

مقاله علمی-پژوهشی

مدیریت مصرف آب در جنگل کاری مناطق خشک و نیمه خشک از طریق تعیین نیاز آبی و آستانه تحمل به خشکی

محمد‌هادی راد^{۱*}، محمدحسن عصاره^۲، محمد خسروشاهی^۳ و مهدی سلطانی^۴

چکیده

در مناطق خشک و نیمه خشک، بهبود پوشش گیاهی از طریق جنگل کاری می‌تواند، ضمن کنترل بیابان‌زایی و تولید مواد سلولوزی، شرایط را برای بقا و سکونت انسان و همچنین حیات وحش فراهم نماید. در کنار انتخاب گونه مناسب برای جنگل کاری، می‌بایست به نیازهای بوم‌شناختی و بوم‌سازگاری آن‌ها نیز توجه کرد. بسیاری از گونه‌های جنگلی، می‌توانند با سازوکارهای مختلف از جمله بهبود کارایی مصرف آب با خشکی مقابله نمایند. از طرف دیگر توجه به نیاز آبی واقعی این گیاهان و تأثیر تنش خشکی بر رفتار و سازگاری آن‌ها با طبیعت، حائز اهمیت است. از طریق آزمایش‌های لایسیمیتری و تعیین نیاز آبی تعدادی از گونه‌های جنگلی از جمله تاغ (*Haloxylon aphyllum*) و چند گونه اکالیپتوس (*E. microtheca*, *E. sarjentina*, *E. camaldulensis*)، سازوکارهای سازگاری آن‌ها برای بقا در شرایط خشک مورد توجه قرار گرفت. در میان گونه‌های ذکر شده تاغ دارای کمترین نیاز آبی و مقاوم‌ترین گونه به تنش خشکی بود. این گونه همچنین از کارایی مصرف آب بالاتری در مواجهه با تنش خشکی، برخوردار بود.

واژه‌های کلیدی: بیابان‌زایی، پوشش گیاهی، تبخیر تعرق، کارایی مصرف آب، ضریب گیاهی

مقدمه

ضروری است تا از آبیاری‌های مکمل استفاده و برای استقرار پایدار آن‌ها نیز هدفمند، به نیاز آن‌ها به آب توجه و برنامه‌ریزی شود. بر این اساس می‌توان نیاز آبی روزانه گونه‌های مورد استفاده در جنگل کاری را به دو بخش مهم تقسیم کرد. بخش اول شامل میزان آب مصرف شده برای استقرار اولیه و بخش دوم شامل آب مصرف شده برای رشد پایدار و مؤثر در کارکرد تعریف شده است (کنترل ریزگردها و تثبیت شن، تولید چوب و یا ترسیب کربن). در گونه‌های غیر مثمر یا جنگلی نیز مشابه گونه‌های مثمر مدیریت کم آبیاری نیز می‌تواند، مورد توجه قرار گیرد. به همین دلیل امکان دارد با اعمال تنش خشکی ملایم و یا مدیریت کاهش تبخیر در تمام دوره رویش گیاه و یا در مراحل خاصی از رشد و نمو، ضمن بهبود کارایی مصرف آب، از مصرف آب غیر ضروری نیز جلوگیری نمود.

میزان آب وارد شده به منطقه ریشه به‌عنوان شاخصی مهم در رشد و استقرار طولانی مدت گیاهان در مناطق خشک و نیمه خشک مطرح است. برای استقرار اولیه گونه‌های چوبی

^۱ استادیار پژوهشی بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران (* نویسنده مسئول: mohammadhadirad@gmail.com)

^۲ استاد گروه زیست فن‌آوری موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

^۳ دانشیار گروه تحقیقات بیابان موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

^۴ کارشناس پژوهش بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۲/۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۳/۱

DOR: 20.1001.1.24764531.2021.8.1.5.3

در فرمول فوق ET_o ممکن است تبخیر تعرق بالقوه و یا تبخیر تعرق گیاهی مرجم باشد. روش‌هایی که برای محاسبه ET_o پیشنهاد شده است، هرکدام از نظر داده‌های مورد لزوم نیازهای متفاوتی دارند که عمده آن‌ها درجه حرارت روزانه یا ماهانه، میزان رطوبت نسبی، سرعت باد و ساعات آفتابی است. پس از آنکه ET_o با یکی از روش‌های مرسوم محاسبه شد، ضریب گیاهی نیز محاسبه شده و با ضرب کردن آن‌ها در یکدیگر، ET_c محاسبه نمود. لازم به ذکر است که این عمل را می‌توان برای دوره‌های مختلف رشد گیاه به کار گرفت.

در روش مستقیم که معمولی‌ترین روش تعیین تبخیر تعرق است، بر اساس استفاده از اصل بیلان جرمی در یک حجم کنترل شده از خاک پایه‌گذاری شده است. بر اساس این اصل رابطه ۲ را می‌توان بیان داشت (علیزاده، ۱۳۸۳).

$$\Delta S = \text{جریان خروجی} - \text{جریان ورودی} \quad (2)$$

جریان ورودی و خروجی = مقدار کل آبی که طی یک دوره زمانی مشخص (مثل یک ساعت، یک روز یا یک ماه) به حجم معینی از خاک وارد و یا از آن خارج می‌شود و معمولاً برحسب میلی‌متر توصیف می‌شوند.

ΔS ، تغییر رطوبت در حجم کنترل شده خاک در طی دوره زمانی مشخص که برحسب سانتی‌متر یا میلی‌متر توصیف می‌شود.

عواملی که ممکن است بر مقادیر جریان ورودی و خروجی مؤثر باشند در روابط ریاضی ۳ و ۴ بیان شده‌اند.

$$I = P + SFI + LI + GW \quad (3)$$

$$ET = RO + LO + L + DP \quad (4)$$

I = مقدار آبیاری (میلی‌متر)، P = مقدار بارندگی و یا بارش مؤثر (میلی‌متر)، SFI = جریان سطحی ورودی به سطح خاک (میلی‌متر)، LI = جریان زیرسطحی که وارد حجم خاک می‌شود (میلی‌متر)، GW = مقدار آبی که از زیر زمین ممکن است وارد

منظور از تبخیر تعرق برآورد مقدار آبی است که باید به یک پوشش گیاهی داده شود تا در طول دوره رویش صرف تبخیر و تعرق نموده و بدون آنکه با تنش آبی مواجه شود، رشد خود را تکمیل و حداکثر مقدار محصول را تولید کند (Al-jamal et al., 2002; Kirkham, 2005). موضوعی که تحقق آن در جنگل-کاری مناطق خشک و نیمه‌خشک، به‌آسانی صورت نمی‌گیرد.

استفاده مناسب از آب موضوع مبهمی است، چرا که دارای معانی و موارد بسیاری است. با این وجود تعریف اصلی آن را می‌توان به مجموع ماده خشکی که توسط هر واحد آب مورد استفاده به وجود می‌آید، بیان نمود (Howell, 2005). رطوبت خاک، غلظت نمک‌ها، مواد غذایی و تنش‌های ناشی از حمله آفات و بیماری‌ها بر میزان تبخیر تعرق تأثیر گذاشته و موجب کاهش عملکرد و یا کارکرد گیاه می‌گردد. در نتیجه تابع تولید نمی‌تواند برای هر گونه گیاهی تعریف قاطعی داشته باشد. بر اساس شرایط اکولوژیکی و به‌ویژه اقلیم، ارقام مختلف یک گونه و حتی از سالی به سال دیگر، تابع تولید ممکن است متفاوت باشد (Hang & Miller, 1986).

روش‌هایی که برای تخمین تبخیر تعرق به کار برده می‌شوند در دو گروه اصلی قرار می‌گیرند: روش‌های مستقیم یا لایسیمتری و روش‌های غیرمستقیم یا محاسباتی (صفاری، ۱۳۸۲). در روش‌های مستقیم بخش کوچک و کنترل شده‌ای از مزرعه با پوشش گیاهی مورد نظر را مجزا کرده و مقدار تبخیر و تعرق آن را در یک دوره زمانی، مستقیماً اندازه‌گیری می‌نمایند. در روش‌های محاسبه‌ای از عوامل مختلف اقلیمی و گیاهی استفاده شده و از روی ارتباط آن‌ها با تبخیر و تعرق و معادله‌هایی که قبلاً با روش‌های مستقیم واسنجی شده‌اند، تبخیر و تعرق تخمین زده می‌شود. در روش‌های غیرمستقیم، میزان تبخیر و تعرق از رابطه ۱ محاسبه می‌گردد.

$$ET_c = (Kc) * (ET_o) \quad (1)$$

ET_c ، ET_o و Kc به ترتیب تبخیر و تعرق گیاه مورد نظر، تبخیر و تعرق بالقوه (تبخیر و تعرق گیاه مرجم) و ضریب گیاهی است.

وزنی و زهکش دار تعیین شد. لایسیمترهای این سایت تحقیقاتی از ارتفاع ۱۷۰ سانتی متر و قطر ۱۲۱ سانتی متر برخوردار هستند. جنس لایسیمترها از آهن گالوانیزه بوده و بدنه آن‌ها به وسیله فایبرگلاس و پشم شیشه برای کاهش تبادلات حرارتی پوشانده شد. کف لایسیمترها از شیب دو سانتی متری برخوردار و آب اضافی به لوله‌ای که برای خروج آب در نظر گرفته شد، منتهی گردید. به منظور بهبود وضعیت زهکش لایسیمترها از ماسه درشت به ارتفاع ۱۰ سانتی متر و ماسه ریز به ارتفاع ۵ سانتی متر در کف آن‌ها استفاده می‌گردد.

برای تعیین میزان تبخیر از سطح خاک یک عدد لایسیمتر و برای اندازه‌گیری تبخیر تعرق گیاه مرجع نیز یک عدد لایسیمتر در نظر گرفته شد. در مجاورت لایسیمترها تشتک تبخیر کلاس A نیز برای اندازه‌گیری تبخیر از سطح آب آزاد نصب گردید. رطوبت خاک در لایسیمترها به وسیله توزین و همچنین دستگاه رطوبت سنج خاک (TDR) اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری تبخیر تعرق (ET)

میزان تبخیر تعرق برای گیاهان مورد آزمایش از طریق رابطه ۶ محاسبه گردید (Xu et al., 1998).

$$ETc = (I + P + W1) - (D - W2) \quad (6)$$

که در آن ETc = تبخیر و تعرق واقعی گیاه (mm)، I = آب آبیاری (mm)، p = ارتفاع بارندگی (mm)، D = آب خروجی از زهکش (mm)، W_1 و W_2 به ترتیب میزان آب ذخیره شده در خاک قبل و بعد از آبیاری در طول دوره‌ای ثابت که بر اساس روابط ۷ و ۸ به دست می‌آید.

$$W1 = \sum_{i=1}^n \theta_{1i} Zi \quad (7)$$

$$W2 = \sum_{i=1}^n \theta_{2i} Zi \quad (8)$$

که در آن θ_{1i} و θ_{2i} محتوای آب خاک (درصد حجمی) در لایه‌های مختلف به ترتیب قبل و بعد از دوره اندازه‌گیری، Zi عمق خاک در هر لایه، n تعداد لایه‌های مورد آزمایش.

حجم خاک شود (میلی‌متر)، ET = تبخیر و تعرق (میلی‌متر)، RO = رواناب سطحی که از زمین خارج می‌شود (میلی‌متر)، LO = جریان آب زیرسطحی که از زمین خارج می‌شود (میلی‌متر)، L = نیاز آبتی یا مقدار آبی که باید از زمین خارج شود تا شوری خاک از درصد موردنظر افزایش نیابد و DP = نفوذ عمقی یا جریان خروجی که مازاد بر نیاز آبتی صورت می‌گیرد (میلی‌متر).

در روابط فوق تمام عناصر دارای بعد طول بوده و در شرایط متعادل که جریان ورودی و خروجی برابر است از روی آن‌ها می‌توان تبخیر تعرق (ET) را به استناد رابطه ۵ بدست آورد.

$$ETc = I + P + SFI + LI + GW - RO - LO - L - DP - Drz \quad (5)$$

در معادله مذکور الزاماً نباید برای هر کدام از عناصر، عدد مشخصی وجود داشته باشد و اگر برخی از پارامترها وجود نداشته باشد، به جای آن صفر منظور می‌شود.

در روش مستقیم پس از بدست آوردن تبخیر تعرق گیاه موردنظر (ETc) و داشتن ET_0 می‌توان Kc گیاه موردنظر را در طول مراحل رشد معرفی نمود. با توجه به اینکه در آزمایش‌های لایسیمتری، حجم کنترل شده‌ای از خاک مورد توجه است، لذا شاخص‌های ذکر شده در معادله مذکور عمدتاً به عمق آب آبیاری، ارتفاع بارندگی، نیاز آبتی و آب خروجی از زهکش‌ها محدود می‌شود.

مواد و روش‌ها

از سایت تحقیقاتی آزمایش‌های لایسیمتری ایستگاه تحقیقات بیابان‌زدایی شهید صدوقی یزد (طول جغرافیایی: ۱۱۹ ۵۴ و عرض جغرافیایی: ۳۰ ۴۳) برای تعیین نیاز آبی و مطالعه روابط آبی گونه‌های جنگلی تاغ (*Haloxylon aphyllum*)، اکالیپتوس (*E. E. flocktoniae*, *Eucalyptus*)، *E. E. leucoxyton*, *camaldulensis*، *E. sarjentii*، *E. E. microtheca*) استفاده گردید.

نیاز آبی گونه‌های ذکر شده به وسیله لایسیمترهای بزرگ

در زمان محاسبه تبخیر تفرق گیاه موردنظر و مقایسه آن با گیاه مرجع، مبنای محاسبه بر اساس پوشش کامل گیاه است؛ بنابراین با توجه به اینکه آزمایش در شرایط لایسیمتری انجام شد و سطح پوشش گیاهی بر اساس وضع موجود لایسیمتر موردتوجه قرار گرفت، اقدام به اصلاح تبخیر تفرق و ضریب گیاهی درختان بزرگسال و سطح پوشش آن‌ها در شرایط رشد حداکثری، گردید.

محاسبه کارایی مصرف آب^۱ (WUE)

با برداشت بخش‌های هوایی و ریشه گیاهان، وزن خشک کل زیست‌توده تولیدشده مربوط به هرگونه محاسبه گردید. با محاسبه تبخیر تفرق و دارا بودن وزن خشک زیست‌توده، کارایی مصرف آب بر مبنای گرم ماده خشک تولیدی به ازای هر لیتر آب مصرف‌شده بر اساس رابطه ۱۰ محاسبه گردید.

$$WUE = \frac{Fy}{ET} \quad (10)$$

که در آن WUE کارایی مصرف آب (گرم بر لیتر)، Fy عملکرد بر اساس وزن خشک اندام‌های رویشی (هوایی و ریشه) و ET که برای هرگونه بر اساس رابطه ۶ محاسبه گردید.

نتایج و بحث

نتایج بررسی‌های به‌عمل‌آمده نشان داد که اغلب گونه‌های جنگلی که در این آزمایش موردتوجه قرار گرفته‌اند، برای کاشت در مناطق خشک و نیمه‌خشک مناسب می‌باشند. این گیاهان عمدتاً از تبخیر تفرق کمتری نسبت به تبخیر تفرق بالقوه (گیاه مرجع) برخوردار بودند (جدول ۱). اگرچه گونه‌های معرفی‌شده از سازوکارهای مختلفی برای مقابله با خشکی استفاده نموده و این امر باعث بقای آن‌ها در شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک می‌شود، با این وجود کارایی مصرف آب در آن‌ها بسیار متفاوت بود. گونه‌هایی چون تاغ به دلیل مقاومت بسیار بالا در مواجهه با کمبود رطوبت موجود در خاک، توانایی زیادی در بهبود کارایی مصرف آب داشت (شکل ۱).

میزان باران مؤثر در محل آزمایش از طریق اطلاعات ایستگاه هواشناسی اشکذر (نزدیک‌ترین ایستگاه به محل اجرای طرح با فاصله حدود ۵ کیلومتر) محاسبه گردید. با توجه به ناچیز بودن ارتفاع بارندگی در طول دوره آزمایش، میزان باران مؤثر، صفر در نظر گرفته شد.

برآورد نیاز آبی گیاه مرجع و مقایسه آن با تبخیر

تفرق از لایسیمتر

با استفاده از آمار هواشناسی ایستگاه اشکذر، تبخیر تفرق پتانسیل به روش پنمن مانیتث و به‌وسیله نرم‌افزار کراپ وات، محاسبه و با تبخیر و تفرق گیاه مرجع (یونجه) که در شرایط لایسیمتر بدست آمد، مقایسه گردید. کراپ وات یک نرم‌افزار مناسب برای مدیریت و برنامه‌ریزی آبیاری است و به‌وسیله فائو ارائه شده است که تبخیر تفرق پتانسیل (ET_o) را بر پایه روش پنمن مانیتث فائو محاسبه می‌نماید.

داده‌های ورودی شامل دما (بیشینه و کمینه)، رطوبت نسبی، تابش آفتاب و سرعت باد به‌صورت ماهانه از آمار بلندمدت ۱۷ ساله ایستگاه هواشناسی اشکذر بود. با توجه به اختلاف اندک میزان تبخیر تفرق گیاه مرجع (کشت‌شده در شرایط لایسیمتر) و میزان تبخیر و تفرق محاسباتی گیاه مرجع، میزان تبخیر تفرق گیاه مرجع در شرایط لایسیمتر برای محاسبه ضریب گیاهی، مبنا قرار گرفت.

محاسبه ضریب گیاهی (K_c)

برای اندازه‌گیری ضریب گیاهی، پس از برآورد تبخیر و تفرق گیاه مرجع در شرایط لایسیمتر، تبخیر تفرق گیاهان مورد آزمایش، بر اساس رابطه ۶ محاسبه و در نهایت از رابطه ۹، ضرایب گیاهی محاسبه شد (علیزاده، ۱۳۸۳).

$$Kc = \frac{ETc}{ETo} \quad (9)$$

تعیین نیاز آبی (تبخیر تفرق) درختان بزرگسال و

اصلاح ضرایب گیاهی

²- Water Use Efficiency

روان و یا کنترل ریزگردها است، با این وجود در صورت فراهم بودن امکان لازم برای تولید چوب (وجود منابع آب نامتعارف)، می‌توان از گونه‌هایی که دارای نیاز آبی بیشتر بوده و به عبارتی تند رشد می‌باشند استفاده نمود. برخی از گونه‌ها توانایی این را دارند که با برداشت آب بیشتر از خاک (با سازوکارهای متنوع)، سرعت رشد خود را افزایش داده و در مدت‌زمان کوتاه، چوب مناسب تولید نمایند. با توسعه سطح تاج‌پوشش، نیاز آبی گیاه به دلیل افزایش میزان تعرق، افزایش خواهد یافت. به عبارتی گیاهان چوبی که در شرایط گرم و خشک بیابان کشت می‌شوند و در ابتدای امر از پوشش تاجی کمی برخوردار هستند، دارای تعرق کمی نسبت به تبخیر بوده و آب مصرف‌شده برای استقرار آن‌ها به‌طور کامل از طریق تبخیر از سطح خاک خارج و هدر می‌رود. با افزایش رشد و تقویت تاج‌پوشش، به‌گونه‌ای که تمام سطح خاک پوشانده شود، مقدار تبخیر از سطح خاک به کمتر از ۱۰ درصد کاهش خواهد یافت (احسانی و همکاران، ۱۳۹۱).

اطلاعات در دسترس، مربوط به نیاز آبی گونه‌های گیاهی ذکرشده با پوشش کامل سطح خاک است (برای جنگل‌های دست‌کاشت متراکم، معمولاً ۷۰ تا ۸۰ درصد در نظر گرفته می‌شود). این در حالی است که در عرصه‌های بیابانی رساندن پوشش سطح خاک به ۳۰ درصد، شرایط مناسبی را نشان داده و کاهش مؤثری بر برخاستن ریزگردها و یا شن‌های روان از سطح عرصه را خواهد داشت (Marshall, 1971; White et al., 2000).

لذا می‌توان بر اساس نیاز و اینکه چه سطحی از خاک قرار است از پوشش گیاهی برخوردار شود، اعداد و ضرایب ارائه‌شده را اصلاح نمود. به‌عنوان مثال نیاز آبی تاغ، برای پوشش کامل سطح زمین، معادل ۶۴۸۰ مترمکعب با میانگین تبخیر و تعرق روزانه ۲/۴ میلی‌متر است که اگر ۳۰ درصد از سطح خاک با کشت این گیاه پوشش یابد، ۱۹۳۳ مترمکعب در سال نیاز آبی یا تبخیر تعرق آن خواهد بود (جدول ۱). این در شرایطی است که گیاه بدون تنش بتواند به رشد خود ادامه داده و از کارایی مطلوب در تثبیت شن برخوردار باشد.

این گیاه از سازوکارهای گسترده برای مقابله با تنش خشکی از جمله افزایش پتانسیل آب، توسعه ریشه و تغییرات مورفولوژیکی برگ و ساقه‌ها استفاده می‌نماید. گونه‌های تند رشد مثل اکالیپتوس کامالدولنسیس، تحت تأثیر رطوبت موجود در خاک قرار گرفته و در صورت رخداد تنش خشکی، سرعت رشد خود را به‌شدت کاهش می‌دهد و از بهبود کارایی مصرف آب باز می‌ماند (راد و همکاران، ۱۳۸۸). این گونه بیشترین تولید خود را زمانی خواهند داشت که دسترسی به آب کافی داشته باشد. به همین دلیل از سازوکار توسعه ریشه برای دسترسی و برداشت آب بیشتر از منابع آبی زیرزمینی، استفاده می‌نمایند (احسانی و همکاران، ۱۳۹۱).

گونه‌های اکالیپتوس مورد آزمایش الگوی مشابهی را با گیاه مرجع در طول سال از خود نشان دادند، هر چند *E. camaldulensis* با تبخیر تعرق بیشتر در ماه‌های مختلف، تغییرات شدیدتری را نسبت به سایر گونه‌ها به‌ویژه در ماه‌های گرم سال از خود نشان داد. در تمام گونه‌های مورد آزمایش اکالیپتوس به‌غیر از *E. camaldulensis*، میزان تبخیر تعرق ماهانه و به‌تبع آن مجموع تبخیر تعرق سالانه از گیاه مرجع کمتر بود. متوسط روزانه تبخیر تعرق در گونه‌های مختلف اکالیپتوس ۴/۸ میلی‌متر در روز بود که بالاترین آن مربوط به *E. camaldulensis* بود. در سایر گونه‌ها نیز متوسط تبخیر تعرق روزانه از گیاه مرجع کمتر بوده و این موضوع نشان‌دهنده سطح پایین مصرف آب در آن‌ها است.

در تعیین میزان تبخیر تعرق پوشش گیاهی، بیشتر هدف دستیابی به مقدار آب موردنیاز گیاه است که بدون تنش خشکی، حداکثر عملکرد را به همراه داشته باشد. با این شرایط، اعدادی که به‌عنوان نیاز آبی گونه‌های جنگلی و تحت عنوان ضرایب KC اعلام می‌گردد با گیاه مرجع مورد مقایسه قرار می‌گیرد و دربرگیرنده پوشش کامل سطح زمین از گیاه و یا به عبارتی به حداقل رسیدن تبخیر از سطح خاک است.

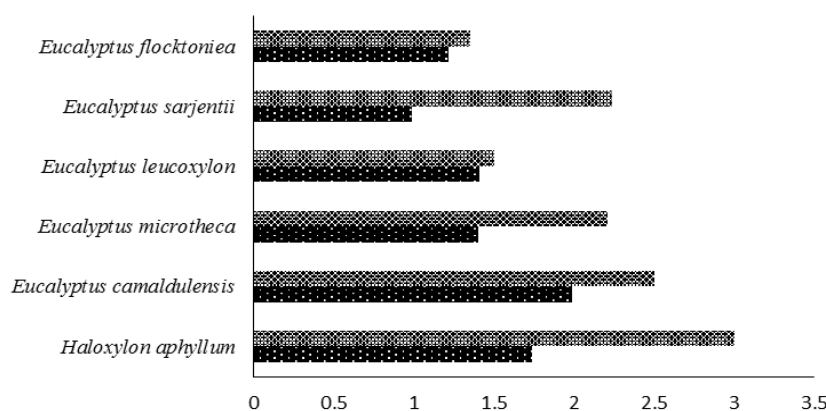
هدف اصلی از ایجاد جنگل‌های دست‌کاشت در مناطق خشک و نیمه‌خشک، عمدتاً ایجاد فضای سبز و تثبیت شن‌های

جدول ۱- تبخیر و تعرق روزانه، تبخیر و تعرق سالانه و ضریب گیاهی گونه‌های مورد آزمایش در شرایط لایسیمیتری

گونه	میانگین تبخیر تعرق روزانه (میلی‌متر)	تبخیر تعرق سالانه (مترمکعب)	میانگین ضریب گیاهی (Kc)	درصد پوشش سطح زمین
تاغ (<i>Haloxylon aphyllum</i>)	۲/۴	۶۴۸۰	۰/۳۵	۱۰-۳۰
اکالیپتوس (<i>Eucalyptus camaldulensis</i>)	۱۰	۲۷۰۰۰	۱/۵	۷۰-۶۰
اکالیپتوس (<i>E. microtheca</i>)	۳/۱	۸۳۷۰	۰/۴۵	۷۰-۶۰
اکالیپتوس (<i>E. leucoxylon</i>)	۳/۵	۹۴۵۰	۰/۵۲	۷۰-۶۰
اکالیپتوس (<i>E. sarjentii</i>)	۳/۴	۹۱۸۰	۰/۵۰	۷۰-۶۰
اکالیپتوس (<i>E. flocktonia</i>)	۳/۲	۸۶۴۰	۰/۴۷	۷۰-۶۰

تضمین نمایند. درحالی‌که گونه‌های با نیاز آبی بالا از تغییرات کم کارایی مصرف آب در مواجهه با تنش خشکی و به‌ویژه تنش‌های شدید، برخوردار بودند (شکل ۱). در بسیاری از گیاهان، تنش‌های ملایم می‌تواند موجب بهبود کارایی مصرف آب گردد. در این شرایط می‌توان با مدیریت آبیاری، ضمن بهبود کارایی مصرف آب، از هدر رفت آب نیز جلوگیری کرد.

با بررسی تغییرات مربوط به بهبود کارایی مصرف آب در شرایط تنش خشکی در گونه‌های مورد آزمایش، مشخص گردید که این گونه‌ها رفتار کاملاً متفاوتی را در مواجهه با تنش خشکی از خود نشان دادند. گونه‌هایی چون تاغ که از نیاز آبی کمتری برخوردار و یا اصطلاحاً مقاوم به خشکی هستند، توانستند در مواجهه با تنش خشکی و حتی در تنش‌های شدید خشکی، کارایی مصرف آب را بهبود بخشیده و بقای خود را در این شرایط



شکل ۱- تأثیر تنش خشکی بر بهبود کارایی مصرف آب (گرم ماده خشک تولیدی بر لیتر آب مصرف‌شده) در گونه‌های مورد آزمایش (بدون تنش یا شرایط ظرفیت زراعی خاک و با تنش شدید در حد ۶۰ درصد کم آبیاری)

آب و خاک از عوامل مؤثر بر میزان تبخیر از سطح خاک بوده و نیاز آبی را تغییر می‌دهند. در این مرحله توصیه می‌شود برای کاهش هدر رفت آب مصرفی از طریق تبخیر از سطح خاک و توزیع متعادل رطوبت در خاک، حتماً از شیوه‌های متداول مثل استفاده از مواد پوشاننده سطح خاک یا مالچ، بهره گرفت.

نتیجه‌گیری

هرچند با افزایش رشد و تقویت تاج پوشش، به‌گونه‌ای که تمام سطح خاک پوشانده شود، مقدار تبخیر از سطح خاک به کمتر از ۱۰ درصد کاهش خواهد یافت (صدافت و همکاران، ۱۳۹۶)، با این وجود شیوه کاشت نهال، نوع بافت خاک و شوری

راد، م.ه.، مشکوه، م.ع.، سلطانی، م. و میرجلیلی، م.ر. ۱۳۹۰. تعیین نیاز آبی تاغ (*Haloxylon aphyllum*) به روش آزمایش‌های لایسیمتری. نشریه خشکبوم، ۳(۱): ۱۴-۲۳.

صداقت، م.، مهرنیا، س.ر.، بزرگر، ص. و زنگی آبادی، م. ۱۳۹۶. تأثیر مخاطره‌آمیز کاهش سطح تاغ زارهای اطراف شهر کرمان بر تشکیل کانون‌های ریز گرد. نشریه مدیریت مخاطرات محیطی. ۳(۳): ۱۹۹-۲۱۰.

صفاری، م. ۱۳۸۲. بررسی و مقایسه محاسبات لایسیمتری تبخیر و تعرق بالقوه گیاهان مختلف در ایران. مجموعه مقالات اولین سمینار سراسری لایسیمتر. جهاد دانشگاهی استان کرمان. ۸۸-۸۲.

علیزاده، ا. ۱۳۸۳. رابطه آب و خاک و گیاه. چاپ چهارم. دانشگاه امام رضا، مشهد. ۴۷۰ صفحه.

Al-Jamal, M.S., Sammis, T.W., Mexal, J.G., Picchioni, G.A. and Zachritz, W.H. 2002. A growth-irrigation scheduling model for wastewater use in forest production. *Agricultural Water Management*. 56(1): 57-79.

Hang, A.N. and Miller, D.E. 1986. Yield and physiological responses of potatoes to deficit, high frequency sprinkler irrigation. *Agronomy Journal*. 78(3): 436-440.

Howell, T.A. 2001. Enhancing water use efficiency in irrigated agriculture. *Agronomy Journal*. 93 (2): 381-289.

Kirkham, M.B. 2005. Soil and plant water relation. Principles of Elsevier, Academic Press, USA.

Marshall J.K. 1971. Drag measurements in roughness arrays of varying density and distribution. *Agricultural Meteorology*. 8: 269-292.

White, D.A., Turner, N.C. and Galbraith, J.H. 2000. Leaf water relations and stomatal behavior of four allopatric Eucalyptus species planted in Mediterranean southwestern Australia. *Tree Physiology*. 20(17): 1157-1165.

Xu, X., Zhang, R., Xue, X. and Zhao, M. 1998. Determination of evapotranspiration in the desert area using lysimeters. *Communications in Soil Science & Plant Analysis*. 29(1-2): 1-13.

به سازوکارهای مقاومت به خشکی گونه‌های مختلف توجه خاص نمود تا در صورت بروز تنش خشکی بتوانند نیاز آبی خود را بدون فشار بر محیط پیرامونی خود تأمین و از دیر زیستی مناسبی برخوردار باشند. در این رابطه باید در راستای هدف از کاشت گونه‌های چوبی، نسبت به انتخاب آن‌ها اقدام و با تأمین آب موردنیاز، به پایداری آن‌ها در محیط کمک نمود. به‌عنوان مثال کاشت تاغ در عرصه‌های شنی برای تثبیت شن، می‌بایست بر اساس تراکم مطلوب و بهینه صورت گیرد. این گیاه توانایی برداشت آب از منابع آبی زیرزمینی از طریق توسعه ریشه و افزایش پتانسیل آبی تا ۷۵- بار برای برداشت آب بیشتر را دارا است. این سازوکار به‌عنوان مهم‌ترین سازوکار مقاومت به خشکی در این گیاه و رمز بقای آن در شرایط بسیار خشک هست (راد و همکاران، ۱۳۹۰).

اگر هدف تولید مواد سلولوزی است، ابتدا منابع آبی مطمئن و در دسترس را پیش‌بینی و در ادامه نسبت به جنگل‌کاری اقدام نمود. تعدادی از گونه‌های اکالیپتوس می‌توانند با توسعه ریشه از منابع آبی در دسترس استفاده و خسارت وارد نمایند. در این شرایط با توجه به مقاومت بالای آن‌ها نسبت به شرایط محیطی نامساعد، می‌توان از منابع آبی نامتعارف در توسعه کاشت آن‌ها استفاده و جنگل‌کاری باهدف تولید مواد سلولوزی را پیگیری نمود.

منابع

احسانی، ع.، ارزانی، ح.، فرحپور، م.، احمدی، ح.، جعفری، م. و اکبرزاده، م. ۱۳۹۱. برآورد تبخیر و تعرق با استفاده از اطلاعات آب‌وهوایی، خصوصیات گیاه (مرتج) و خاک به کمک نرم‌افزار Cropwat مطالعه موردی: منطقه استپی استان مرکزی ایران، ایستگاه رود شور. نشریه مرتع و بیابان ایران. ۱۹(۱): ۱-۱۶.

راد، م.ه.، عصاره، م.ح.، مشکوه، م.ع.، دشتکیان، ک. و سلطانی، م. ۱۳۸۸. نیاز آبی و تابع تولید اکالیپتوس (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh) در شرایط اقلیمی خشک. نشریه جنگل ایران. ۲(۱): ۶۱-۷۱.

Water Consumption Management for Silviculture in Arid and Semi-Arid Regions by Determining of Water Requirements and Drought Tolerance Threshold

M.H. Rad^{*1}, M.H. Assareh², M. Khosroshahi³ and M. Soltani⁴

Abstract

Improving vegetation cover in arid and semi-arid regions can be controlling desertification and the production of cellulosic materials by afforestation, in these circumstances, human survival and habitat, as well as wildlife, also provided too. For afforestation in arid and semi-arid regions, it is necessary to selection of appropriate species and pay attention to their ecological and eco adaptation needs. Drought resistance mechanisms include water use efficiency in many forest species for a stay of drought condition have been utilization. On the other hand, water requirements and the effects of drought stress on ecological adaptation are important for this plants. Through lysimetry experiments and determination of water requirement for many forest species including Saxual (*Haloxylon aphyllum*) and several species of eucalyptus (*Eucalyptus camaldulensis*, *E. microtheca* *E. sarjantii*, *E. leucoxyloini*, *E. saligna* and *E. flocktoniea*), there were considered and adaptation mechanisms for survival in dry conditions were studied for them. Among the mentioned species, Saxual had the lowest water requirement and the most resistant species to drought stress. This species had a higher water use efficiency to drought stress.

Keywords: Crop coefficient, Desertification, Evapotranspiration, Vegetative cover, Water use

¹ Assistant Prof, Research Division of Natural Resources, Yazd Agricultural and Natural Resource Research and Education Center, AREEO, Yazd, Iran (*Corresponding Author Email: mohammadhadirad@gmail.com)

² Prof., Research Institute of Forests and Rangelands, AREEO, Tehran, Iran

³ Associate Professor, Desert Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, AREEO, Tehran, Iran

⁴ M.Sc., Research Division of Natural Resources, Yazd Agricultural and Natural Resource Research and Education Center, AREEO, Yazd, Iran

Received: 24 April 2021

Accepted: 22 May 2021