Agriculture
Vol. 11, No. 1, Spring and Summer 2024, 47-62

نشریه مدیریت آب در کشاورزی
جلد ۱۱، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۴۰۳، ص. ۶۲-۴۷

The effect of Waterboxx irrigation system on water productivity and performance components of pasture trees in hot and dry climatic conditions

Gh. Bostanian[1], M. Albaji[2]*, A.A. Naseri[3], S. Boroomand-nasab[4]and N. Alemzadeh-ansari[5]

Abstract

In Iran, where there are 40 million acres of desert land, faces many challenges in combating desertification, the most significant of which is wind erosion. Afforestation is the easiest solution to deal with this phenomenon. Given the quantitative and qualitative limitations of water resources, selecting the appropriate irrigation method for rangeland plants is of great importance.In order to determine the most appropriate irrigation method for various rangeland plants, this study was conducted for two years (2019-2021) at Shahid Chamran University of Ahvaz. The experiment was conducted in a factorial design within a randomized complete blocks design with three replications.The main levels included four types of rangeland plants (Prosopis cineraria (T1), Conocarpus (T2), Albezia lebbek (T3), and Ziziphus (T4)), and the sub-levels included four types of irrigation (surface (I1), waterboxx (I2), pitcher (I3)) and Bubbler (I4)).The results of the analysis of variance showed that the types of rangeland plants had a significant difference at the 1% level in terms of measured indices (plant height, stem diameter, stem dry and wet weight, dry and fresh leaf weight, leaf area index, and water consumption volume, and water productivity). There was also a significant difference between irrigation methods at the 5% level for all indices except stem diameter and leaf area index. Among the plant species, mesquite had the highest coverage (including height and dry and fresh weight), and the lowest amount of water consumption (averaging 996 liters per plant over two years), and the highest water productivity (9.72 kg/m3). Among the irrigation methods, the bubbler irrigation method had better coverage than other methods. In contrast, the waterbox irrigation method was superior in terms of water consumption and water productivity, saving 87% of water compared to surface irrigation and increasing water productivity by 298%. Therefore, the waterboxx irrigation method can replace other irrigation methods in afforestation and desertification projects..

Keywords: Pitcher irrigation, Plant survival, Water productivity, Waterboxx

[1] Department of Irrigation and Drainage, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
[2] Associate Professor, Department of Irrigation and Drainage, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran (*Corresponding author: m_albaji2000@yahoo.co.uk)
[3] Professor, Department of Irrigation and Drainage, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
[4] Professor, Department of Irrigation and Drainage, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
[5].Associate Professor, Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
Received: 3 Aug 2023
Accepted: 21 Sep 2023