Research Article

Iranian Journal of Range and Desert Research DOI: 10.22092/ijrdr.2023.130626
Vol. 30, No. 3, Page 395-408 (2023)

Evapotranspiration and crop coefficient of different growth stages of American mesquite (*Prosopis juliflora*) under different levels of soil moisture in lysimeter conditions

M.H. Rad[1*] and M. Khosroshahi[2]

1*- Corresponding author, Associate Professor, Research Division of Natural Resources, Yazd Agricultural and Natural Resource Research and Education Center, AREEO, Yazd, Iran, Email: mohammadhadirad@gmail.com
2-Professor, Desert Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, AREEO, Tehran, Iran

Received: 04/08/2023 Accepted: 10/23/2023

Abstract

Background and Objective

The history of using American mesquite (*Prosopis juliflora*) for desertification control especially sand stabilization in Iran, is long. Considering the non-native nature of this species, attention should be paid to its ecological requirements, especially water needs or evapotranspiration (ET). This can contribute to the sustainability of sand stabilization programs and fine dust control and play an influential role in ecosystem development. Determining plants' evapotranspiration rates through lysimetry is one of the most accurate direct measurement methods.

Methodology

The experiment using weighing and drainage lysimeters began in 2021 by planting seedlings inside lysimeters located at the Yazd Shahid Sadoughi Desert Research Station. It continued for two years. Nine lysimeters with a volume of 1.95 m^3 (height: 170 cm, diameter: 121 cm) and a surface area of 1.15 m^2 were used. The ET rates and the crop coefficient (Kc) of *Prosopis juliflora* were studied under different soil moisture levels, including field capacity (no stress), 67% of field capacity (mild stress), and 34% of field capacity (severe) for various growth stages. Irrigation was performed by drip irrigation based on a fraction of field capacity with an appropriate number of droppers calculated for each treatment. For field capacity, 67% and 34% of field capacity treatments, 6, 4, and 2 droppers with an 8 liters per hour flow rate were used, respectively. Each treatment was irrigated twice with the appropriate amount of water based on soil moisture levels.

Results

The results showed that *Prosopis juliflora*, under lysimeter conditions and the local climate, had an annual ET rate of 496.5 mm and a Kc 0.21. These values for the 67% and 34% field capacity treatments were 445.4 mm with Kc 0.18 and 275.2 mm with Kc 0.11, respectively. The ET rates of *Prosopis juliflora* at different growth stages revealed that the highest ET occurred during the development period of 124 days. This corresponds to rapid shoot, branch, and leaf growth. The ET rates in different irrigation regimes for field capacity, 67%, and 34% of soil moisture were 322.1 mm, 281.7 mm, and 158.3 mm, respectively. The lowest ET rate was associated with the final growth stage. The Kc for various growth stages in the field capacity treatment were 0.19, 0.24, and 0.14 for the first, second, and third growth periods, respectively. Under these conditions, a sigmoid growth curve (initial growth, development, and end of growth) can be defined for this plant.

Conclusion

It is recommended for afforestation with this species in Iran's southern regions, considering its optimal planting density to reduce competition. It is also recommended to pay attention to its ET rate, especially during the hot months of the year when it can exceed 2.5 mm per day. By examining and calculating the ET rates of mature trees with appropriate efficiency in sand stabilization and dust control, it was found that to create a canopy cover area, as mentioned, it is necessary to have 4846 m3 of water per hectare (equivalent to 484.6 mm per year) available to the plant. In other words, with this amount of ET, the plant can expand its canopy cover area to 19.5 m2 and, with 155 individuals per hectare (8×8 meters), cover 30% of the area, which is suitable for sand stabilization.

Keywords: Dedesertification, optimal density, afforestation, growth stages, water requirements.

تبخیر تعرق و ضریب گیاهی مراحل مختلف رشد کهور آمریکایی (*Prosopis juliflora*) تحت تأثیر سطوح مختلف رطوبت خاک در شرایط لایسیمتری

محمدهادی راد[1]* و محمد خسروشاهی[2]

۱*- نویسنده مسئول، دانشیار پژوهشی، بخش تحقیقات منابع طبیعی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران، پست‌الکترونیک: Mohammadhadirad@gmail.com

۲- استاد پژوهش، بخش تحقیقات بیابان، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۰۱

چکیده

سابقه و هدف

سابقه استفاده از کهور آمریکایی یا سمر (*Prosopis juliflora*) برای بیابان‌زدایی و به‌ویژه تثبیت شن، در ایران طولانی است. با توجه به غیر بومی بودن این گونه، توجه به نیازهای اکولوژیکی، به‌ویژه نیاز آبی و یا تبخیر تعرق ضروریست. این موضوع می‌تواند موجب پایداری برنامه‌های تثبیت شن و کنترل ریزگردها شده و در توسعه کیفی اکوسیستم‌ها نقش مؤثری داشته باشد. تعیین میزان تبخیر تعرق گیاهان از طریق لایسیمتری، یکی از دقیق‌ترین روش‌های اندازه‌گیری مستقیم تبخیر تعرق است.

مواد و روش‌ها

آزمایش با استفاده از لایسیمترهای وزنی و زهکش‌دار از ابتدای سال ۱۴۰۰ با کاشت نهال در داخل لایسیمترهای موجود در سایت تحقیقات لایسیمتری ایستگاه تحقیقات بیابان‌زدایی شهید صدوقی یزد شروع و به‌مدت دو سال ادامه یافت. از نه عدد لایسیمتر که دارای حجم ۱/۹۵ مترمکعب (ارتفاع ۱۷۰ سانتی‌متر و قطر ۱۲۱ سانتی‌متر) و سطح ۱/۱۵ مترمربع بود، استفاده شد. میزان تبخیر تعرق و ضریب گیاهی کهور آمریکایی در سطوح مختلف رطوبتی خاک شامل ظرفیت زراعی (بدون تنش)، ۶۷٪ ظرفیت زراعی (تنش ملایم خشکی) و ۳۴٪ ظرفیت زراعی (تنش شدید خشکی) برای مراحل مختلف رشد، مورد توجه قرار گرفت. آبیاری به‌صورت قطره‌ای و بر اساس کسری از ظرفیت زراعی با تعبیه تعداد مناسب قطره چکان برای هر تیمار محاسبه و انجام شد. برای تیمار ظرفیت زراعی، ۶۷٪ و ۳۴٪ به ترتیب تعداد ۶، ۴ و ۲ قطره چکان ۸ لیتر در ساعت منظور گردید. با تنظیم دور دو بار در هفته، آبیاری به‌صورت خودکار با مقدار مناسب آب برحسب تیمار رطوبتی در اختیار گیاهان قرار گرفت.

نتایج

نتایج بدست آمده نشان داد که کهور آمریکایی در شرایط لایسیمتری و در موقعیت اقلیمی محل آزمایش، از تبخیر تعرق سالانه ۴۹۶/۵ میلی‌متر و ضریب گیاهی ۰/۲۱ برخوردار بود. مقادیر ذکرشده برای تیمارهای ۶۷٪ و ۳۴٪ ظرفیت زراعی به ترتیب ۴۴۵/۴ و ۲۷۵/۲ میلی‌متر با ضریب گیاهی ۰/۱۸ و ۰/۱۱ بود. نتایج حاصل از محاسبه تبخیر تعرق در مراحل مختلف رشد درختان کهور آمریکایی نشان داد که در تمامی سطوح آبیاری، بالاترین میزان تبخیر تعرق مربوط به دوره توسعه با ۱۲۴روز بود که منطبق با رشد سریع سرشاخه‌ها، جست‌ها و توسعه برگ بود. مقادیر تبخیر تعرق در این دوره رشد در رژیم‌های مختلف آبیاری برای ظرفیت زراعی، ۶۷٪ و ۳۴٪ رطوبت خاک به ترتیب ۳۲۲/۱۱، ۲۸۱/۷۴ و ۱۵۸/۳۳ میلی‌متر بود. کمترین میزان تبخیر تعرق نیز مربوط به دوره پایانی رشد بود. ضریب گیاهی مراحل مختلف رشد در تیمار ظرفیت زراعی به ترتیب برای دوره اول، دوم و سوم، ۰/۱۹، ۰/۲۴ و ۰/۱۴ محاسبه شد. با این

شرایط می‌توان منحنی رشد سیگموئید (دوره اول رشد، توسعه و انتهایی رشد) را برای این گیاه تعریف کرد.

نتیجه‌گیری

توصیه می‌شود برای جنگل‌کاری با این گونه در مناطق جنوبی کشور و بهره‌گیری از توان آن در تثبیت شن و کنترل گردوغبار، ضمن توجه به تراکم بهینه کاشت برای کاهش رقابت، به میزان تبخیر تعرق آن به‌ویژه در ماه‌های گرم سال که از سرعت رشد بیشتری نیز برخوردار است و می‌تواند بیش از ۲/۵ میلی‌متر در روز باشد، توجه کرد. با بررسی و محاسبه میزان تبخیر تعرق درختان بزرگسال با کارایی مناسب در تثبیت شن و کنترل گردوغبار مشخص شد که برای ایجاد سطح پوشش تاجی ذکر شده، ضروری است که مقدار ۴۸۴۶ مترمکعب آب در هکتار (برابر ۴۸۴/۶ میلی‌متر در سال) در دسترس گیاه قرار گیرد. به‌عبارتی، با این مقدار تبخیر تعرق، گیاه می‌تواند سطح پوشش تاجی خود را تا ۱۹/۵ مترمربع گسترش داده و با وجود ۱۵۵ اصله در هکتار (۸×۸ متر)، ٪۳۰ از عرصه را پوشش دهد که برای تثبیت شن، مناسب می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: بیابان‌زدایی، تراکم بهینه، جنگل‌کاری، مراحل رشد، نیاز آبی.

مقدمه

برنامه‌هایی که برای احیای پوشش گیاهی در مناطق بیابانی ارائه می‌گردد، عمدتاً مبتنی بر گونه‌های گیاهی است که با سازوکارهای مختلف، توان زیستن در شرایط بسیار سخت و بحرانی این مناطق را داشته باشند. از اواخر دهه ۱۹۷۰ و اوایل دهه ۱۹۸۰ به دلیل نگرانی‌های گسترده در بسیاری از کشورها و ازجمله ایران، برای تأمین سوخت و جنگل‌زدایی و بیابان‌زایی، برخی گونه‌ها در زنجیره بیابان‌زدایی و تثبیت شن‌های روان قرار گرفتند که ازجمله می‌توان به کهور آمریکایی (*Prosopis juliflora*) اشاره کرد (Najafi–Tireh–Shabankareh *et al*., 2014). گیاهان دیگری مانند تاغ، گز و آتریپلکس از گونه‌های غالبی هستند که برحسب شرایط اکولوژیکی مناطق انتخاب می‌شوند. آنچه که امروز در مورد کهور آمریکایی (کهور پاکستانی) یا سمر، به‌ویژه در داخل کشور قضاوت می‌شود، عمدتاً معطوف به برداشت‌های محدود میدانی، تصاویر ماهواره‌ای یا منابع خارجی است. با وجود گزارش‌های متعددی مبنی بر مهاجم بودن و بروز پیامدهای زیست محیطی در فرایند توسعه کاشت این گیاه، گزارش‌های زیادی در مورد فواید و کاربردهای آن نیز وجود دارد. بیان شده است که این گیاه دارای قابلیت و ظرفیت‌های بی‌شماری در بهبود شرایط زیست محیطی و اقتصادی در عرصه‌های تخریب‌شده یا دارای ظرفیت بسیار پایین احیاء می‌باشد. از آن به‌طور گسترده به عنوان منبع سوخت زیستی، غذا، خوراک دام، به عنوان یک جاذب در تصفیه آب، در تولید کربن فعال برای صنایع نفت، غذایی و دارویی، به عنوان مکمل در تولید کامپوزیت‌های زیستی و به‌عنوان دفع‌کننده فنل از فاضلاب‌های نساجی و صنایع چرم استفاده می‌شود (Sakthieswaran and Sophia, 2020). توانایی بالایی در تثبیت ازت داشته و امکان احیای ازت در خاک‌های فقیر را داراست (Al-Ghouti and Razavii, 2020; Srivastava *et al*., 2023). این گیاه ضمن دارا بودن ریشه‌های سطحی از ریشه‌ای عمیق برخوردار بوده که به آن این امکان را می‌دهد که به سطح آب زیرزمینی دسترسی راحتی داشته باشد و در خشک‌ترین ماه‌های سال و حتی سال‌های بسیار خشک به رشد خود ادامه داده و میوه تولید کند (Pasiecznik *et al*., 2004). گزارش شده که ریشه‌های عمیق این گیاه سطح ایستابی آب زیرزمینی را کاهش داده و در این شرایط از قابلیت جست‌زایی و ریشه جوش فراوان برخوردار است (Schepers, 2004). کهور آمریکایی می‌تواند در چراگاه‌های دام، به‌صورت مهاجم عمل کرده و به مرور زمان، با دسترسی به آب فراوان و نبود رقابت طبیعی، از رشد مطلوب برخوردار شود. تاج پوشش آن می‌تواند سطح وسیعی از زمین را اشغال کرده و رقابت را برای سایر گیاهان دشوار سازد (Edrisi *et al*., 2020). Wakie و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کرده‌اند که کهور آمریکایی پس از گذشت ۲۰ سال از اولین استقرار خود در

یک زیستگاه، می‌تواند خود را به عنوان گونه غالب منطقه معرفی کند. نتایج حاصل از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای که در مورد جنگل‌های کهور آمریکایی در استان هرمزگان انجام شد، نشان داد که نواحی به شدت اشغال شده توسط این گیاه (با غالبیت بیش از ۶۰ درصد) بیشتر در امتداد رودخانه‌ها و مسیل‌های اصلی است که از ارتفاعات شرقی به سمت آب‌های تنگه هرمز امتداد یافته است (Izadi *et al*., 2022). نزدیکی به رودخانه‌ها و آبراهه‌ها را می‌توان به عنوان یکی از مهمترین عوامل محیطی مؤثر در شیوع این گونه در نظر گرفت. Meroni و همکاران (۲۰۱۷) در مطالعه‌ای، گزارش کرده‌اند که درختان کهور، ابتدا نواحی مجاور آبراهه‌ها و رودخانه‌ها که از میزان آب بیشتری برخوردار هستند، اشغال می‌کنند. Aung و Koike (۲۰۱۵) نیز در مطالعه خود گزارش کرده‌اند که درختان کهور تمایل بسیاری به رشد حاشیه‌ای دارند، به‌طوری که با تشکیل هسته اولیه در نواحی با آب سطحی بالا به تدریج به نواحی پیرامونی گسترش پیدا می‌کنند. اگرچه این گیاه می‌تواند در شرایط گرم و خشک رشد نماید، باوجوداین Shirk و Pather (۲۰۰۴) کمبود فشار بخار هوای (VPD) بالا را موجب کاهش فعالیت متابولیکی دانسته و بیان کرده‌اند که در این شرایط، رشد و نمو آن کاهش می‌یابد. کاهش رطوبت نسبی هوا (رطوبت نسبی مطلوب بین ۳۵ تا ۷۵ درصد) تأثیر مشابه تنش خشکی را در گیاه به دنبال دارد و رشد را مشابه کمبود رطوبت خاک، کاهش می‌دهد (Shirk and Pather, 2004). محیط‌های با رطوبت نسبی بالا و گرم، شرایط را برای ذخیره کربن بیشتر و به‌دنبال آن رشد بیشتر توسط این گیاه فراهم می‌کند.

رفتارهای مورفوفیزیولوژیک و اکولوژیک گیاه در مواجه با تنش‌های محیطی در منابع اطلاعاتی متعددی مورد توجه قرار گرفته است. محققان مختلف برحسب شرایط اکولوژیک محل پراکنش و اهمیت موضوع، تحقیقاتی را انجام داده و اطلاعاتی را در این مورد منتشر کرده‌اند (Meroni *et al*., 2017; Al-Ghouti and Razavi, 2020; Aung and Koike, 2015; El-Keblawy and Al-Rawai, 2007; Schepers, 2004; Edrisi *et al*., 2020; Pasieczhik *et al*., 2004). Dakhil و همکاران (۲۰۲۱) با انتشار مقاله‌ای خطر تهاجم جهانی *Prosopis juliflora* را مورد ارزیابی قرار داده و گزارش کرده‌اند که عامل اصلی در تهاجم بالقوه این گیاه، افزایش میانگین دما همراه با قلیائیت و رسی بودن اراضی در مناطق خشک و نیمه‌خشک نسبت به محیط‌های مرطوب است.

با وجود قدمت قابل توجه کاشت کهور آمریکایی در ایران، تحقیقات مدونی در مورد نیاز آبی و به‌عبارتی تبخیر تعرق گیاه به‌ویژه در مراحل اولیه استقرار انجام نشده است. هرچند Khosroshahi (۲۰۱۳)، میزان تبخیر تعرق این گیاه را در مناطق جنوب و جنوب‌شرق کشور از طریق داده‌های هواشناسی و به استناد روش تلفیقی پنمن–مان تیث–فائو گزارش کرده است. بر این اساس، تعیین تبخیر تعرق و ضریب گیاهی در مراحل مختلف رشد و تحت تأثیر سطوح مختلف رطوبت خاک از طریق مستقیم و استفاده از لایسیمتر ضرورت داشت که در این پژوهش مورد توجه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

با هدف تأثیر سطوح مختلف رطوبت خاک بر میزان تبخیر تعرق و ضرایب گیاهی در مراحل مختلف رشد کهور آمریکایی (*Prosopis juliflora*) آزمایشی با استفاده از لایسیمترهای وزنی و زهکش‌دار اجرا شد. آزمایش از ابتدای سال ۱۴۰۰ با کاشت نهال در داخل لایسیمترهای موجود در سایت تحقیقات لایسیمتری ایستگاه تحقیقات بیابان‌زدایی شهید صدوقی یزد شروع و به‌مدت دو سال ادامه یافت. از نه عدد لایسیمتر که دارای حجم ۱/۹۵ مترمکعب (ارتفاع ۱۷۰ سانتی‌متر و قطر ۱۲۱ سانتی‌متر) و سطح ۱/۱۵ مترمربع بود، استفاده شد. جنس لایسیمترها از آهن گالوانیزه بوده و بدنه آنها بوسیله فوم و پشم شیشه برای کاهش تبادلات حرارتی پوشانده شد. به منظور بهبود وضعیت زهکش لایسیمترها از ماسه درشت به ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر و ماسه ریز به ارتفاع ۵ سانتی‌متر در کف استفاده گردید. جدول یک شرایط اکولوژیک سایت تحقیقاتی ذکرشده را نشان می‌دهد.

جدول ۱- شرایط اکولوژیک سایت تحقیقاتی آزمایش‌های لایسیمتری یزد

Table 1- Ecological conditions of Yazd lysimeter experiments research site

Longitude	54º 11' 9"	Annual average relative humidity in the morning (%)	57
Latitude	32º 4' 30"	Annual average relative humidity in the evening (%)	38/5
Average annual rainfall (mm)	70	Average annual temperature (oc)	18
Maximum wind speed (km/h)	120	Absolute minimum annual temperature(oc)	-13.5
Annual average sunny hours	3052	Absolute maximum annual temperature (oc)	45/5
Annual average number of freezing days	73	The climate of the region is based on the modified Dumarten method	Very dry and cold
Annual average evaporation (mm) from (class A evaporation pan)	3207/4		

با توجه به اینکه سطح لایسیمترها نیز به ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر خالی گذاشته شد، در حدود ۱/۷۸ مترمکعب خاک با وزن تقریبی ۲۸۶۰ کیلوگرم، برای پر کردن هر لایسیمتر استفاده گردید. برای تعیین محتوای نسبی رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی، نسبت به آبیاری لایسیمترها با مقدار کافی آب اقدام گردید و پس از نفوذ، سطح لایسیمترها را برای جلوگیری از تبخیر با پلاستیک پوشانده و همزمان میزان آب زهکش یافته اندازه‌گیری شد و عدد بدست آمده به عنوان شاخص گنجایش نسبی آب برای هر لایسیمتر منظور شد. همزمان در چند نوبت، رطوبت خاک به‌صورت حجمی و در اعماق مختلف بوسیله TDR قرائت گردید. شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در جدول دو ذکر شده است.

جدول ۲- برخی از ویژگی‌های فیزیکی خاک مورد استفاده در لایسیمترها

Table 2- Some soil physical characteristics in lysimeters

Electrical conductivity (ds/m)	4.8	Clay (%)	18
Saturated soil paste (pH)	7.1	Organic carbon (%)	9.5
Neutralizing materials (%)	24.87	Volumetric moisture in field capacity (%)	27.85
Specific gravity	1.58	Weight moisture in field capacity (%)	17.30
Sand (%)	69.7	Texture	loam-sandy
Silt (%)	12.3		

تیمار آبیاری در سه سطح ظرفیت زراعی (بدون تنش خشکی)، ۶۷٪ ظرفیت زراعی (تنش ملایم) و ۳۴٪ ظرفیت زراعی (تنش شدید) و برای سه تکرار در هر سطح از آبیاری اعمال گردید. تیمارهای آبیاری برای مدت دو فصل رشد، اعمال و میزان آب مصرف شده در هر لایسیمتر به‌صورت تجمعی ماهانه و سالانه محاسبه شد. آبیاری به‌صورت قطره‌ای و بر اساس کسری از ظرفیت زراعی با تعبیه تعداد مناسب قطره چکان برای هر تیمار محاسبه و انجام شد. برای تیمار ظرفیت زراعی، ۶۷٪ و ۳۴٪ ظرفیت زراعی به ترتیب تعداد ۶، ۴ و ۲ قطره چکان ۸ لیتر در ساعت منظور گردید. با تنظیم دور دو بار در هفته، آبیاری به‌صورت خودکار با مقدار مناسب آب برحسب تیمار رطوبتی در اختیار گیاهان قرار گرفت. میزان آب خروجی از زهکش‌ها نیز در طول دوره اعمال تیمارهای رطوبتی از مجموع آب وارد شده به لایسیمترها در همین دوره، کسر و مقدار آب مصرف شده (تبخیر تعرق) به‌صورت تجمعی (ماهانه و سال) محاسبه شد. در پایان، داده‌های هر تیمار آبیاری که مربوط به میانگین سه تکرار بود، تجزیه‌وتحلیل گردید.

شاخص‌های مورد ارزیابی:

الف) تبخیر و تعرق (ET): میزان تبخیر تعرق از طریق رابطه یک محاسبه شد (Xu *et al*., 1998).

رابطه ۱ ETc=(I+P+W1)-(D-W2)

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 دو و سه بدست می‌آید.

رابطه ۲ $$W1 = \sum_{i=1}^{n} \theta 1i\ Zi$$

رابطه ۳ $$W2 = \sum_{i=1}^{n} \theta 2i\ Zi$$

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 و n تعداد لایه‌های مورد آزمایش است.

ب) برآورد تبخیر تعرق پتانسیل با استفاده از شاخص‌های هواشناسی و بهره‌گیری از نرم‌افزارکراپ وات: به‌منظور تعیین مقدار تبخیر تعرق پتانسیل (ETo) از داده‌های هواشناسی ایستگاه اقلیم‌شناسی اشکذر استفاده شد. با استفاده از آمار بلندمدت هواشناسی این ایستگاه، تبخیر تعرق پتانسیل به روش پنمن مانتیث فائو و با استفاده از نرم‌افزار کراپ وات، محاسبه گردید.

مقادیر Kc در طول دوره رشد گیاه کهور آمریکایی با استناد به تبخیر تعرق پتانسیل و تبخیر تعرق آن در شرایط اقلیمی محل انجام آزمایش، محاسبه شد. یادآوری می‌شود در محاسبات مربوط به برآورد آب مورد نیاز گیاه، به دلیل اندک بودن بارندگی در طول دوره فصل رشد، میزان بارندگی مؤثر صفر در نظر گرفته شد.

ج) محاسبه ضریب گیاهی (Kc): برای اندازه‌گیری ضریب گیاهی، پس از محاسبه میزان تبخیر تعرق پتانسیل در شرایط آزمایش و میزان تبخیر تعرق کهور آمریکایی در سطوح مختلف تیمار رطوبتی در شرایط لایسیمتری، در نهایت ضریب گیاهی مراحل سه‌گانه رشد شامل مرحله رشد اولیه، توسعه و انتهایی تحت تأثیر تیمارهای مختلف کم آبیاری، از طریق رابطه چهار محاسبه شد (Allen *et al*., 1998).

رابطه ۴ Kc=ETc/ETo

که در آن ETo، ETc و Kc به ترتیب تبخیر تعرق درختان کهور، تبخیر تعرق پتانسیل و ضریب گیاهیست.

د) محاسبه تبخیر تعرق واقعی و تعیین ضرایب گیاهی در تیمارهای مختلف رطوبتی بر اساس سطح تاج پوشش مورد آزمایش و سطح تاج پوشش درختان بزرگسال: در زمان محاسبه تبخیرتعرق گیاه و مقایسه آن با تبخیر تعرق پتانسیل، مبنای محاسبه بر اساس پوشش کامل گیاه است. میزان آب مصرف شده در هر یک از تیمارهای رطوبتی، بیانگر تفاوت قابل توجه در میزان آب مصرف شده یا تبخیر تعرق آنهاست. بنابراین، با توجه به اینکه آزمایش در شرایط لایسیمتری انجام شد، اقدام به اصلاح تبخیر تعرق و ضریب گیاهی بر اساس پوشش کامل سطح زمین و پوشش‌های کارآمد در تثبیت شن و بیابان‌زدایی، برای تیمارهای مختلف در طول فصل رشد گردید. پوشش درختان کهور آمریکایی با ۱۵۵ اصله در هکتار (فاصله کاشت ۸×۸ متر) و کارایی مؤثر در تثبیت شن (با پوشش تاجی ۳۰ درصدی)، مورد توجه قرار گرفت(Sedaghat *et al*., 2016). به‌عبارتی، با اعمال ضریب درصد پوشش گیاهی (در این پژوهش ٪۳۰)، میزان تبخیر تعرق اندازه‌گیری شده به سطح پوشش مورد نظر تعمیم داده شد.

نتایج

حجم آب آبیاری در سال اول (مرحله استقرار): نتایج بدست آمده پس از آبیاری درختان کهور آمریکایی (نهال یکساله) در سال ۱۳۹۹–۱۴۰۰ (سال اول کاشت) و انجام محاسبات لازم، نشان داد که با فراهم بودن رطوبت خاک (در حد ظرفیت زراعی)، درختان کهور آمریکایی توانستند در پایان سال اول رشد، پوشش تاجی ۱۳/۵٪ از سطح زمین را

پوشانند و تبخیر تعرقی در حدود ۴۰۰ مترمکعب در هکتار داشته باشند. این مقادیر برای ۶۷٪ و ۳۴٪ ظرفیت زراعی به ترتیب با سطح پوشش تاجی ۹/۵ و ۵/۶ درصدی برابر ۲۸۰ و ۱۶۰ مترمکعب در هکتار بود (جدول ۳).

جدول ۳- حجم آب مصرف شده (تبخیر تعرق) در سال اول توسط نهال‌های کهور آمریکایی در سطوح مختلف رطوبت خاک و محاسبه میزان تبخیر تعرق در واحد سطح* (هکتار)

Table 3- Volume of water consumed (ET) in the first year by seedlings of *Prosopis juliflora* at different levels of soil moisture and calculated of ET (hectare)*

	Evaptranspiration in field capacity		Evaptranspiration in 67% of field capacity		Evaptranspiration in 34% of field capacity	
	Liter per tree	Cubic meter per hectare	Liter per tree	Cubic meter per hectare	Liter per tree	Cubic meter per hectare
March	34	5.27	23	3.56	11	1.71
April	57	8.84	42	6.51	32	4.96
May	87	13.48	75	11.62	41	6.35
June	191	29.60	145	22.47	90	13.95
July	392	60.76	269	41.69	134	20.77
August	531	82.30	347	53.78	215	33.32
September	534	82.77	373	57.81	213	23.01
October	358	55.49	250	38.75	140	21.70
November	187	28.98	135	20.92	85	13.17
December	110	17.05	77	11.93	43	6.66
January	50	7.75	35	5.42	15	2.32
February	50	7.75	35	5.42	15	2.32
Total	2584	400.5	1806	279.93	1034	160.27

*It is calculated based on the number of 155 trees per hectare

حجم آب آبیاری در سال دوم: نتایج حاصل از آبیاری درختان کهور آمریکایی در سال دوم استقرار، نشان داد که با فراهم بودن رطوبت خاک (در حد ظرفیت زراعی)، هر درخت توانایی ایجاد پوشش تاجی ۱۲/۴ مترمربعی را داراست. تبخیر تعرق سالانه آنها در شرایط ظرفیت زراعی ۳۷۵۵ لیتر به ازای هر درخت بود. این مقادیر برای ۶۷٪ و ۳۴٪ ظرفیت زراعی به ترتیب با سطح پوشش تاجی ۱۱/۱ و ۷/۷ مترمربع برابر ۲۵۸۱ و ۱۳۸۸ لیتر به ازای هر درخت بود (جدول ۴). با احتساب تعداد ۱۵۵ اصله درخت در هکتار، سطح پوشش تاجی ایجاد شده، برابر ۱۹۲۲ مترمربع یا ۱۹/۲ درصد با تبخیر تعرق سالانه ۵۸۲ مترمکعب محاسبه گردید. این مقادیر برای تیمارهای ۶۷٪ و ۳۴٪ ظرفیت زراعی به ترتیب با سطح تاج پوشش ۱۷۲۵ و ۱۱۹۳ مترمربع، ۴۰۰ و ۲۱۵ مترمکعب در هکتار محاسبه شد (جدول ۴).

جدول ۴- حجم آب مصرف شده (تبخیر تعرق) در سال دوم توسط نهال‌های کهور آمریکایی در سطوح مختلف رطوبت خاک و محاسبه تبخیر تعرق در واحد سطح* (هکتار)

Table 4- Volume of water consumed (ET) in the second year by *Prosopis juliflora* seedlings at different levels of soil moisture and calculated of ET (per hectare)*

	Evaptranspiration in field capacity		Evaptranspiration in 67% of field capacity		Evaptranspiration in 34% of field capacity	
	Liter per tree	cubic meter per hectare	Liter per tree	cubic meter per hectare	Liter per tree	cubic meter per hectare
March	40	6.20	30	4.65	20	3.10
April	82	12.71	60	9.30	45	6.97
May	125	19.37	112	17.36	59	9.15
June	274	42.47	208	32.24	104	16.12
July	560	86.80	384	59.52	192	26.76
August	759	117.64	496	76.88	248	38.44
September	763	118.26	518	80.29	268	41.54
October	512	79.36	358	55.49	192	29.76
November	324	50.22	185	28.67	110	17.05
December	181	28.06	130	20.15	85	13.17
January	75	11.62	55	8.52	35	5.42
February	60	9.30	45	6.97	30	4.64
	3755	582.10	2581	400.10	1388	215.14

*It is calculated based on the number of 155 trees per hectare

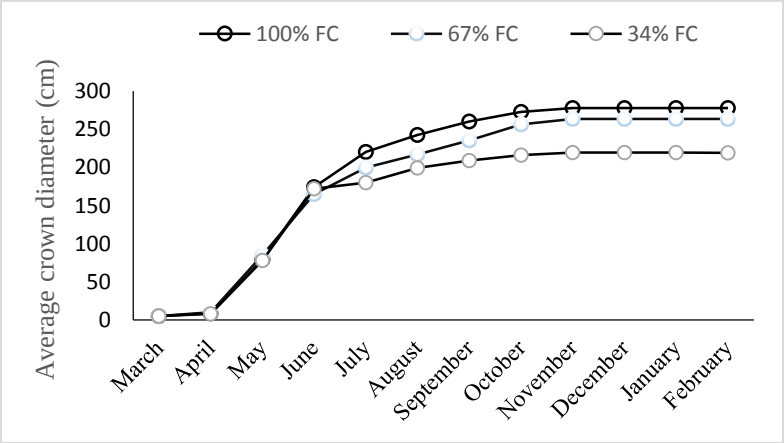
جدول ۵- میانگین ماهانه تبخیر تعرق پتانسیل (**ETo**)، تبخیر تعرق کهور آمریکایی (**ETc**)، تبخیر تعرق گیاه در شرایط ۳۰ درصد پوشش تاجی و ضرایب گیاهی (**Kc**) در شرایط لایسیمتری

Table 5- Monthly average of ETo , ETc, plant evapotranspiration with 30% canopy cover and Kc in lysimeter condition

	Potential Evaptranspiration (mm)	Plant Evaptranspiration (mm)	Plant Evaptranspiration with 30% cover	Plant Coefficient (Kc)	Plant Coefficient (Kc) with 30% cover
March	153.40	45	6.04	0.13	0.04
April	212.20	50	11.61	0.18	0.05
May	241.20	55	15.14	0.21	0.06
June	313.50	56.37	16.94	0.18	0.05
July	337.30	71.93	21.57	0.21	0.06
August	313.40	80.52	24.14	0.26	0.08
September	238.90	70.39	21.12	0.30	0.09
October	172.20	42.90	12.87	0.25	0.07
November	106.90	10.10	7.87	0.24	0.07
December	101.20	6.61	4.40	0.15	0.04
January	81.40	3.88	1.83	0.07	0.02
February	100.20	3.88	1.46	0.04	0.01
Total	2371.70	496.58	145		
Average				0.21	0.06

طول دوره رشد و تعیین مراحل سه‌گانه رشد درختان کهور آمریکایی: بررسی‌های به‌عمل آمده نشان داد که در دوره رشد ۱۴۰۱–۱۴۰۰ و در شرایط اقلیمی یزد، درختان کهور آمریکایی، رشد رویشی خود را از اواسط اسفند با رشد کند از طریق رشد سرشاخه‌ها و شاخه‌های جدید، آغاز و تا اواخر آبان‌ماه ادامه داده و پس از آن به علت سردی هوا، متوقف شد (کهور آمریکایی گیاهی همیشه سبز است). در طول این مدت، سه مرحله اصلی و مهم مشهود بود. شکل یک منحنی سیگموئید (S شکل) شامل مراحل سه‌گانه را نشان می‌دهد. شروع مرحله رویشی (ایجاد جست جدید و رشد سرشاخه‌ها) با سرعت کم از اواسط اسفند تا اواخر اردیبهشت به مدت ۷۷ روز به عنوان مرحله اول، مرحله دوم رشد با سرعت بالا به مدت ۱۲۴ روز از اوایل خرداد تا اواخر شهریور و مرحله رشد کند و بسیار کند از اوایل مهر تا اواسط اسفند به مدت ۱۶۵ روز به عنوان مرحله سوم بود.

نتایج حاصل از محاسبه تبخیر تعرق در مراحل مختلف رشد درختان کهور آمریکایی نشان داد که در تمامی سطوح آبیاری، بالاترین میزان تبخیر تعرق مربوط به دوره توسعه با ۱۲۴ روز بود که منطبق با رشد سریع سرشاخه‌ها، جست‌ها و توسعه برگ بود. مقادیر تبخیر تعرق در این دوره رشد در رژیم‌های مختلف آبیاری برای ظرفیت زراعی، ۶۷٪ و ۳۴٪ رطوبت خاک به ترتیب ۳۲۲/۱۱، ۲۸۱/۷۴ و ۱۵۸/۳۳ میلی‌متر بود. کمترین میزان تبخیر تعرق نیز مربوط به دوره پایانی رشد از اوایل آبان تا اواسط اسفند بود. شکل دو تبخیر تعرق مراحل مختلف رشد را در رژیم‌های مختلف رطوبت خاک نشان می‌دهد. ضریب گیاهی مراحل مختلف رشد در تیمار ظرفیت زراعی به ترتیب برای دوره اول، دوم و سوم، ۰/۱۹، ۰/۲۴ و ۰/۱۴ محاسبه شد.

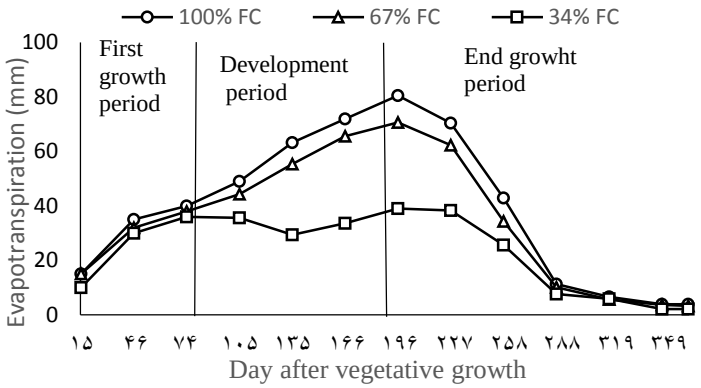


شکل ۱ – مراحل سه‌گانه رشد رویشی کهور آمریکایی تحت تأثیر سطوح رطوبتی خاک و در شرایط اقلیمی محل انجام آزمایش

Figure 1 - The three stages of vegetative growth of *Prosopis juliflora* under the influence of soil moisture levels and in the climatic conditions of the experiment site

بحث

نتایج بررسی‌های به‌عمل آمده نشان داد که در صورت فراهم بودن رطوبت خاک (در حد ظرفیت زراعی)، درختان کهور آمریکایی می‌توانند در پایان سال اول رشد، با وجود تعداد ۱۵۵ اصله در هکتار، پوشش تاجی ۱۳/۵٪ از سطح زمین را بپوشانند و تبخیر تعرقی در حدود ۴۰۰ مترمکعب در هکتار داشته باشند. این مقادیر برای ۶۷٪ و ۳۴٪ ظرفیت زراعی به ترتیب با سطح پوشش تاجی ۹/۵٪ و ۵/۶٪ برابر ۲۸۰ و ۱۶۰ مترمکعب در هکتار بود. بالاترین میزان تبخیر تعرق در سال اول استقرار مربوط به ماه‌های مرداد و شهریور و کمترین آن مربوط به اسفندماه (زمان کاشت) بود. به‌عبارتی، در صورتی که بازدهی آبیاری بالا بوده و تلفات آب در زمان آبیاری در حداقل ممکن باشد، در سال اول به ازای هر نهال کاشته شده برای رسیدن به پوشش تاجی ۱۳/۵٪، ضروری است تا مقدار ۲۶۰۰ لیتر آب مصرف گردد که قطعاً سهم تبخیر در سال اول نسبت به تعرق بسیار بالاتر است.



شکل ۲- تبخیر تعرق مراحل مختلف رشد کهور آمریکایی تحت تأثیر سطوح مختلف رطوبت خاک در شرایط لایسیمتری (اعداد هر نقطه مربوط به دوره‌های ۳۰ روزه می‌باشد که به‌صورت تجمعی محاسبه شده است)

Figure 2- ETc of different growth stages of *Prosopis juliflora* under the influence of different soil moisture levels in lysimeter conditions (numbers of each point are related to 30-day periods which are cumulatively calculated)

با توجه به رشد سریع گیاه و ظرفیت بالا در تولید و توسعه اندام هوایی و ریشه که در این آزمایش نیز به خوبی مشخص شد، این مقدار آب برای توسعه پوشش تاجی با سطح ۶ مترمربع به ازای هر درخت، دور از انتظار نیست. Akbarian و Byniaz (۲۰۱۱)، میزان آب مورد استفاده در استقرار درختان و درختچه‌های مختلف و ازجمله کهور آمریکایی را در سال اول و در منطقه چابهار ۴۰۰ لیتر در ۱۰ مرحله آبیاری (۴۰ لیتر در هر مرحله) گزارش کرده‌اند که با توجه به استقرار ۱۰۰ درصدی، کم آبیاری در طول دوره استقرار این گیاه، مورد توجه است؛ هرچند ممکن است سطح پوشش تاجی که از اهداف مهم در تثبیت شن‌های روان است، کاهش یافته و زمان بیشتر و هزینه بالاتر (برای افزایش تراکم کاشت) صرف گردد. در تحقیق مورد اشاره، سطح پوشش تاجی در پایان سال اول ۱/۳۶ مترمربع گزارش شده است، در حالی که نتایج این تحقیق نشان داد که با دسترسی به آب کافی، می‌تواند تا ۶ مترمربع در سال اول، افزایش یابد. البته، میزان رشد گزارش شده از پژوهش اکبریان و بی‌نیاز (۱۳۹۰) با نتایج تیمار ۳۴٪ ظرفیت زراعی اعمال شده در این تحقیق نیز مطابقت ندارد. با اعمال تیمار ۳۴٪ ظرفیت زراعی، شرایط برای رشد و توسعه پوشش تاجی تا ۲ مترمربع مهیا گردید. گرچه کهور آمریکایی از گونه‌های مقاوم به شوری است و امکان آبیاری با آب شور وجود دارد اما توجه به ضریب آبشویی برای جلوگیری از انباشت نمک در افق‌های سطحی خاک و مخاطرات مربوطه، در هر بار آبیاری و در فعالیت‌های میدانی ضروریست. با بررسی و محاسبه میزان تبخیر تعرق درختان بزرگسال با کارایی مناسب در تثبیت شن و کنترل گردوغبار، مشخص گردید که برای ایجاد سطح پوشش تاجی ذکر شده، ضروری است که مقدار ۴۸۴۶ مترمکعب آب در هکتار (برابر ۴۸۴/۶ میلی‌متر در سال) در دسترس گیاه قرار گیرد. به‌عبارتی، با این مقدار تبخیر تعرق، گیاه می‌تواند سطح پوشش تاجی خود را تا ۱۹/۵ مترمربع گسترش داده و با وجود ۱۵۵ اصله در هکتار (۸×۸ متر)، ٪۳۰ از عرصه را پوشش دهد که برای تثبیت شن، مناسب گزارش شده است (Sedaghat *et al.*, 2016). Imani و همکاران (۲۰۱۸)، نیز پوشش تاجی ۲۵ تا ۵۰ درصدی را برای کهور آمریکایی مناسب دانسته و بیان کرده‌اند که با این سطح از پوشش تاجی ضمن حفاظت خاک و تثبیت شن‌های روان، بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و در نهایت بهبود حاصلخیزی خاک در منطقه مگران شهرستان شوش را به همراه داشته است. میزان رشد و گستره تاج پوشش پایه‌های کاشت شده در این پژوهش و در شرایط لایسیمتری در سال دوم، ۱۲/۴ مترمربع در شرایط رطوبتی ظرفیت زراعی بود. سطح پوشش تاجی در تیمارهای ۶۷٪ و

٪۳۴ ظرفیت زراعی نیز به ترتیب ۱۱/۱ و ۷/۷ مترمربع بود. در مطالعه Akbarian و Byniaz (۲۰۱۱)، میزان آب مورد استفاده در آبیاری سال دوم برای کهور آمریکایی و در شرایط اقلیمی چابهار، ۱۶۰ لیتر و برای ۴ دور آبیاری گزارش شده است. آنان بیان کرده‌اند که ضمن استقرار ۱۰۰ درصدی نهال‌ها، متوسط تاج پوشش به ۲/۶۷ مترمربع افزایش یافت. تمام داده‌های ذکرشده نشان می‌دهد که در صورت فراهم بودن شرایط برای رشد، ازجمله تأمین آب کافی، این گیاه توانایی و سرعت رشد بالایی داشته و در زمان کوتاه، پوشش تاجی گسترده‌ای ایجاد کرده و اهداف مورد نظر در برنامه تثبیت شن و کنترل گردوغبار را تأمین می‌کند. بررسی و محاسبه داده‌های بدست آمده از میزان تبخیر تعرق تجمعی نشان داد که کهور آمریکایی دارای تبخیر تعرق سالانه ۴۹۶/۵ میلی‌متر با ضریب گیاهی سالانه ۰/۲ بود. بالاترین میزان تبخیر تعرق در شرایط آزمایش مربوط به ماه‌های تیر و مرداد و شهریور به ترتیب با ۷۱/۹۱، ۸۰/۴۸ و ۷۰/۴۰ میلی‌متر و ضریب گیاهی ۰/۲۱، ۰/۲۶ و ۰/۳۰ بود. ماه‌های ذکر شده مصادف بود با دوره سریع رشد یا توسعه که محیط از گرمای بالایی برخوردار بود. به‌عبارتی، بالاترین تبخیر تعرق مربوط به دوره توسعه رشد بود که مصادف با ماه‌های گرم سال بوده و توان گیاه را به عنوان گونه‌ای گرمسیری در مقابله با دمای بالا و سرعت رشد مطلوب در حرارت بالای محیط نشان داد. Shiferaw و همکاران (۲۰۲۳) تبخیر و تعرق گیاه کهور آمریکایی را در دره بزرگ ریفت اتیوپی بررسی و بیان کرده‌اند که این گیاه به عنوان گونه‌ای غیر بومی در این منطقه، توانسته است از ۱ تا ۲۶ لیتر و به‌طور متوسط ۴/۷۴ لیتر در روز آب به ازای هر درخت مصرف کند. گرمای خاک، گرمای نهان و وضعیت آب در خاک را به عنوان عوامل مؤثر بر سرعت جریان شیره درختان دانسته و بیان کرده‌اند که هر چقدر کسری فشار بخار بیشتر باشد، میزان برداشت آب توسط گیاه بیشتر می‌شود. با وجود ۱۲۰۰ تا ۱۶۰۰ اصله درخت در هکتار، میزان ۶۶۳۶ لیتر در روز در هکتار (تعرق: ۲۴۲ میلی‌متر در سال) برداشت آب از خاک اتفاق می‌افتد (Shiferaw *et al.*, 2023). میزان تبخیر تعرق بدست آمده در این پژوهش با آنچه Khosroshahi (۲۰۱۳) برای این گونه و مربوط به مناطق مختلف کشور گزارش کرده است، مقداری متفاوت است که دلیل آن را می‌توان به روش محاسباتی نامبرده (روش غیرمستقیم) مربوط دانست. وی نیاز آبی کهور آمریکایی را از طریق رابطه تلفیقی پنمن–مان تیث–فائو محاسبه کرده است، برای مناطق اهواز، امیدیه، دشت آزادگان، بندرعباس، بندر لنگه، جاسک، ایرانشهر و چابهار به ترتیب ۳۱۸، ۳۲۵، ۳۴۵، ۲۸۴، ۳۰۲، ۲۸۳، ۳۱۲ و ۲۵۷ میلی‌متر گزارش کرده است. در صورتی که ضریب گیاهی محاسبه شده حاصل از نتایج این پژوهش (۰/۲۱) را در تبخیر تعرق پتانسیل اعلام شده توسط Khosroshahi (۲۰۱۳) برای مناطق ذکرشده ضرب نماییم، به ترتیب می‌توان مقادیر ۴۰۸/۶، ۴۱۷، ۴۴۲/۲، ۳۶۵/۴، ۳۸۷/۴، ۳۶۳/۲، ۴۰۰/۲ و ۳۳۱ میلی‌متر را در سال اعلام کرد. Howari و همکاران (۲۰۲۲) در مطالعه‌ای که پیرامون اثر تهاجمی کهور آمریکایی بر آب‌های زیرزمینی در بخش شمالی امارات متحده عربی انجام داده‌اند، میزان تبخیر تعرق سالانه این گیاه را ۱۴۷۰/۸۲ میلی‌متر با ضریب گیاهی ۰/۷۷ محاسبه کرده‌اند که تفاوت فاحشی با مقدار گزارش شده در این پژوهش دارد. میزان تبخیر تعرق سالانه گیاه در شرایطی که تنها ۳۰٪ از عرصه پوشانده شود، ۱۴۵ میلی‌متر با ضریب گیاهی سالانه ۰/۰۶ محاسبه شد. پایین بودن ضریب گیاهی، نشان‌دهنده قدرت سازگاری این گونه به شرایط گرم و خشک است. Hamza (۲۰۱۰) نیز این گیاه را به عنوان گونه‌ای مقاوم به خشکی در شرایط اقلیمی گرم معرفی و میزان بارندگی در مناطق پراکنش آن را بین ۱۵۰ تا ۷۵۰ میلی‌متر بیان کرده است. Dakhil و همکاران (۲۰۲۱) عامل اصلی توان بالقوه این گیاه در توسعه و تهاجم‌پذیری را افزایش میانگین دمای هوا همراه با قلیائیت و رسی بودن اراضی در مناطق خشک و نیمه‌خشک نسبت به محیط‌های مرطوب دانسته‌اند. این موضوع نشان می‌دهد که گیاه با سازوکارهای متعدد، ضمن تحمل قلیائیت و سنگینی خاک، با تنش خشکی ازجمله به حداقل رساندن تعرق از طریق کاهش سطح برگ و افزایش کارایی فتوسنتز و توسعه ریشه به عنوان یک گونه فراتوفیت یا آب‌یاب، مقاومت کند (Hamza, 2010). موضوعی که در

این تحقیق با اعمال تیمارهای تنش خشکی ۶۷٪ و ۳۴٪ ظرفیت زراعی به اثبات رسید.

سازگاری بسیار بالا به شرایط اقلیمی گرم و خشک، رشد بسیار سریع و توسعه تاج پوشش، توسعه ریشه و توان استفاده از منابع آبی در دسترس، مقاومت به خاک‌های قلیایی، رسی و حتی شور، زادآوری و جست‌زنی آسان از عواملی است که استفاده از این گیاه را در برنامه‌های تثبیت شن و بیابان‌زدایی به خوبی توجیه می‌کند. باوجوداین موضوع در تمامی برنامه‌هایی که برای توسعه کاشت این گیاه تدوین و مدیریت می‌شود، باید به ویژگی تهاجمی بودن و اثرهای سوء زیست محیطی آن توجه کرد. انتخاب مکان مناسب، تراکم بهینه کاشت و مصرف بهینه آب در آبیاری سال‌های اول و دوم از طریق کم آبیاری، به نیاز آبی گیاه در مراحل بعد از استقرار، به‌ویژه در فصول گرم که از رشد بیشتری برخوردار است و می‌تواند تا ۲/۵ میلی‌متر در روز باشد، باید توجه نمود.

منابع مورد استفاده:

- Akbarian, M. and Byniaz, M., 2011. Evaluation of plant species used in wind erosion control (Case Study Jask city, Hormozgan province). Environmental Erosion Research Journal, 1 (2): 29-42 (In Persian).
- Al-Ghouti, M. A. and Razavi, M.M., 2020. Water reuse: Brackish water desalination using *Prosopis juliflora*. Environmental Technology and Innovation, 17: 100614.
- Allen, R.G., pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 105p.
- Aung, T. and Koike, F., 2015. Identification of invasion status using a habitat invisibility assessment model: the case of *Prosopis* species in the dry zone of Myanmar. Journal of Arid Environments, 120: 87-94.
- Dakhil, M.A., El-Keblawy, A., El-Sheikh, M.A., Halmy, M.W.A., Ksiksi, T. and Hassan, W.A., 2021. Global invasion risk assessment of *Prosopis juliflora* at biome level: Does soil matter?. Biology, 10(3): 203-222.
- Edrisi, S.A., El-Keblawy, A. and Abhilash, P.C., 2020. Sustainability analysis of *Prosopis juliflora* (Sw.) DC based restoration of degraded land in North India. Land, 9(2): 59-70.
- El-Keblawy A, Al-Rawai A., 2007. Impacts of the invasive exotic *Prosopis juliflora* on the native flora and soils of the UAE. Plant Ecology, 190: 23-35.
- Garg, S., Kumar, P., Singh, S., Yadav, A., Dumee, L.F., Sharma, R.S. and Mishra, V., 2020. *Prosopis juliflora* peroxidases for phenol remediation from industrial wastewater-An innovative practice for environmental sustainability. Environmental Technology and Innovation. 19:100865.
- Hamza, N.B., 2010. Genetic variation within and among three invasive *Prosopis juliflora* (Leguminosae) populations in the River Nile State, Sudan. International Journal of Genetics and Molecular Biology, 2(5): 92-100.
- Howari, F. M., Sharma, M., Nazzal, Y., El-Keblawy, A., Mir, S., Xavier, C. M. and Alaydaroos, F., 2022. Changes in the Invasion Rate of *Prosopis juliflora* and Its Impact on Depletion of Groundwater in the Northern Part of the United Arab Emirates. Plants, 11(5): 682- 690.
- Imani, F., Moradi, M., Basiri, R., 2018. Biological diversity of vegetation in the dunes after two decades of consolidation activities and afforestation (Case Study: Region Magran, Susa), Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology), 31(1): 12-23(In Persian).
- Izadi, F., Chamani, A., Zamani Ahmadmahmoodi, R., 2022. 'Quantification of the Effects of the Invasion of Mesquite (*Prosopis Juliflora*) on Native Vegetation in Southern Iran', Environment and Interdisciplinary Development, 7(77), 1-12 (In Persian).
- Khosroshahi, M., 2013. Estimating water requirement of *Prosopis juliflora* at different habitates of Persian Gulf - Aman Sea region of Iran. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 21(2): 300-315 (In Persian).
- Meroni, M., Ng, W.T., Rembold, F., Leonardi, U., Atzberger, C., Gadain, H. and Shaiye, M., 2017. Mapping *Prosopis juliflora* in west Somaliland with Landsat 8 satellite imagery and ground information. Land Degradation Development, 28 (2): 494-506.
- Najafi–Tireh–Shabankareh, K., Jalili, A. and Asadpoor, R., 2014. Investigation on invasion effects of *Prosopis juliflora*. Journal of Arid Biome, 4(1): 54-64 (In Persian).
- Pasiecznik, N. M., Harris, P. J. C. and Smith, S., 2004. Identifying tropical prosopis species: A field guide. HDRA, Coventry, UK, 30p.
- Sakthieswaran, N. and Sophia, M., 2020. *Prosopis juliflora* fibre reinforced green building plaster materials—An eco-friendly weed control technique by effective utilization. Environmental Technology and Innovation. 20: 101158.

– Schepers, S., 2004. Influence of leaf-to-air vapour pressure deficit (VPD) on the biochemistry and physiology of photosynthesis in *Prosopis juliflora*. Journal of Experimental Botany, 55(405): 2111-2120.
– Sedaghat, M., Mehrnia, S. R., Barzegar, S., Zangiabadi, M. A. (2016). A geostatistical exploratory of spatiotemporal variation of Kerman's Haloxylon and its hazardous effect in formation of dust centers, Environmental Management Hazards, 3(3): 199-210 (In Persian).
– Shiferaw, H., Alamirew, T., Dzikiti, S., Bewket, W., Zeleke, G., Teketay, D. and Schaffner, U., 2023. Water abstraction of invasive *Prosopis juliflora* and native *Senegalia senegal* trees: A comparative study in the Great Rift Valley Area, Ethiopia. Science of The Total Environment, 862: 160833.
– Srivastava, S., Joshi, R.K. and Garkoti, S.C., 2023. Carbon and nitrogen allocation in leaf, fine root, soil, and microbial biomass in invasive *Prosopis juliflora* and native *Acacia nilotica* in semi-arid forests of the Aravalli hills. Arid Land Research and Management, 1-19.
– Wakie, T.T., Laituri, M. and Evangelista, P.H., 2016. Assessing the distribution and impacts of *Prosopis juliflora* through participatory approaches. Applied Geography, 66: 132-143.
– Xu, X., Zhang, R., Xue, X. and Zhao, M., 1998. Determination of evapotranspiration in the desert area using lysimeters. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 29(1-2): 1-13.