



برآورد نیاز آبی و ارزیابی سطوح مختلف آبیاری بر پارامترهای رشدی نهال‌های کاج تهران (مطالعه موردی: تهران)

نجم‌الدین دلفان آذری^{۱*}، تیمور رستمی شاهراجی^۲، وحید غلامی^۳ و سید ابراهیم هاشمی گرم‌دره^۴

^۱ دانشجوی دکتری، گروه جنگلداری، پردیس دانشگاهی، دانشگاه گیلان، رشت
^۲ استاد، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه گیلان، رشت
^۳ استادیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه گیلان، رشت
^۴ استادیار، گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۱۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۲/۲۴)

چکیده

این پژوهش به منظور بررسی تأثیر سطوح مختلف آبیاری بر برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی نهال‌های کاج تهران در فضای سبز شهر تهران در دو سال ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ انجام پذیرفت. بدین منظور نیاز آبی کاج تهران در عرصه تحت مطالعه با استفاده از روش پیشنهادی فائو در سیستم آبیاری قطره‌ای و روش WUCOLS III محاسبه شد. سپس تأثیر چهار سطح آبیاری (۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ درصد نیاز آبی) بر برخی ویژگی‌های رشدی این گونه در طول فصل رشد به صورت آزمایش کرت‌های خردشده در قالب زمان و براساس طرح بلوک‌های کامل تصادفی بررسی شد. نتایج نشان داد که مقدار بارش مؤثر در فروردین سال اول و فروردین و اردیبهشت سال دوم بیش از نیاز آبی برآوردشده کاج تهران در عرصه تحت مطالعه بود. بیشترین مقادیر آب مورد نیاز در هر دو سال مربوط به ماه خرداد (۲۰۴/۶ و ۲۴۶/۴۵ لیتر در ماه) و کمترین مقدار آب مورد نیاز در سال‌های اول و دوم (۱۳۹/۵ و ۱۱۷ لیتر در ماه) به ترتیب مربوط به اردیبهشت و مهر بود. تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی سبب کاهش معنی‌دار طول شاخه، قطر شاخه، ارتفاع، قطر تاج درخت و طوقه کاج و افزایش درصد ماده خشک برگ و شاخه و پرولین نسبت به تیمار شاهد شد. فراوانی برگ هر درخت و شادابی گیاه تحت تأثیر سطوح آبیاری قرار نگرفتند. به‌طور کلی، نتایج این پژوهش نشان داد که ضمن حفظ شاخص‌های مهم فضای سبز می‌توان مصرف آب درختان کاج تهران را در عرصه تحت مطالعه تا ۵۰ درصد نیاز آبی در ماه‌های اول فصل رشد و ۷۵ درصد در بقیه ماه‌های سال کاهش داد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری، شادابی، فراوانی برگ، فضای سبز.

مقدمه

آنجا که آلودگی‌های محیط شهری صدمات زیادی بر انسان وارد می‌کند (Khosropour et al., 2017) و استفاده از فضای سبز اغلب تنها روش برقراری ارتباط روزانه جوامع شهری با طبیعت است (Martin et al., 2003)، فضای سبز از عوامل مهم و اساسی و از مهم‌ترین عوامل پایداری حیات طبیعی

گسترش شهرها، ماشینی شدن زندگی مدرن و به تبع آنها، افزایش آلودگی‌های محیط زیست، سبب ضروری‌تر شدن ایجاد فضاهای سبز کلان به‌عنوان مهم‌ترین تعدیل‌کننده زیست‌محیطی شهرها شده است (Babadaei Samani and Ghattaly, 2015). از

است (Shokrollah Zadeh et al., 2016). گیاهان در محیط‌های طبیعی با تنش‌های مختلفی غیرزیستی از جمله دمای زیاد و کم، نور، شوری و تنش آبی روبه‌رو هستند. تنش خشکی مهم‌ترین عامل محدودکننده و تأثیرگذار بر رشد گیاهان در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان به حساب می‌آید (Saneoka et al., 2004). بروز تنش خشکی موجب کاهش خصوصیات رشدی و فرایندهای مختلف درون گیاه از جمله کاهش سطح برگ (Bacelar et al., 2006) و افزایش ریزش برگ‌ها (Emam and Zavareh, 2005) می‌شود؛ به طوری که عامل اصلی خزان زودرس و خشک شدن درختان چنار در شهر تهران را تنش کمبود آب به خصوص در فصل گرما ذکر کرده‌اند (Alipour et al., 2016). شرایط آب‌وهوایی و محدودیت منابع آبی در کشور سبب بروز مشکلات زیادی در زمینه نگهداری و گسترش فضای سبز شهری شده است، که این موضوع اجرای مطالعات مختلف در زمینه تعیین سطوح بهینه آب مصرفی گیاهان فضای سبز را بیش از پیش ضروری می‌سازد. کاج تهران از گونه‌های غالب مورد استفاده در احیای جنگل‌ها، پوشش‌های جنگل مصنوعی و فضای سبز ایران محسوب می‌شود که تاکنون مطالعه‌ای برای تعیین نیاز آبی آن صورت نگرفته است. از این رو این مطالعه با هدف تعیین نیاز آبی و ارزیابی سطوح مختلف آبیاری بر پارامترهای رشدی گونه کاج تهران در فضای سبز شهر تهران انجام پذیرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه پژوهش

این پژوهش به منظور تعیین نیاز آبی و همچنین بررسی تأثیر سطوح مختلف آبیاری (۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ درصد نیاز آبیاری) بر شاخص‌های رشدی گونه کاج در فضای سبز جنوب شرقی شهر تهران (عرض ۳۵° و ۳۹° شمالی و طول ۵۱° و ۳۰° شرقی و ۱۲۰۳ متر ارتفاع از سطح دریا) در سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶

در زندگی شهرنشینی قلمداد می‌شود؛ به طوری که امروزه مفهوم شهرها بدون وجود فضای سبز مؤثر در اشکال گوناگون آن، دیگر قابل تصور نیست. فضای سبز شهری به‌عنوان یکی از شاخص‌های توسعه جامعه، تأثیرات انکارناپذیری در زمینه محیط زیست، ایجاد فضاهای زیبا و دلنشین، فراهم آوردن آرامش روانی، ایجاد یکپارچگی اجتماعی و حفظ آسایش دارد (Alizadeh et al., 2009) که در نهایت سبب افزایش رضایت از شرایط زندگی، احساس نشاط و ارتقای کیفیت زندگی می‌شود.

کمبود آب در آینده نزدیک، از بزرگ‌ترین مشکلات جوامع بشری در جهان به‌شمار می‌آید (Sadeghi & Attarod, 2014). خشکسالی‌های اخیر در کنار توزیع نامناسب مکانی و زمانی بارش، زیاد بودن تبخیر و تعرق و کارایی کم استفاده از منابع آبی در کشور سبب شده که خشکی به‌عنوان مشکلی جدی مطرح باشد. با توجه به وضعیت بحران آب در ایران و مصرف عمده آن در دو بخش کشاورزی و فضای سبز، دو راهکار اجتناب از کاشت گونه‌های حساس و مدیریت منابع آب در زمینه مصرف بهینه آن (Kafi et al., 2009) پیشنهاد شده است. نیاز آبی مهم‌ترین عامل محدودکننده توسعه پوشش گیاهی است که باید به‌طور ویژه به آن پرداخته شود (Rad et al., 2010). برآورد نیاز آبی گیاهان تحت کشت و کار در فضای سبز ضمن صرفه‌جویی در مقدار آب مصرفی و کاهش هزینه مالی نگهداری فضای سبز شهری، می‌تواند مانع وارد شدن خسارات ناشی از مصرف کم یا زیاد آب به گیاهان شود که این موضوع سبب افزایش کیفیت فضای سبز می‌شود (Costello et al., 2000). نیاز آبی گونه‌های گیاهی خرزهره و نارون با استفاده از روش وکولس تری و همچنین محاسبه تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از روش تلفیقی پنمن مانیتیت فائو بررسی شده و بیان شد که بیشترین مقدار نیاز آبی خرزهره (۶/۳۱ میلی‌متر در روز) و نارون (۶/۵۶ میلی‌متر در روز) در ماه مرداد بوده

و در طی هفت ماه ابتدایی سال (از فروردین تا مهرماه) طراحی شد.

روش پژوهش

این آزمایش به صورت کرت‌های خردشده در قالب زمان و براساس طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار انجام پذیرفت. در ابتدا مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش (دارای بافت شنی لومی و $pH=7/45$) بررسی شد. اعمال تیمارهای آبیاری پس از گذشت یک سال از زمان کاشت نهال‌ها در عرصه مورد نظر (بر روی نهال‌های چهارساله) انجام پذیرفت. عملیات وجین علف‌های هرز در مواقع لزوم و به صورت دستی انجام پذیرفت. آبیاری با استفاده از آب چاه و به روش قطره‌ای با آرایش اسپاگتی انجام پذیرفت.

روش تعیین نیاز آبی

برای تعیین نیاز آبی گونه کاج تهران، ابتدا مقدار تبخیر و تعرق گیاه مرجع با استفاده از معادله استاندارد جهانی فائو-پنمن-مانتیث توسط نرم‌افزار کراپوات براساس داده‌های ایستگاه هواشناسی دوشان‌تپه به صورت روزانه محاسبه و سپس حداکثر تبخیر و تعرق روزانه گیاه مطابق رابطه ۱ محاسبه شد (Alizadeh, 2009).

$$ET_c = ET_o \times K_s \quad \text{رابطه ۱}$$

در این رابطه، ET_o تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع (میلی‌متر در روز) و K_s ضریب گونه است. با توجه به شرایط عرصه کاشت و بررسی‌های انجام‌گرفته، ضریب گونه کاج در محدوده طبقه کم (۰/۳-۰/۱) قرار داشت (Costello et al., 2000) و مقدار متوسط این دامنه برای ماه‌های مورد آزمایش مدنظر قرار گرفت. همچنین مقدار نیاز آبی گیاه با استفاده از رابطه پیشنهادی فائو (رابطه ۲) محاسبه شد.

$$Td = [ps + 0.15(1-ps)] \times ET_c \quad \text{رابطه ۲}$$

در رابطه بالا، T_d نیاز آبی روزانه (میلی‌متر در روز)، ps حداکثر درصد سطح سایه‌انداز و ET_c حداکثر تبخیر و تعرق روزانه گیاه (میلی‌متر در روز) را نشان می‌دهد.

حداکثر دور آبیاری از رابطه ۳ محاسبه شد:

$$FX = Dx / Td \quad \text{رابطه ۳}$$

در این رابطه، FX حداکثر دور آبیاری (روز)، Dx حداکثر عمق آبیاری (میلی‌متر) و Td حداکثر نیاز آبی روزانه گیاه (میلی‌متر در روز) است (Alizadeh, 2009).

باران مؤثر با استفاده از نرم‌افزار کراپوات و براساس روش پیشنهادی فائو اندازه‌گیری شد. به منظور تعیین نیاز خالص آبیاری و نیاز ناخالص آبیاری به ترتیب از رابطه‌های ۴ و ۵ استفاده شد.

$$In = Td - EF \times F \quad \text{رابطه ۴}$$

In نیاز خالص آبیاری (میلی‌متر)، Td حداکثر تعرق روزانه گیاه یا نیاز آبی روزانه گیاه (میلی‌متر در روز)، EF مقدار باران مؤثر روزانه و F دور آبیاری طراحی (روز) است (Alizadeh, 2009).

$$I_g = In / Ea \quad \text{رابطه ۵}$$

I_g نیاز ناخالص آبیاری (میلی‌متر)، In نیاز خالص آبیاری (میلی‌متر) و Ea بازده آبیاری (درصد) است (Alizadeh, 2009).

حجم ناخالص آبیاری برای هر درخت با توجه به نیاز ناخالص آبیاری و فواصل کاشت درختان با استفاده از رابطه ۶ تعیین شد.

$$V = I_g \times Sp \times Sr \quad \text{رابطه ۶}$$

V حجم ناخالص آبیاری برای هر درخت (لیتر)، I_g نیاز ناخالص آبیاری (میلی‌متر)، Sp فاصله ردیف

برگ و شاخه محاسبه شد. مقدار پرولین برگ براساس روش (Bates et al., 1973) اندازه‌گیری شد.

روش تحلیل

آنالیز داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ صورت گرفت و میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شد.

نتایج

پس از جمع‌آوری و پردازش داده‌های اقلیمی از ایستگاه دوشان‌تپه، از قبیل دما، درصد رطوبت نسبی، ساعات آفتابی، سرعت وزش باد و میزان تشعشع، میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع در دو سال ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ با استفاده از روش پیشنهادی فائو محاسبه شد. نتایج نشان داد که به دلیل متفاوت بودن مقدار تبخیر و تعرق مرجع و مقدار بارش مؤثر در ماه‌های مختلف، مقدار آب مورد نیاز گونه کاج تهران در ماه‌های مختلف مورد بررسی با هم متفاوت بود، به طوری که مقدار بارش در فروردین ۱۳۹۵ و فروردین اردیبهشت ۱۳۹۶ بیش از مقدار آب برآوردشده مورد نیاز کاج تهران بود (جدول ۱). در هر دو سال مطالعه‌شده، بیشترین مقادیر آب مورد نیاز (حجم ناخالص آبیاری) (۲۰۴/۶ و ۲۴۶/۴۵ لیتر در ماه) مربوطه به ماه خرداد بود، در حالی که کمترین مقدار آب مورد نیاز (۱۰۸ و ۱۱۷ لیتر در ماه) متعلق به مهرماه بود.

براساس نتایج، اغلب خصوصیات مورد بررسی در این آزمایش تحت تأثیر مقدار آبیاری قرار گرفت. اعمال تیمارهای کم‌آبیاری، سبب کاهش طول و قطر شاخه کاج تهران شد؛ آبیاری با سطح ۵۰ درصد نیاز آبی، سبب کاهش معنی‌دار طول شاخه (در سال دوم) و قطر شاخه کاج (در هر دو سال) نسبت به تیمار شاهد (۱۰۰ درصد نیاز آبی) شد، در حالی که بین سطوح ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی اختلاف معنی‌داری

درختان (متر) و St فاصله درختان روی ردیف (متر) است (Anonymous, 2004).

شایان ذکر است که براساس محاسبات انجام‌گرفته، نیاز آبخوبی خاک عرصه تحت مطالعه کمتر از ۰/۱ (۰/۰۶) بود و از آنجا که این میزان نیاز آبخوبی از طریق تلفات نفوذ عمقی تأمین می‌شود، در عرصه تحت مطالعه نیازی به آبخوبی وجود نداشت.

برای بررسی تأثیر سطوح مختلف آبیاری بر عملکرد گونه کاج تهران در فضای سبز شهر تهران، برخی از ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی این گونه در طول هفت ماه ابتدایی فصل رشد (از فرودین تا مهرماه) ارزیابی شد. شایان ذکر است که به دلیل اینکه مقدار بارش در فروردین ۱۳۹۵ و فروردین اردیبهشت ۱۳۹۶ در عرصه تحت مطالعه بیش از مقدار آب برآوردشده مورد نیاز گونه کاج تهران بود و این گونه در عرصه تحت مطالعه در ماه‌های مذکور نیازی به آبیاری نداشت، در ماه‌های مذکور داده‌برداری از صفات مختلف مرتبط با عملکرد گونه کاج تهران انجام نگرفت. میزان رشد ارتفاع نهال، رشد طول شاخه و قطر تاج با استفاده از متر نواری و رشد قطر شاخه و قطر طوقه نهال با استفاده از کولیس اندازه‌گیری شد. ارزیابی شادابی نهال‌ها با مشاهده چشمی انجام پذیرفت؛ بدین منظور، شادابی نهال‌ها براساس رنگ برگ‌ها و میزان طراوت (Setayesh et al., 2016)، از ۱ تا ۳ امتیازدهی شد که عدد بیشتر، نشان‌دهنده شادابی بیشتر بود. شاخص فراوانی برگ براساس مشاهده چشمی، ارزیابی و امتیازدهی (امتیاز ۱ تا ۴) شد. بدین منظور امتیاز ۱ برای کمترین مقدار فراوانی برگ (بدترین حالت) و امتیاز ۴ برای بیشترین مقدار فراوانی برگ (بهترین حالت) در نظر گرفته شد. برای اندازه‌گیری ماده خشک برگ و شاخه، نمونه‌های برگ و شاخه با ترازوی دیجیتالی توزین و سپس به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند و دوباره توزین شدند و در نهایت درصد ماده خشک

مشاهده نشد؛ این موضوع بیانگر این مطلب است که درختانی با میزان رشد شاخه و قطر شاخه مناسب در فضای سبز شهری در عرصه تحت مطالعه داشت.

جدول ۱- تعیین نیاز آبی کاج تهران در عرصه مورد نظر در دو سال ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶

سال	ماه	تبخیر و تعرق مرجع (میلی متر/روز)	نیاز آبی روزانه (میلی متر/روز)	دور آبیاری (روز)	باران مؤثر (میلی متر/روز)	نیاز خالص آبیاری (میلی متر)	نیاز ناخالص آبیاری (میلی متر)	حجم ناخالص آبیاری (لیتر در دور)
۱۳۹۵	فروردین	۴/۰۶	۰/۲۶	۱۵	۰/۵۰	-	-	-
	اردیبهشت	۶/۳۲	۰/۴۰	۱۰	۰	۳/۰۰	۳/۷۵	۴۵/۰۰
	خرداد	۶/۹۴	۰/۴۴	۹	۰	۳/۹۶	۴/۹۵	۵۹/۴۰
	تیر	۶/۷۳	۰/۴۳	۹	۰	۳/۸۷	۴/۸۳	۵۸/۰۵
	مرداد	۶/۴۹	۰/۴۱	۹	۰	۳/۶۹	۴/۶۱	۵۵/۳۵
	شهریور	۵/۲۷	۰/۳۴	۱۱	۰	۳/۷۴	۴/۶۷	۵۶/۱۰
۱۳۹۶	مهر	۳/۷۶	۰/۲۴	۱۶	۰	۳/۸۴	۴/۱۸	۵۷/۶۰
	فروردین	۳/۶۴	۰/۲۶	۱۹	۰/۵۹	-	-	-
	اردیبهشت	۵/۴۰	۰/۳۹	۱۲	۰/۷۷	-	-	-
	خرداد	۷/۳۱	۰/۵۳	۹	۰	۴/۷۷	۵/۹۶	۷۱/۵۵
	تیر	۶/۶۷	۰/۴۸	۱۰	۰	۴/۸۰	۶/۰۰	۷۲/۰۰
	مرداد	۶/۴۶	۰/۴۷	۱۰	۰	۴/۷	۵/۸۷	۷۰/۵۰
۱۳۹۵	شهریور	۵/۴۲	۰/۳۹	۱۲	۰	۴/۶۴	۵/۸۰	۶۹/۶۰
	مهر	۳/۵۹	۰/۲۶	۱۹	۰	۴/۹۴	۶/۱۷	۷۴/۱۰

نشد (جدول های ۲ و ۳). در هر دو سال، تیمارهای آبیاری بر فراوانی برگ هر درخت و شادابی گیاه تأثیر معنی داری نداشت. نتایج بیانگر این مطلب است که هرچند اعمال تیمارهای کم آبیاری (۵۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی) سبب کاهش کمی در فراوانی برگ هر درخت و شادابی گیاه شد، این میزان کاهش در هر دو شاخص از نظر آماری معنی دار نبود؛ به عبارت دیگر با اعمال آبیاری در سطح ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه کاج، می توان ضمن صرفه جویی در مقدار آب مصرفی درختانی با تعداد برگ مناسب و شادابی قابل قبول داشت (جدول ۳).

درصد ماده خشک برگ و شاخه تحت تأثیر تیمارهای آبیاری قرار گرفتند. به طور کلی در اثر

نتایج نشان داد که آبیاری با هر دو سطح ۵۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی موجب کاهش شاخص های ارتفاع نهال، قطر تاج و رشد طوقه شد؛ با وجود این در هر دو سال تنها تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی سبب کاهش معنی دار ارتفاع نهال (۸۴ و ۷۴ درصد)، قطر تاج (۶۷ و ۶۹ درصد) و رشد طوقه درخت (۴۶ و ۶۲ درصد) در مقایسه با تیمار شاهد شد. بررسی روند میزان رشد ارتفاع و قطر تاج نهال در ماه های مختلف نشان دهنده این مطلب است که در اواسط فصل رشد از رشد کاسته شد و کمترین میزان رشد ارتفاع و قطر تاج گیاه در تیرماه بود. از طرف دیگر رشد طوقه درخت در هر دو سال از ابتدای فصل رشد تا پایان خرداد ادامه داشت و پس از آن تا پایان مهر رشدی مشاهده

برگ و شاخه مشاهده شد؛ به طوری که درصد ماده خشک برگ و شاخه در مرداد به حداکثر خود رسیدند و سپس تا پایان مهرماه روند کاهشی نشان دادند (جدول ۴).

اعمال کم آبیاری روند افزایشی در درصد ماده خشک برگ و شاخه مشاهده شد؛ در هر دو سال، تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی موجب افزایش معنی دار هر دو شاخص نسبت به تیمار شاهد شد. از ابتدای فصل رشد تا اواسط فصل رشد روند افزایش درصد ماده خشک

جدول ۲- اثر برهمکنش آبیاری و زمان بر طول شاخه، قطر شاخه، ارتفاع و قطر تاج درخت

تیمار آبیاری (درصد نیاز آبی)	ماه	طول شاخه (سانتی متر)		قطر شاخه (میلی متر)		ارتفاع (سانتی متر)		قطر تاج (سانتی متر)	
		۱۳۹۵	۱۳۹۶	۱۳۹۵	۱۳۹۶	۱۳۹۵	۱۳۹۶	۱۳۹۵	۱۳۹۶
۵۰٪	اردیبهشت	-	۲/۲۵ ^a	-	۱/۱۲ ^b	-	۱/۵۰ ^{cd}	-	۲/۵۰ ^{de}
	خرداد	۱/۵۰ ^b	۳/۲۵ ^c	۰/۰۰ ^d	۰/۰۰ ^f	۰/۰۰ ^f	۲/۷۵ ^{bcd}	۳/۵۰ ^{cde}	۱/۰۰ ^f
	تیر	۰/۰۰ ^d	۲/۰۰ ^{gef}	۰/۰۰ ^d	۰/۰۰ ^f	۰/۰۰ ^f	۱/۰۰ ^g	۱/۰۰ ^{hi}	۰/۵۰ ^{fg}
	مرداد	۰/۰۰ ⁱ	۰/۰۰ ⁱ	۰/۰۰ ^d	۰/۰۰ ^f	۰/۰۰ ^f	۰/۰۰ ^h	۰/۲۵ ⁱ	۰/۰۰ ^g
	شهریور	۰/۵۰ ^{hi}	۰/۵۰ ^{hi}	۰/۰۰ ^d	۰/۰۰ ^f	۰/۰۰ ^f	۰/۰۰ ^h	۰/۲۵ ⁱ	۰/۷۵ ^{fg}
	مهر	۰/۵۰ ^{hi}	۰/۵۰ ^{hi}	۰/۰۰ ^d	۰/۰۰ ^f	۰/۰۰ ^f	۰/۰۰ ^h	۰/۵۰ ⁱ	۰/۵۰ ^{fg}
۷۵٪	اردیبهشت	-	۲/۵۰ ^a	-	۱/۲۵ ^{ab}	-	۲/۲۵ ^{ab}	-	۴/۵۰ ^{ab}
	خرداد	۱/۵۰ ^b	۵/۲۵ ^b	۰/۷۵ ^b	۱/۰۰ ^{bc}	۱/۵۰ ^{cd}	۴/۲۵ ^a	۶/۵۰ ^a	۳/۰۰ ^d
	تیر	۰/۰۰ ^d	۳/۰۰ ^{cd}	۰/۰۰ ^d	۰/۷۵ ^{cd}	۱/۰۰ ^{de}	۳/۰۰ ^{bc}	۱/۰۰ ^{hi}	۲/۵۰ ^{de}
	مرداد	۱/۵۰ ^{gf}	۱/۵۰ ^{gf}	۰/۰۰ ^d	۰/۵۰ ^{de}	۱/۲۵ ^{cde}	۲/۵۰ ^{bcd}	۳/۰۰ ^{ef}	۱/۰۰ ^f
	شهریور	۲/۲۵ ^{def}	۲/۲۵ ^{def}	۰/۰۰ ^d	۰/۵۰ ^{de}	۲/۲۵ ^{ab}	۲/۷۵ ^{bcd}	۴/۲۵ ^{bc}	۲/۰۰ ^e
	مهر	۱/۵۰ ^{gf}	۱/۵۰ ^{gf}	۰/۰۰ ^d	۰/۰۰ ^f	۱/۷۵ ^{bc}	۱/۵۰ ^{fg}	۱/۰۰ ^{hi}	۲/۰۰ ^e
۱۰۰٪	اردیبهشت	-	۲/۵۰ ^a	-	۱/۵۰ ^a	-	۲/۵۰ ^a	-	۴/۷۵ ^{ab}
	خرداد	۶/۵۰ ^a	۱/۷۵ ^b	۱/۰۰ ^a	۱/۰۰ ^{bc}	۱/۵۰ ^{cd}	۴/۵۰ ^a	۶/۲۵ ^a	۳/۰۰ ^d
	تیر	۲/۱۲ ^{ef}	۱/۰۰ ^c	۰/۰۰ ^d	۰/۰۰ ^f	۰/۷۵ ^e	۱/۷۵ ^{efg}	۱/۷۵ ^{gh}	۲/۰۰ ^e
	مرداد	۱/۵۰ ^{gf}	۱/۵۰ ^{gf}	۰/۰۰ ^d	۱/۰۰ ^{bc}	۱/۲۵ ^{cde}	۰/۰۰ ^h	۳/۲۵ ^{de}	۰/۰۰ ^g
	شهریور	۲/۷۵ ^{cde}	۲/۷۵ ^{cde}	۰/۰۰ ^d	۱/۰۰ ^{bc}	۳/۲۵ ^b	۳/۲۵ ^b	۴/۵۰ ^b	۳/۲۵ ^{cd}
	مهر	۱/۸۷ ^{gf}	۱/۸۷ ^{gf}	۰/۰۰ ^d	۰/۰۰ ^f	۳/۰۰ ^{bc}	۳/۰۰ ^{bc}	۲/۲۵ ^{fg}	۳/۲۵ ^{cd}
۱۲۵٪	اردیبهشت	-	۲/۵۰ ^a	-	۱/۰۰ ^{bc}	-	۲/۵۰ ^a	-	۵/۰۰ ^a
	خرداد	۵/۲۵ ^b	۱/۵۰ ^b	۱/۰۰ ^a	۱/۰۰ ^{bc}	۱/۷۵ ^{bc}	۴/۲۵ ^a	۷/۰۰ ^a	۳/۲۵ ^{cd}
	تیر	۱/۷۵ ^{gf}	۰/۲۵ ^d	۰/۲۵ ^c	۰/۲۵ ^{ef}	۱/۰۰ ^{de}	۲/۰۰ ^{def}	۲/۰۰ ^g	۲/۰۰ ^e
	مرداد	۲/۷۵ ^{cde}	۲/۷۵ ^{cde}	۰/۰۰ ^d	۱/۰۰ ^{bc}	۱/۵۰ ^{cd}	۰/۰۰ ^h	۳/۲۵ ^{de}	۰/۰۰ ^g
	شهریور	۲/۷۵ ^{cde}	۲/۷۵ ^{cde}	۰/۰۰ ^d	۱/۰۰ ^{bc}	۳/۲۵ ^b	۳/۲۵ ^b	۴/۰۰ ^{bcd}	۴/۰۰ ^{bc}
	مهر	۲/۰۰ ^{gef}	۲/۰۰ ^{gef}	۰/۰۰ ^d	۰/۰۰ ^f	۲/۲۵ ^{cdef}	۲/۲۵ ^{cdef}	۳/۰۰ ^{ef}	۲/۵۰ ^{de}

* - میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی داری با هم ندارند.

جدول ۳- اثر برهمکنش آبیاری و زمان بر طوقه، فراوانی برگ و شادابی درخت

شادابی	فراوانی برگ		طوقه (سانتی متر)		زمان	تیمار آبیاری (درصد نیاز آبی)
	۱۳۹۵	۱۳۹۶	۱۳۹۵	۱۳۹۶		
۳/۰۰ ^a	-	۴/۰۰ ^a	-	۱/۰۰ ^d	-	اردیبهشت
۳/۰۰ ^a	۳/۰۰ ^a	۴/۰۰ ^a	۴/۰۰ ^a	۰/۶۲ ^e	۰/۵۰ ^c	خرداد
۲/۷۵ ^b	۲/۷۵ ^a	۳/۷۵ ^a	۳/۷۵ ^a	۰/۰۰ ^f	۰/۰۰ ^d	تیر
۲/۷۵ ^b	۲/۷۵ ^a	۳/۷۵ ^a	۳/۷۵ ^a	۰/۰۰ ^f	۰/۰۰ ^d	مرداد
۳/۰۰ ^a	۳/۰۰ ^a	۴/۰۰ ^a	۴/۰۰ ^a	۰/۰۰ ^f	۰/۰۰ ^d	شهریور
۳/۰۰ ^a	۳/۰۰ ^a	۴/۰۰ ^a	۴/۰۰ ^a	۰/۰۰ ^f	۰/۰۰ ^d	مهر
۳/۰۰ ^a	-	۴/۰۰ ^a	-	۱/۷۵ ^b	-	اردیبهشت
۳/۰۰ ^a	۳/۰۰ ^a	۴/۰۰ ^a	۴/۰۰ ^a	۱/۰۰ ^d	۱/۳۵ ^b	خرداد
۳/۰۰ ^a	۲/۷۵ ^a	۴/۰۰ ^a	۴/۰۰ ^a	۰/۰۰ ^f	۰/۰۰ ^d	تیر
۳/۰۰ ^a	۳/۰۰ ^a	۴/۰۰ ^a	۳/۷۵ ^a	۰/۰۰ ^f	۰/۰۰ ^d	مرداد
۳/۰۰ ^a	۳/۰۰ ^a	۴/۰۰ ^a	۴/۰۰ ^a	۰/۰۰ ^f	۰/۰۰ ^d	شهریور
۲/۷۵ ^b	۳/۰۰ ^a	۴/۰۰ ^a	۴/۰۰ ^a	۰/۰۰ ^f	۰/۰۰ ^d	مهر
۳/۰۰ ^a	-	۴/۰۰ ^a	-	۱/۷۵ ^b	-	اردیبهشت
۳/۰۰ ^a	۳/۰۰ ^a	۴/۰۰ ^a	۴/۰۰ ^a	۱/۲۵ ^c	۱/۶۲ ^a	خرداد
۳/۰۰ ^a	۳/۰۰ ^a	۴/۰۰ ^a	۴/۰۰ ^a	۰/۰۰ ^f	۰/۰۰ ^d	تیر
۳/۰۰ ^a	۳/۰۰ ^a	۴/۰۰ ^a	۴/۰۰ ^a	۰/۰۰ ^f	۰/۰۰ ^d	مرداد
۳/۰۰ ^a	۳/۰۰ ^a	۴/۰۰ ^a	۴/۰۰ ^a	۰/۰۰ ^f	۰/۰۰ ^d	شهریور
۳/۰۰ ^a	۳/۰۰ ^a	۴/۰۰ ^a	۴/۰۰ ^a	۰/۰۰ ^f	۰/۰۰ ^d	مهر
۳/۰۰ ^a	-	۴/۰۰ ^a	-	۲/۰۰ ^a	-	اردیبهشت
۳/۰۰ ^a	۳/۰۰ ^a	۴/۰۰ ^a	۴/۰۰ ^a	۱/۳۷ ^c	۱/۷۵ ^a	خرداد
۳/۰۰ ^a	۳/۰۰ ^a	۴/۰۰ ^a	۴/۰۰ ^a	۰/۰۰ ^f	۰/۰۰ ^d	تیر
۳/۰۰ ^a	۳/۰۰ ^a	۴/۰۰ ^a	۴/۰۰ ^a	۰/۰۰ ^f	۰/۰۰ ^d	مرداد
۳/۰۰ ^a	۳/۰۰ ^a	۴/۰۰ ^a	۴/۰۰ ^a	۰/۰۰ ^f	۰/۰۰ ^d	شهریور
۳/۰۰ ^a	۳/۰۰ ^a	۴/۰۰ ^a	۴/۰۰ ^a	۰/۰۰ ^f	۰/۰۰ ^d	مهر

*- میانگین‌هایی با حروف مشابه در هر ستون با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.

تنش آبی، مقدار پرولین برگ کاج روند افزایشی نشان داد (جدول ۴). بیشترین مقدار پرولین برگ در اثر تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی اندازه‌گیری شد و در سال‌های اول و دوم به ترتیب افزایش ۱/۶۰ و ۱/۷۴

سطوح مختلف آبیاری در هر دو سال مقدار پرولین برگ را تحت تأثیر قرار داد. نتایج بیانگر وجود رابطه خطی و مستقیم بین مقدار پرولین برگ و شدت تنش کم آبیاری است؛ متناسب با افزایش سطح

سپس تا پایان مهرماه روند کاهش داشت. در هر دو سال مطالعه شده، بیشترین مقدار پرولین برگ در مردادماه و تحت تیمار ۵۰ درصد نیاز آبیاری اندازه‌گیری شد (جدول ۴).

برابری در مقدار پرولین برگ نمونه‌های تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی در مقایسه با تیمار شاهد مشاهده شد. بررسی روند تغییرات مقدار پرولین برگ در ماه‌های مختلف نشان می‌دهد که مقدار پرولین برگ از ابتدای فصل تا مردادماه (بیشترین مقدار) افزایش یافت و

جدول ۴- اثر برهمکنش آبیاری و زمان بر درصد ماده خشک شاخه، درصد ماده خشک برگ و پرولین برگ

تیمار آبیاری (درصد نیاز آبی)	زمان	ماده خشک برگ (درصد)		ماده خشک شاخه (درصد)		پرولین (میلی‌گرم در گرم برگ تازه)	
		۱۳۹۵	۱۳۹۶	۱۳۹۵	۱۳۹۶	۱۳۹۵	۱۳۹۶
%۵۰	اردیبهشت	۴۳/۸۶ ^{bcde}	-	۴۴/۹۹ ^{cdef}	-	۰/۰۶۷ ^{efgh}	-
	خرداد	۴۵/۰۴ ^{abcd}	۴۶/۵۰ ^{bcdef}	۴۱/۳۸ ^{cdefg}	۴۶/۱۳ ^{abcd}	۰/۰۸۳ ^{bcd}	۰/۱۲ ^{def}
	تیر	۴۶/۱۰ ^{ab}	۵۰/۸۹ ^{ab}	۴۵/۱۳ ^{abcd}	۴۶/۳۸ ^{abc}	۰/۰۷۷ ^{bcde}	۰/۱۹ ^b
	مرداد	۴۷/۰۲ ^a	۵۴/۷۲ ^a	۴۷/۳۲ ^{ab}	۴۷/۵۲ ^{ab}	۰/۱۱ ^a	۰/۲۶ ^a
	شهریور	۴۵/۹۱ ^{abc}	۵۱/۰۷ ^{ab}	۴۸/۵۸ ^a	۴۵/۹۱ ^{abcde}	۰/۰۸۸ ^{bc}	۰/۱۷ ^{bc}
	مهر	۴۳/۷۲ ^{bcde}	۴۹/۵۴ ^{abc}	۴۶/۴۹ ^{abc}	۴۵/۲۲ ^{bcdef}	۰/۰۷۴ ^{cdef}	۰/۱۰ ^{efghi}
%۷۵	اردیبهشت	۴۱/۶۲ ^e	-	۴۴/۴۹ ^{cdef}	-	۰/۰۶۴ ^{efghi}	-
	خرداد	۴۲/۴۱ ^e	۴۵/۴۱ ^{bcdefg}	۴۳/۳۶ ^{abcdef}	۴۵/۴۷ ^{abcdef}	۰/۰۶۹ ^{defg}	۰/۱۳ ^{cdef}
	تیر	۴۲/۳۷ ^e	۴۷/۰۹ ^{bcdef}	۴۳/۷۵ ^{abcdef}	۴۶/۴۵ ^{abc}	۰/۰۷۷ ^{bcde}	۰/۱۷ ^{bc}
	مرداد	۴۳/۶۲ ^{cde}	۴۹/۶۳ ^{abc}	۴۴/۱۴ ^{abcde}	۴۷/۶۷ ^a	۰/۰۹۱ ^b	۰/۱۶ ^{bcd}
	شهریور	۴۲/۵۷ ^e	۵۰/۸۳ ^{abc}	۴۱/۳۶ ^{cdefg}	۴۶/۱۶ ^{abcd}	۰/۰۸۵ ^{bc}	۰/۱۱ ^{efg}
	مهر	۴۱/۷۰ ^e	۴۸/۰۵ ^{bcde}	۴۲/۷۰ ^{bcdefg}	۴۵/۰۱ ^{cdef}	۰/۰۶۲ ^{fghij}	۰/۰۶ ^{ghi}
%۱۰۰	اردیبهشت	۴۲/۲۳ ^e	-	۴۳/۳۸ ^f	-	۰/۰۴۸ ^{jk}	-
	خرداد	۴۲/۳۰ ^e	۴۱/۲۷ ^{fg}	۳۵/۶۱ ^{ghi}	۴۳/۶۴ ^{ef}	۰/۰۵۰ ^{ijk}	۰/۰۸ ^{ghi}
	تیر	۴۲/۴۴ ^e	۴۲/۳۰ ^{efg}	۳۶/۲۷ ^{ghi}	۴۴/۱۹ ^{cdef}	۰/۰۵۴ ^{ijkl}	۰/۱۰ ^{efgh}
	مرداد	۴۲/۵۳ ^e	۴۹/۴۱ ^{abc}	۴۸/۴۱ ^{ab}	۴۴/۸۱ ^{cdef}	۰/۰۵۸ ^{ghijk}	۰/۱۴ ^{cde}
	شهریور	۴۲/۲۵ ^e	۴۶/۱۶ ^{bcdef}	۴۰/۸۹ ^{cdefgh}	۴۳/۸۲ ^{def}	۰/۰۵۱ ^{ijkl}	۰/۰۹ ^{fghi}
	مهر	۴۲/۱۲ ^e	۴۶/۳۶ ^{bcdef}	۳۸/۳۳ ^{efghi}	۴۳/۱۲ ^f	۰/۰۴۴ ^k	۰/۰۶ ⁱ
%۱۲۵	اردیبهشت	۴۲/۱۹ ^e	-	۴۳/۴۳ ^f	-	۰/۰۴۸ ^{jk}	-
	خرداد	۴۲/۹۶ ^{de}	۴۲/۹۶ ^{defg}	۳۵/۳۵ ^{hi}	۴۳/۸۸ ^{def}	۰/۰۴۸ ^{jk}	۰/۰۸ ^{ghi}
	تیر	۴۲/۲۳ ^e	۳۹/۴۳ ^g	۳۳/۲۸ ⁱ	۴۳/۶۹ ^{ef}	۰/۰۴۹ ^{ijk}	۰/۱۱ ^{efgh}
	مرداد	۴۲/۲۷ ^e	۴۸/۹۱ ^{abcd}	۴۵/۱۸ ^{abcd}	۴۴/۱۹ ^{cdef}	۰/۰۵۰ ^{ijk}	۰/۱۲ ^{def}
	شهریور	۴۲/۱۸ ^e	۴۴/۸۳ ^{cdefg}	۳۹/۷۶ ^{cdefgh}	۴۳/۴۷ ^f	۰/۰۴۸ ^{jk}	۰/۰۸ ^{ghi}
	مهر	۴۲/۱۵ ^e	۴۶/۳۷ ^{bcdef}	۳۸/۳۰ ^{fghi}	۴۳/۱۴ ^f	۰/۰۴۸ ^{jk}	۰/۰۶ ^{ghi}

* میانگین‌هایی با حروف مشابه در هر ستون با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.

بحث

تعیین نیاز آبی گیاهان در ایجاد و توسعه فضاهای سبز شهری به‌ویژه در مناطقی که با محدودیت منابع آبی روبه‌رو هستند، از قدم‌های اولیه در صرفه‌جویی و بهینه‌سازی مصرف آب است. در عرصه مورد نظر به‌دلیل کافی نبودن بارندگی مؤثر در تأمین آب مورد نیاز گیاهان در طول فصل رشد (اغلب ماه‌های سال) و به‌ویژه در ماه‌های گرم سال نیاز به آبیاری تکمیلی برای حفظ شادابی گیاهان وجود داشت. مقدار نیاز آبیاری تکمیلی بسته به مقدار تبخیر و تعرق مرجع منطقه که خود وابسته به فاکتورهای اقلیمی از قبیل رطوبت نسبی، درجه حرارت، سرعت وزش باد، شدت تابش خورشید و مقدار بارش مؤثر است، متفاوت بود. نتایج نشان داد که به‌دلیل تغییر فاکتورهای مختلف محیطی (مقدار بارندگی، دما، شدت تشعشع، تبخیر و تعرق و غیره)، مقدار آب مورد نیاز گیاه در ماه‌های مختلف مورد بررسی متفاوت بود؛ به‌طوری که حجم ناخالص آبیاری از ابتدای فصل رشد تا آخر خرداد روند افزایشی نشان داد و به بیشترین حد خود (۲۰۴/۶ و ۲۴۶/۴۵ لیتر در ماه) رسید و سپس روند کاهشی مشاهده شد و در مهرماه سال‌های اول و دوم به‌ترتیب به ۱۰۸ و ۱۱۷ لیتر در ماه کاهش پیدا کرد. اعمال تنش کم‌آبیاری سبب کاهش چشمگیر شاخص‌های رشدی از جمله ارتفاع، طول و قطر شاخه و قطر تاج شد که با نتایج گزارش‌شده در گونه‌های مختلف گیاهی همخوانی دارد. از جمله بررسی سطوح مختلف آبیاری بر میزان آستانه تحمل به خشکی زرشک زینتی نشان داد که با افزایش شدت تنش خشکی، ارتفاع بوته کاهش یافت و بیان شد که با حفظ شاخص‌های مهم فضای سبز می‌توان مقدار مصرف آب گیاه زرشک را به ۶۰ درصد نیاز آبی کاهش داد (Setayesh et al., 2016). همچنین کاهش چشمگیر ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی نهال‌های بنه (Mirzaei and Karamshahi, 2015) گزارش شده است. در مطالعه دیگری نیز تأثیرات تنش خشکی بر

زیست‌توده، برخی شاخص‌های رشد و کارایی مصرف آب در اکالیپتوس ارزیابی شد و بیان شد که در صورت بروز تنش خشکی تا حد ۳۰ درصد، گیاه اکالیپتوس می‌تواند به اندازه توسعه اندام هوایی ریشه تولید کند و از کارایی آن برخوردار شود. در حالی که اعمال تنش شدیدتر خشکی موجب کاهش رشد ریشه، جذب آب و مواد غذایی و در نهایت توقف رشد شد (Rad et al., 2011). تنش خشکی سبب کاهش رشد رویشی در گیاهان می‌شود و گیاهان در مواجهه با شرایط تنش‌زا، از سازوکارهای مختلفی از قبیل تغییر در میزان رشد اندام‌های مختلف بهره می‌گیرند، به‌طوری که بیان شده کاهش تاج درخت در نتیجه تنش آبی طولانی‌مدت، سازوکاری تدافعی در مقابله با تنش خشکی است (Dichio et al., 2002). در مطالعات پیشین می‌توان به کاهش تاج درختان زیتون (Dichio et al., 2002) و اثر منفی تنش خشکی بر رشد طولی، وزن خشک اندام هوایی و تأثیر منفی در طول ریشه نهال‌های کاج سیاه (Dehghan et al., 2016)، اشاره کرد. اولین حساس‌ترین واکنش گیاهان به شرایط کمبود آب، کاهش فرایندهای رشدی به‌دلیل کاهش تورژسانس سلول‌هاست (Larcher, 2006)، به‌طوری که در بیشتر موارد رشد رویشی حتی از سرعت فتوسنتز برگ به کم‌آبی حساس‌تر است و پیش از کاهش فتوسنتز، کاهش می‌یابد (McDowell, 2011). به‌دلیل تأثیر مهم آب در متابولیسم گیاه، کاهش مقدار آب مورد نیاز گیاه، به‌سرعت رشد گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد و حتی تحت شرایط خشکی طولانی‌مدت، به‌دلیل مختل شدن عملیات فیزیولوژیکی طبیعی گیاه، احتمال خشک شدن و از بین رفتن گیاه وجود دارد (Mirzaei et al., 2016). نتایج این پژوهش نشان داد که در اثر اعمال تیمارهای کم‌آبیاری (حداکثر ۵۰ درصد نیاز آبی)، شادابی کاج تهران تغییر معنی‌داری نکرد. با بررسی میزان آستانه تحمل به خشکی زرشک زینتی و اعمال تیمارهای آبیاری در سطوح مختلف،

دانست. تنش خشکی از طریق بستن روزنه‌ها در اثر سنتر هورمون اسید آبسزیک، اختلال در ساختار غشای تیلوکوئیدها، تأثیر بر فعالیت آنزیم روبیسکو و همچنین کاهش انتقال و ذخیره مواد فتوسنتزی، سبب کاهش رشد و تولید ماده خشک در گیاهان می‌شود (Anjum et al., 2011). تنش خشکی سبب افزایش مقدار پرولین برگ شد؛ در سال‌های اول و دوم تحقیق، مقدار پرولین برگ در تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی نسبت به تیمار شاهد (سطح ۱۰۰ درصد نیاز آبی)، به ترتیب افزایش ۱/۶ و ۱/۷۴ برابری داشت. بیشترین مقدار پرولین برگ (۰/۱۱ و ۰/۲۶ میلی‌گرم در گرم برگ تازه) مربوط به تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی در ماه مرداد بود که بیانگر افزایش ۱/۸۹ و ۱/۸۵ برابری مقدار پرولین برگ در تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی نسبت به تیمار شاهد (۰/۵۸ و ۰/۱۴ میلی‌گرم در گرم برگ تازه) در این ماه است (جدول ۴). این نتایج مبنی بر افزایش مقدار پرولین برگ در اثر تنش خشکی با نتایج گزارش شده در گیاهان مختلف همخوانی دارد. با بررسی اثر تنش کم‌آبی بر برخی پارامترهای فیزیولوژیک گیاه مرتعی قلم (*Fortuynia bungei* Boiss) بیان شده که مقدار پرولین در اثر تنش خشکی افزایش یافت، به طوری که مقدار پرولین محلول از ۰/۶ میلی‌گرم در گرم بافت برگ گیاه تحت تیمار ظرفیت زراعی به ۳۹/۳ میلی‌گرم در گرم بافت تحت تیمار ۲۵ درصد ظرفیت زراعی افزایش پیدا کرد (Tajamoliyan et al., 2012). رابطه مثبت و مستقیمی بین مقدار تجمع پرولین و افزایش مقاومت به خشکی در گیاهان وجود دارد، به طوری که غلظت پرولین در گیاهان متحمل به تنش اغلب بیشتر از گیاهان حساس است (Anjum et al., 2011; Saneoka et al., 2004). تنظیم اسمزی یکی از اقدامات مهم گیاهان به منظور تحمل به تنش خشکی است. تجمع پرولین در گیاهان تحت تنش خشکی، به عنوان گسترده‌ترین نوع از مواد حل‌شونده سازگار، از طریق سازوکار تنظیم اسمزی

گزارش شده که تنش خشکی (۲۰ و ۴۰ درصد نیاز آبی) سبب کاهش معنی‌دار شاخص طراوت شد، در حالی که اختلاف معنی‌داری بین شاخص طراوت در تیمارهای ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی مشاهده نشد (Setayesh et al., 2016). در این پژوهش تیمارهای کم‌آبیاری تأثیر معنی‌داری بر فراوانی برگ نداشت. ریزش برگ‌ها سازوکار مؤثری برای کاهش تعرق و اختلاف پتانسیل بین ریشه‌ها و برگ‌هاست که در شرایط تنش رطوبتی توسط گیاهان اعمال می‌شود (Emam and Zavareh, 2005). کاهش تعداد و سطح برگ که ممکن است ناشی از کاهش تقسیم سلولی و همچنین ریزش و پیری برگ باشد یکی از اولین خطوط دفاعی گیاهان برای فرار از خشکی و کاهش خسارت ناشی از تنش کم‌آبی است. تنش خشکی از طریق تأثیر بر تشکیل سلول‌های اولیه برگ و تمایز آنها موجب کاهش تعداد برگ می‌شود (da Silva Lobato et al., 2008). با این حال، در پژوهش حاضر اعمال تیمارهای مختلف آبیاری، تأثیر معنی‌داری بر فراوانی برگ کاج تهران نداشت که نشان می‌دهد می‌توان با اعمال آبیاری در سطح ۵۰ درصد نیاز آبی این گونه در عرصه تحت مطالعه درختانی با تعداد برگ مناسب داشت (جدول ۳). اثر تنش خشکی مقدار ماده خشک کل در پژوهش حاضر کاهش پیدا کرد، در حالی که درصد ماده خشک در اثر تنش افزایش یافت. تنش خشکی سبب کاهش چشمگیر ماده خشک اجزای مختلف از جمله برگ، انشعابات اصلی، انشعابات فرعی و ریشه اکالیپتوس شد (Rad et al., 2011). از طرف دیگر درصد ماده خشک برگ هلو در اثر تنش کم‌آبی شدید حدود ۳۰ درصد بیشتر از شرایط تنش ملایم بود؛ به طوری که مقدار ماده خشک برگ در تنش ملایم ۲۶/۷۸ گرم بر ۱۰۰ گرم بود، در حالی که در تنش شدید به ۳۴/۹۱ گرم بر ۱۰۰ گرم افزایش پیدا کرد (Rahmati et al., 2014). به طور کلی کاهش وزن خشک گیاه در اثر تنش خشکی را می‌توان با کاهش فتوسنتز گیاه مرتبط

از قبیل تاج درخت، فراوانی برگ، تعداد برگ خشک و شادابی درخت از جمله شاخص‌های مهم در فضای سبز شهری هستند به نظر می‌رسد که آبیاری درختان کاج تهران در عرصه مورد نظر را می‌توان در ماه‌های اول فصل رشد تا سطح ۵۰ درصد نیاز آبی و در بقیه ماه‌های سال تا سطح ۷۵ درصد کاهش داد.

سپاسگزاری

نویسندگان از کارکنان محترم شهرداری تهران، مدیریت محترم شهرک شهید بهشتی قرارگاه پدافند هوایی خاتم‌الانبیا و سازمان هواشناسی کشور برای همکاری در اجرای این طرح، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌کنند.

موجب افزایش تحمل گیاهان به تنش خشکی می‌شود (Yoshiba et al., 1997). افزایش تجمع ماده پرولین در گیاهان تحت تنش خشکی، امکان زنده ماندن و بازیابی رشد گیاه را در دوره کوتاهی پس از بروز تنش خشکی به گیاه می‌دهد (Sanchez et al., 1998)، زیرا علاوه بر نقش پرولین در تنظیم اسمزی، این اسید آمینه، منبع نیتروژن و کربن برای رشد و ترمیم گیاه نیز به حساب می‌آید (Nayyar, 2003).

به طور کلی نتایج این پژوهش در طی دو سال نشان داد که سطوح مختلف آبیاری بر شاخص‌های مختلف رشدی تأثیرگذار بوده است، به طوری که تیمار کم آبیاری در سطح ۵۰ درصد نیاز آبی سبب کاهش برخی از ویژگی‌های رشدی گونه کاج تهران در عرصه تحقیق شد. از یک طرف با توجه به محدودیت منابع آبی و از طرف دیگر با توجه به اینکه برخی از فاکتورها

References

- Alipour, H., Nikbakht, A., Etemadi, N., Nourbakhsh, F., & Rejali, F. (2016). The efficiency of mycorrhizal fungi on growth characteristics and some nutrients uptake of plane tree seedling (*Platanus orientalis* L.). *Journal of Horticultural Science*, 29(4), 237-546.
- Alizadeh, A. (2009). Trickle irrigation (principle and practices), second edition. Published by the Emam Reza University, 494 p.
- Alizadeh, A., Najafi-mood, M., Mousavi, J., & Alizadeh, B. (2009). The effect of sprinkling irrigation with saline water on growth parameters of three varieties of lown. *Journal of Water and Soil*, 23(4), 161-169.
- Anonymous. (2004). *Design Criteria for Pressurized Irrigation Systems*, Publication No. 286. Ministry of Energy, Iran Water Resources Management Co. Deputy of Research office of Standard and Technical Criteria. ISBN: 964-425-544-5.
- Anjum, S.A., Xie, X.Y., Wang, L.C., Saleem, M.F., Man, C., & Lei, W. (2011). Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *African Journal of Agricultural Research*, 6(9), 2026-2032.
- Babadaei Samani, R., & Ghattaly, A. (2015). Effect of irrigation intervals and different mulches on some vegetative and reproductive characteristics of zinnia (*Zinnia elegans*). *Journal of Plant Ecophysiology*, 7(23), 204-215.
- Bacelar, E.A., Santos, D.L., Moutinho-Pereira, J.M., Gonçalves, B.C., Ferreira, H.F., & Correia, C.M. (2006). Immediate responses and adaptative strategies of three olive cultivars under contrasting water availability regimes: changes on structure and chemical composition of foliage and oxidative damage. *Plant Science*, 170(3), 596-605.
- Bates, L.S., Waldran, R.P., & Teare, I.D. (1973). Rapid determination of free proline for water studies. *Plant Soil*, 39(1), 205-208.

- Costello, L., Matheny, N., & Clark, J. (2000). A guide to estimating irrigation water needs of landscape plantings in California the landscape coefficient method and WUCOLS III** WUCOLS is the acronym for water use classifications of landscape species”, University of California Cooperative Extension California Department of Water Resources August WUCOLS 2000.
- da Silva Lobato, A.K., de Oliveira Neto, C.F., Gomes, B., dos Santos Filho, R.C.L., da Costa, F.J.R.C., & Hadrielle Karina Borges Neves, M.J. (2008). Physiological and biochemical behavior in soybean (*Glycine max* cv. Sambaiba) plants under water deficit. *Australian Journal Crop Science*, 2(1), 25-32.
- Dehghan, S., Tabari Kochak Saraei, M., & Jalali, Gh. (2016). Effect of SiO₂ NP_s nanoparticles on morphophysiological characteristics of *Pinus nigra* under drought stress. *Forest Research and Development*, 2(3), 289-299.
- Dichio, B., Romano, M., Nuzzo, V., & Xiloyannis, C. (2000). Soil water availability and relationship between canopy and roots in young olive trees (cv Coratina). *Acta Horticulturae*, 586, pp 419–422.
- Emam, E., & Zavareh, M. (2005). *Tolerate of drought in plants*. Tehran University Publication, Iran p. 107-108.
- Kafi, M., Borzoe, A., Salehi, M., Kamandi, A., Masoumi, A., & Nabati, J. (2009). *Physiology of Environmental Stress in Plants*. Mashhad, Jihad Danshgahi Press. 502p.
- Khosropour, E., Attarod, P., Shirvani³, A., Bayramzadeh, V., & Hakimi, L. (2017). Biochemical and physiological responses of *Pinus eldarica* and *Platanus orientalis* leaves to air pollution in Tehran. *Iranian Journal of Forest*, 8(4), 431- 443.
- Larcher, W. (2006). *Ecofisiologia vegetal*. Rima, São Carlos. P. 550.
- Martin, C.A., Peterson, K.A., & Stabler, L.B. (2003). Residential landscaping in phoenix, Arizona, U.S.: practices and preferences relative to covenants, codes, and restrictions. *Journal of Arboriculture*, 29(1), 9-16.
- McDowell, N.G. (2011). Mechanisms linking drought, hydraulics, carbon metabolism, and vegetation mortality”, *Plant Physiology*, 155(3), 1051-1059.
- Mirzaei, J., & Karamshahi, A. (2015). Effects of drought stress on growth and physiological characteristics of *Pistacia atlantica* seedlings. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 22 (1), 31-43.
- Mirzaei, S., Khosh-Khui, M., & Dastoory, M. (2016). Introduction of drought tolerant succulents suitable for urban landscaping. *Scientific Journal of Promotion Flowers and Ornamental Plants*, 1(2), 69-78.
- Nayyar, H. (2003). Accumulation of osmolytes and osmotic adjustment in water-stressed wheat (*Triticum aestivum*) and maize (*Zea mays*) as affected by calcium and its antagonists. *Environmental and Experimental Botany*, 50(3), 253-264.
- Rad, M.H., Assare, M.H., Meshkat, M.A., & Soltani, M. (2011). Effects of drought stress on biomass, several growth parameters and water use efficiency of eucalyptus (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh) in response to drought stress. *Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research*, 19(1), 13-27.
- Rad, M.H., Assare, M.H., Meshkat, M.A., Dashtegian, K., & Soltani, M. (2010). Water requirement and production function of eucalyptus (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh) in arid environment. *Iranian Journal of Forest*, 2(1), 61-71.
- Rahmati, M., Davarunejad, Gh., Bannayayn Awal, M., & Azizi, M. (2014). Effect of water deficit stress on peach growth under commercial orchard management condition. *Water and Soil*, 28(5), 940-950.

- Sadeghi, S.M.M., & Attarod, P. (2014). Estimation of canopy ecohydrological parameters of *Pinus eldarica* trees in a semiarid climate. *Iranian Journal of Forest*, 6(2), 167-182.
- Sanchez, F.G., Manzanares, M., Andres, E.F., Ternorio, J.L., Ayerbe, L., & De Andres, E.F. (1998). Turgor maintenance, osmotic adjustment and soluble sugar and proline accumulation in 46 pea cultivars in response to water stress. *Field Crop Research*, 59(3), 225-253.
- Saneoka, H., Moghaieb, R.E., Premachandra, G.S., & Fujita, K. (2004). Nitrogen nutrition and water stress effects on cell membrane stability and leaf water relations in *Agrostis palustris* Huds. *Environmental and Experimental Botany*, 52(2), 131-138.
- Setayesh, R., Kafi, M., & Nabati, J. (2016). Evaluation of drought stress thresholds in ornamental barberry (*Berberis thunbergii* cv. Atropurpurea) shrub in Mashhad condition. *Journal of Horticultural Science*, 30(3), 714-722.
- Shokrollah Zadeh, M.R., Miri, H.R., & Abbasizadeh, M. (2016). Determination of water requirement of elm *Ulmus Carpinifolia* and oleander *Nerium oleander* using the WUCOLS III Method in the green space of Shiraz city. *Conference on Agriculture, Genetic Engineering and Plant Protection*.
- Tajamolijan, M., Irannezhad Parizi, M.H., Malekinezhad, H., Rad, M.H., & Sodaiizadeh, H. (2012). Effects of water deficit stress on physiological reaction in *Fortuynia bungei* Boiss. *Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research*, 20(2), 273-283.
- Yoshihara, Y., Kiyosue, T., Nakashima, K., Yamaguchi-Shinozaki, K., & Shinozaki, K. (1997). Regulation of levels of proline as an osmolyte in plants under water stress. *Plant and Cell Physiology*, 38(10), 1095-1102.



An assessment of water requirement and investigation of different irrigation levels on growth parameters of eldar pine (*Pinus eldarica* Medw) seedlings (case study: Tehran)

N. Delfan Azari^{1*}, T. Rostami Shahraji², V. Gholami³, and S.E. Hashemi Garmdareh⁴

¹Ph.D. Student, Dept. of Forestry, University Campus 2, University of Guilan, Rasht, I. R. Iran

²Professor, Dept. of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Rasht, I. R. Iran

³Assistant Prof., Dept. of Range and Watershed Management, University of Guilan, Rasht, I. R. Iran

⁴Assistant Prof., Dept. of Irrigation and Drainage, Faculty of Aburaihan, University of Tehran, Tehran, I. R. Iran

(Received: 7 January 2018, Accepted: 15 March 2018)

Abstract

This study was carried out to evaluate the effects of different irrigation levels on some morpho-physiological properties of pine (*Pinus eldarica* Medw.) in Tehran green areas in 2015 and 2016. For this purpose, water requirements of pine in the studied area was estimated using the method recommended by FAO for drip irrigation system and WUCOLSIII method, then the effects of four levels of irrigation (50, 75, 100 and 125% water requirements) on some growth properties of pine species during the growth season were investigated in a split plot experiment in time based on randomized complete block design. The results showed that the amount of rainfall in April (in the first year) and also in April and May (in the second year) were more than the estimated amount of pine water need. The highest amounts of water requirement in both years were estimated in June (204.6 and 246.45 liters per month), whereas the lowest ones in the first and second years (139.5 and 117 liters per month) were determined in May and October, respectively. The treatment of 50% water requirement significantly decreased the branch length, branch diameter, height, tree crown diameter and pine crowns and increased the percentage of leaf and branch dry matters and proline in comparison with the control treatment. Leaf abundance per tree and leaf succulence were not affected by irrigation treatment. In general, the results of this study showed that meanwhile maintaining the important indices of green area, water consumption for Tehran pine trees in the studied area could be reduced to 50% of the water requirement in the first months of growing season and to 75% of that in the others months of year.

Keywords: Green areas, Irrigation, Leaf abundance, Succulence.