



## A simple algorithm for estimation of water requirement of shallow-rooted landscape cover crops independent of lysimeters. Case study: Frankenia

Ahmad Pezeshk<sup>1</sup> | Seyed Mohammadreza Naghedifar<sup>2</sup> | Mahdi Selahvarzi<sup>3</sup> | Ali Naghi Ziaei<sup>4</sup>

1. Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad (FUM),

Mashhad, Iran. E-mail: [ap.ahmad72@gmail.com](mailto:ap.ahmad72@gmail.com)

2. Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad (FUM),

Mashhad, Iran. E-mail: [m.reza.naghedifar@gmail.com](mailto:m.reza.naghedifar@gmail.com)

3. Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad (FUM),

Mashhad, Iran. E-mail: [mahdi.selahvarzi@gmail.com](mailto:mahdi.selahvarzi@gmail.com)

4. Corresponding Author, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad (FUM), Mashhad, Iran. E-mail: [an\\_ziaei@yahoo.com](mailto:an_ziaei@yahoo.com)

---

---

### Article Info

**Article type:** Research Article

**Article history:**

**Received:** Apr. 15, 2024

**Revised:** May. 23, 2024

**Accepted:** June. 1, 2024

**Published online:** July. 2024

**Keywords:**

Evapotranspiration,  
Crop Coefficient,  
Irrigation,  
Landscape.

---

---

### ABSTRACT

Cover plants, among the most commonly used plants in the realm of green spaces, are typically characterized by shallow roots. In this research, a simple and flexible algorithm has been introduced for calculating the basal crop coefficient and evaporation coefficient of shallow-rooted plants without the use of (micro-) lysimeters. The presented algorithm requires measurements of moisture at three depths for short-term calculations and only surface layer moisture monitoring for long-term calculations. Using this algorithm, it is possible to calculate the potential evaporation and transpiration of the plant. Furthermore, the presented algorithm is independent of time steps. To evaluate this algorithm, nine experimental plots were utilized, including six Frankenia plots with full coverage and three bare soil plots during the peak water demand period. All experiments were conducted at the educational site of irrigation systems in the vicinity of the meteorological site of Ferdowsi University of Mashhad (FUM). For this purpose, the water content and irrigation of these plots was fulfilled (at most) every 48 hr. The results indicated that the presented algorithm has good capabilities for estimating the basal crop and evaporation coefficients. Additionally, the basal crop coefficient for Frankenia plant was found to be 1, and the evaporation coefficient was 0.58. Therefore, this method can be employed for estimating the water requirements of different plants without using (micro-) lysimeters.

---

---

Cite this article: Pezeshk, A., Naghedifar, S. M. R., Selahvarzi, M., & Ziaei, A. N., (2024) A simple algorithm for estimation of water requirement of shallow-rooted landscape cover crops independent of lysimeters. Case study: Frankenia , *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 55 (5), 833-845. <http://doi.org/10.22059/ijswr.2024.375034.669693>

© The Author(s).

Publisher: The University of Tehran Press.

DOI: <http://doi.org/10.22059/ijswr.2024.375034.669693>



## ارائه یک الگوریتم ساده برای برآورد نیاز آبی گیاهان پوششی فضای سبز با ریشه کم عمق بدون نیاز به لایسیمتر؛ مطالعه موردی: گیاه فرانکینیا

احمد پزشکی<sup>۱</sup>، سیدمحمدرضا ناقدی فر<sup>۲</sup>، مهدی سلاح ورزی<sup>۳</sup>، علی نقی ضیائی<sup>۴</sup>✉

۱. گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. رایانامه: [ap.ahmad72@gmail.com](mailto:ap.ahmad72@gmail.com)

۲. گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. رایانامه: [m.reza.naghedifar@gmail.com](mailto:m.reza.naghedifar@gmail.com)

۳. گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. رایانامه: [mahdi.selahvarzi@gmail.com](mailto:mahdi.selahvarzi@gmail.com)

۴. نویسنده مسئول، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. رایانامه: [an\\_ziاعي@yahoo.com](mailto:an_ziاعي@yahoo.com)

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	گیاه‌های پوششی از جمله پرکاربردترین گیاه‌های مورد استفاده در زمینه فضای سبز به حساب می‌آیند که به طور معمول دارای ریشه کم عمق هستند. در این پژوهش یک الگوریتم ساده و انعطاف‌پذیر برای محاسبه ضریب گیاهی پایه و ضریب تبخیر گیاهان کم عمق بدون استفاده از (میکرو) لایسیمتر ارائه شده است. الگوریتم ارائه شده برای زمان‌های کوتاه نیاز به رطوبت‌سنجی در سه عمق و برای زمان‌های طولانی تنها نیاز به پایش رطوبت در لایه سطحی را دارد. با استفاده از این الگوریتم می‌توان تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه را نیز محاسبه نمود. همچنین، الگوریتم ارائه شده وابستگی به گام‌های زمانی ندارد. برای ارزیابی این الگوریتم، نه کرت آزمایشی که شامل شش کرت فرانکینیا با پوشش کامل و سه کرت بدون پوشش در طول بیشینه نیاز آبی مورد استفاده قرار گرفتند. تمامی آزمایشات در سایت آموزشی سامانه‌های آبیاری گروه علوم و مهندسی آب در نزدیکی سایت هواشناسی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. بدین منظور، این کرت‌ها با فاصله زمانی حداکثر ۴۸ ساعت مورد پایش رطوبتی و آبیاری قرار گرفتند. نتایج نشان داد الگوریتم ارائه شده توانایی خوبی برای برآورد ضریب گیاهی پایه و ضریب تبخیر دارد. همچنین، ضریب گیاهی پایه برای گیاه فرانکینیا برابر با ۱ و ضریب تبخیر برابر با ۰/۵۸ به دست آمد. از این روش می‌توان برای برآورد نیاز آبی گیاهان مختلف بدون استفاده از لایسیمتر بهره برد.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱/۲۷	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۳/۳	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۳/۱۲	
تاریخ انتشار: مرداد ۱۴۰۳	
واژه‌های کلیدی:	
تبخیر-تعرق،	
ضریب گیاهی،	
آبیاری،	
فضای سبز.	

استناد: پزشکی؛ احمد، ناقدی فر؛ سیدمحمدرضا، سلاح ورزی؛ مهدی، ضیائی؛ علی نقی، (۱۴۰۳) ارائه یک الگوریتم ساده برای برآورد نیاز آبی گیاهان پوششی فضای سبز باریشه کم عمق بدون نیاز به لایسیمتر؛ مطالعه موردی: گیاه فرانکینیا، مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۵ (۵)، ۸۴۵-۸۳۳.



<http://doi.org/10.22059/ijswr.2024.375034.669693>

© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <http://doi.org/10.22059/ijswr.2024.375034.669693>

## مقدمه

بحران آب در کشور ایران از یک سو سبب کاهش منابع آبی و از سوی دیگر به دلیل محدود شدن تولید محصولات کشاورزی سبب ایجاد ضرر اقتصادی به کشاورزان شده است. این در حالی است که با ادامه روند خشکسالی در طی سالیان آینده شرایط وخیم تر نیز خواهد شد (Barikani et al., 2011; Ebrahimipak et al., 2023). گرچه مصارف زراعی در کشور ایران سهم عمده مصرف منابع آبی را شامل می شود، سایر بخش ها مانند مصارف فضای سبز، مصارف شهری و خانگی نیز از اهمیت زیادی برخوردار هستند (Asgari et al., 2021). بر اساس آخرین برنامه عملیاتی میان مدت، شهرداری مشهد مکلف است به منظور رعایت استانداردهای زیست محیطی، منطبق با سیاست های ۱-۱-۱-۵، ۲-۱-۱-۵، ۱-۲-۱-۵ و ۲-۲-۱-۵ طرح جامع شهری اعتباری بالغ بر ۳۲۴۳۲۴۵۹۹۸۸ هزار ریال را در افق برنامه عملیاتی میان مدت ۱۴۰۰-۱۳۹۷ اختصاص دهد. ایجاد فضای سبز شهری، فضای سبز محله ای و توسعه کمر بند سبز به منظور کاهش آلاینده های آب، خاک و هوا از جمله اهداف اصلی این طرح ذکر شده است (بارانی و همکاران، ۱۳۹۷).

فضای سبز علاوه بر تأمین زیبایی شهری، تضمین کننده پاکیزگی هوای محیط های شهری نیز است. بنابراین، توسعه این فضاها می تواند به بهبود سطح معیشت و ایجاد رضایت همگانی در سطح جامعه کمک شایانی نماید (Ahmadaali et al., 2021). این در حالی است که گیاهان مورد استفاده در فضای سبز شهری اعم از گونه های درختی، پرچینی و یا پوششی معمولاً دارای نیاز آبی نامشخصی بوده و این امر توسعه آن ها را چه در ایران (Pakparvar et al., 2014) و چه در سایر کشورها (Niu et al., 2006; Liu, 2022) به یک موضوعی چالش برانگیز تبدیل کرده است.

در این زمینه گیاهان پوششی به عنوان گیاهانی که در سطح وسیع مورد استفاده قرار گرفته و به دلیل ریشه کم عمق نیاز به آبیاری با دور کوتاه دارند، همواره از جایگاه ویژه ای در بین متخصصان و محققان برخوردار بوده اند (Braun et al., 2022; Nouri et al., 2013; Pooya et al., 2013). از این جمله، Charalambous et al. (2019) به بررسی چگونگی استفاده از گیاهانی مانند فرانکینیا (*Frankenia laevis*) در بام های سبز اشاره نمود. نتایج این پژوهش، علاوه بر بررسی نگهداشت بسترهای کشت مختلف، تأثیر این بسترها بر کاهش رواناب را نیز مورد بررسی قرار می دهد. بدین منظور آزمایشات بیلان حجمی از طریق محفظه های کوچک که بجای تبخیرسنج کوچک مورد استفاده قرار می گرفتند، انجام شد. این پژوهش تأکید زیادی بر جنبه های هیدرولوژیکی استفاده از گیاهان فضای سبز در بام های سبز داشت و مطالعه جامعی در زمینه اندازه گیری های دینامیکی تبخیر-تعرق گیاهی ارائه نمود و صرفاً با در نظر گرفتن مقدار ضریب گیاهی یک جزئی برابر با یک، نتیجه قابل ملاحظه ای برای تبخیر-تعرق ارائه نشد. بر خلاف این پژوهش، Litvak et al. (2017) در پژوهشی جامع به مدلسازی و اندازه گیری تبخیر-تعرق گیاهان فضای سبز در کالیفرنیا آمریکا پرداختند. در این پژوهش که تأکید آن بر گونه های درختی در ترکیب با چمن برای عرصه های فضای سبز بود، از ترکیب مدل های تجربی، روش های سنجش از دور و اندازه گیری میدانی برای تعیین تبخیر-تعرق از گیاهان فضای سبز مورد استفاده قرار گرفت. در این پژوهش نتایج به دست آمده نشان داد که با ۷۰ درصد از کل تبخیر تعرق فضای سبز، گیاه پوششی مانند چمن نقش بسزایی در تبخیر-تعرق از این اراضی ایفا می نماید. (Saher et al., 2020) مروری بر روش های مرسوم بر محاسبه تبخیر-تعرق از فضای سبز شهری ارائه نمودند. در این پژوهش معضل اصلی در برآورد تبخیر تعرق فضای سبز پیچیدگی آن بالاخص در فضاهایی با کشت مخلوط ارائه شده است.

یکی از معضلات اساسی در کشور برای تعیین نیاز آبی عدم وجود ابزار مورد نیاز برای این قسم از پژوهش هاست. تعیین نیاز آبی معمولاً در لایسیمترهای وزنی و یا حجمی صورت می گیرد (Pannkuk et al., 2010). این لایسیمترها معمولاً به ابزار اندازه گیری رطوبت دفن شونده مجهز بوده که به طور معمول سنسورها و نیز دیتالاگر (Data logger) آن ها دارای قیمت بسیار بالایی است. این امر سبب شده است که در بیشتر پژوهش های کشور از این دسته از ابزار که گاه واردات آن نیز مشکلاتی را به همراه دارد، بهره برده نشود.

## روش شناسی پژوهش

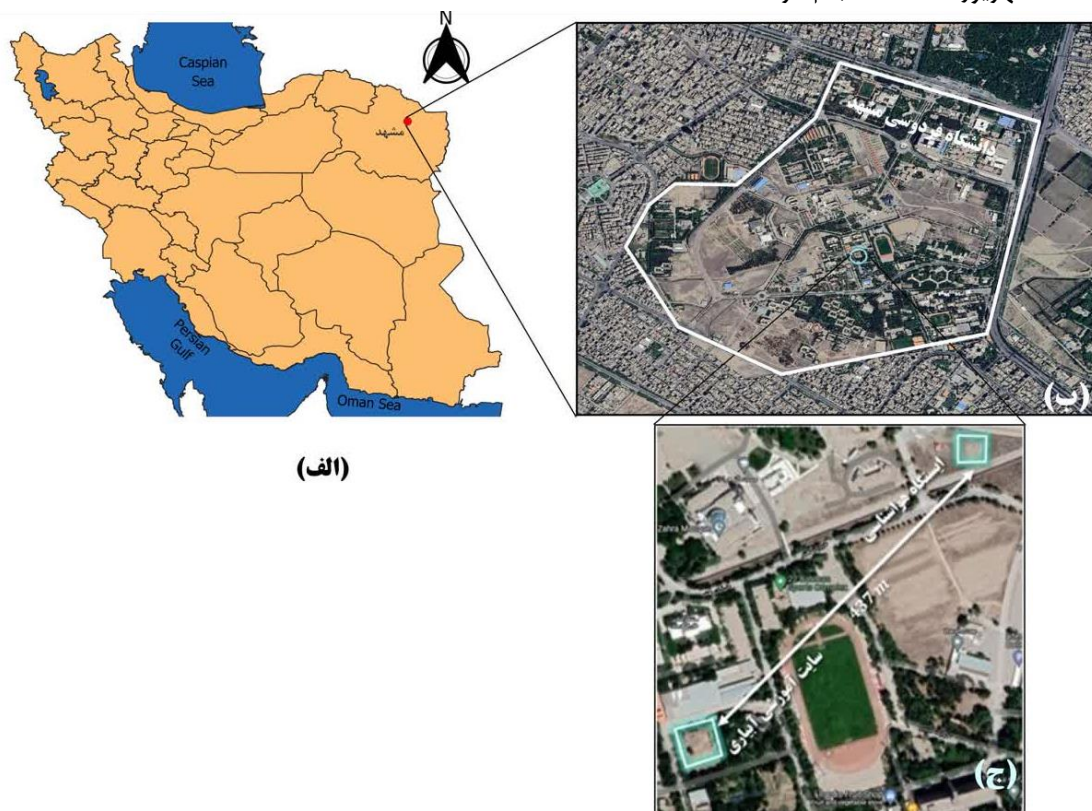
اهداف و نوآوری های اصلی این پژوهش ارائه و ارزیابی یک روش ساده بدون نیاز به لایسیمترهای وزنی برای تعیین نیاز آبی گیاهانی با ریشه کم عمق است. این روش تنها نیاز به برآورد رطوبت در سه عمق داشته و قابلیت استفاده برای تعیین ضریب گیاهی تک جزئی و دوجزئی را نیز دارد. فرض های ساده کننده در این روش از نظر فیزیکی تطابق مناسبی با شرایط واقعی داشته و امکان استفاده از آن با امکانات موجود در کشور فراهم است. بعلاوه، می توان اثبات نمود که این روش پس از گذشت زمان مناسب صرفاً نیاز به پایش رطوبت در یک عمق را داشته و دقت تعیین تبخیر و تعرق بدون تغییر باقی می ماند. بعلاوه، تعیین ضرایب گیاهی دوجزئی گیاه فرانکینیا که در کمتر

پژوهشی به آن اشاره شده است، مورد ارزیابی قرار گرفته است. در نهایت، در این پژوهش سعی شده است که داده‌هایی با تفکیک زمانی بالا برای رطوبت گیاه پوششی در لایه‌های مختلف خاک ارائه گردد.

### محل انجام آزمایش و اندازه‌گیری‌های میدانی

پژوهش حاضر در محل "سایت آموزشی سیستم‌های آبیاری" ( $36^{\circ} 18' 24'' N, 59^{\circ} 31' 44'' E$ ) گروه علوم و مهندسی آب دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. در مجاورت سایت آموزشی سیستم‌های آبیاری، ایستگاه هواشناسی گروه علوم و مهندسی آب دانشگاه فردوسی واقع در دانشکده کشاورزی قرار دارد که در آن اطلاعات هواشناسی اعم از اطلاعات دمایی (دمای حداقل و حداکثر، دمای تر و خشک)، ساعت آفتابی، سرعت و جهت باد و نیز رطوبت نسبی به صورت روزانه ثبت می‌شود. به دلیل فاصله کم ایستگاه هواشناسی با سایت آموزشی سیستم‌های آبیاری (۴۳۷ متر)، می‌توان از همگونی شرایط آب و هوایی این دو مکان اطمینان حاصل نمود (شکل ۱-الف).

به منظور بررسی نیاز آبی گیاه فرانکینیا، شش کرت  $2 m \times 2 m$  در تاریخ ۲۱ مهرماه ۱۴۰۱ تحت کشت بوته‌های این گیاه قرار گرفت. در هر کرت به طور متوسط حدود ۸۰ بوته فرانکینیا با فواصل تقریبی  $0.2 m \times 0.2 m$  کشت شد. این بوته‌ها تا تاریخ ۱۴ تیرماه ۱۴۰۲ توسط بارش‌های طبیعی و یا آبیاری نگهداری شد تا تمام سطح کرت توسط این گیاه پوشانده شد. علاوه بر این شش کرت، سه کرت نیز به منظور تبخیرسنجی با ابعاد مشابه با کرت‌های فرانکینیا در نظر گرفته شد. پس از این تاریخ، نیاز آبی گیاه مطابق با توجه به رطوبت لایه‌های مختلف خاک و با استفاده از الگوریتم ساده ارائه شده در بخش‌های بعدی، برآورده شده و مقدار تبخیر و تعرق به صورت جداگانه به همراه ضریب گیاهی پایه ( $K_{cb}$ ) و ضریب تبخیر ( $K_e$ ) برآورد شد. بازه زمانی اندازه‌گیری‌های این پژوهش از تاریخ ۱۵ تیرماه ۱۴۰۲ تا تاریخ خاتمه ۱۷ شهریورماه ۱۴۰۲ انجام گرفت.



شکل ۱. (الف) نقشه ایران و موقعیت شهر مشهد، (ب) عکس هوایی از دانشگاه فردوسی و موقعیت محل آزمایش و (ج) فاصله سایت آموزشی آبیاری و ایستگاه هواشناسی

به منظور سنجش رطوبت خاک در لایه‌های مختلف خاک از دستگاه  $\text{FieldScout}^{\text{®}} \text{TDR-350}$  با پروب‌های ۲۰ سانتیمتری استفاده شد. در این پژوهش، رطوبت خاک در لایه‌های ۰-۲۰، ۲۰-۴۰ و ۴۰-۶۰ سانتیمتری اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری در ساعات بین ۴ تا ۵ بعدازظهر انجام می‌گرفت. بدین منظور، چاهک‌های دسترسی با اعماق ۲۰ و ۴۰ سانتیمتری در هر کرت ایجاد گردید. دیواره هر چاهک دسترسی توسط لوله‌های PVC با قطر ۱۱۰ mm ثابت شده و به منظور جلوگیری از تبخیر بر روی هر یک، درپوش پلاستیکی قرار داده

شد. برای اطمینان از یکنواخت شدن شرایط طبیعی خاک، این اقدامات یک سال قبل از شروع اندازه‌گیری‌ها و در تابستان ۱۴۰۱ صورت گرفت. اندازه‌گیری‌های رطوبتی به‌صورت روزانه انجام می‌گرفت. اما در بعضی موارد به علل مختلف امکان اندازه‌گیری روزانه وجود نداشت. از همین رو فاصله زمانی اندازه‌گیری تا ۴۸ ساعت افزایش می‌یافت. جهت کالیبره نمودن دستگاه TDR-350، در طی دو مرحله کالیبراسیون انجام شد. این امر جهت اطمینان حاصل کردن از عملکرد صحیح دستگاه رطوبت‌سنجی انجام شد، زیرا دقت پژوهش حاصل به طور عمده تحت تأثیر رطوبت‌های اندازه‌گیری شده توسط این دستگاه بود.

در مرحله اول از کالیبراسیون، نمونه‌های دست‌خورده در ۹ گلدان با ارتفاع ۲۰ cm و قطر ۱۷/۷ cm از خاک سایت آموزشی آبیاری پر شد. همچنین، سعی شد خاک درون گلدان‌ها دارای چگالی درون زمین سایت محل آزمایش را داشته باشد. سپس خاک درون گلدان‌ها با قرار داده شدن در درون تشت آب، از زیر اشباع گردید. این گلدان‌ها، در طی فرآیند خشک شدن به طور همزمان به‌صورت وزنی و توسط دستگاه TDR-350 اندازه‌گیری شد تا تغییرات رطوبت به مقدار ناچیزی میل نمود. اندازه‌گیری وزنی توسط ترازوی دیجیتالی با دقت  $\pm 0.01$  g انجام گرفت. به‌منظور تبدیل رطوبت وزنی به رطوبت حجمی از نمونه‌گیر استوانه‌ای ELE خاک با قطر ۷/۸ cm و ارتفاع ۱۴/۵ cm استفاده شد. نمونه‌های استوانه‌ای به مدت ۲۴ ساعت در آون با درجه حرارت  $105^{\circ}\text{C}$  نگهداری شد تا وزن خشک نمونه‌ها به دست بیاید (Kirkham, 2023).

در مرحله دوم، فرایند کالیبراسیون به‌صورت در محل (on-field) و بر روی خاک دست‌نخورده صورت گرفت. این اقدام در چهار کرت  $2\text{ m} \times 2\text{ m}$  در محل سایت آموزشی آبیاری انجام گرفت. کرت‌ها با آبیاری سنگین به‌صورت اشباع قرار گرفته و روی آن با استفاده از صفحه‌های پلاستیکی ضخیم به طور کامل پوشانده شد. در این چهار کرت، اندازه‌گیری‌های روزانه رطوبت انجام گرفت تا رطوبت به حد ثابت (که به دلیل عدم وجود تبخیر برابر با رطوبت حد ظرفیت زراعی است) برسد. بدین منظور، ابتدا با استفاده از دستگاه TDR-350 رطوبت یک نقطه را برآورد نموده و سپس با استفاده از نمونه‌گیر، خاک دست‌نخورده از همان نقطه با حجم مشخص برداشت شد. در این مرحله سعی شد که به‌منظور اطمینان از تکرارپذیری، در هر بار اندازه‌گیری سه نمونه دست‌نخورده تهیه شود. با انتقال نمونه به آون در درجه حرارت و زمان ماند مشابه با مرحله قبل، رطوبت حجمی نمونه‌ها تعیین گردید. از نتایج این مرحله هم برای تعیین رطوبت حد ظرفیت زراعی و هم برای کالیبراسیون سنسور استفاده شد. در این مرحله به دلیل خشک شدن خاک و امکان وجود آسیب به پروب‌های ۲۰ سانتیمتری دستگاه TDR-350، رطوبت تنها تا کمی پایین‌تر از حد ظرفیت زراعی اندازه‌گیری گردید (انصاری و همکاران، ۱۳۸۸).

آبیاری زمین با استفاده از آبیاش دستی با حجم مشخص و به‌صورت روزانه بر اساس داده‌های رطوبتی خاک و رسیدن به حد ظرفیت زراعی انجام می‌گرفت.

برای تعیین هدایت هیدرولیکی اشباع از سه چاهک و در سه لایه (عمق ۱۰، ۳۰ و ۵۰ سانتیمتری) و از هر عمق سه نمونه خاک از سه نقطه مجزا تهیه شد. نمونه‌های خاک به آزمایشگاه آب و خاک گروه علوم و مهندسی آب دانشگاه فردوسی مشهد منتقل شد. برای تعیین هدایت هیدرولیکی اشباع از روش بار افتان استفاده و برای هر نمونه آزمایش سه بار تکرار شد و از نتایج میانگین‌گیری شد. برای تعیین بافت خاک نیز در سه عمق و از سه نقطه مختلف نمونه‌گیری انجام شد. آزمایش هیدرومتری توسط هیدرومتر 152H انجام شد. همچنین، چگالی ظاهری خاک با تهیه ۶۳ نمونه دست‌نخورده خاک از نقاط مختلف با استفاده از نمونه‌گیر تعیین شد.

### تبخیر-تعرق گیاه مرجع

در این پژوهش، تبخیر-تعرق گیاه مرجع با استفاده از رابطه فائو-پنمن-مونتیث توسط نرم‌افزار ET<sub>0</sub> Calculator محاسبه شد.

$$ET_0 = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma [890 (T + 273)] U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 U_2)} \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در این رابطه، ET<sub>0</sub> تبخیر و تعرق مرجع ( $\frac{\text{mm}}{\text{day}}$ )، R<sub>n</sub> تابش خالص در سطح زمین ( $\frac{\text{MJ}}{\text{m}^2 \text{ day}}$ )، R<sub>n</sub> متوسط دمای هوا در ارتفاع دو متری از سطح زمین ( $^{\circ}\text{C}$ )، e<sub>s</sub> - e<sub>a</sub> کمبود فشار بخار در ارتفاع دو متری (kPa)، Δ شیب منحنی فشار بخار ( $\frac{\text{kPa}}{^{\circ}\text{C}}$ )، γ ضریب ثابت سایکرومتری ( $\frac{\text{kPa}}{^{\circ}\text{C}}$ )، G شار گرما به داخل خاک ( $\frac{\text{MJ}}{\text{m}^2 \text{ day}}$ ) و U<sub>2</sub> متوسط سرعت باد در ارتفاع دو متری ( $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ ) هستند. به‌منظور به دست آوردن مقدار تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه می‌توان از ضریب گیاهی استفاده نمود.

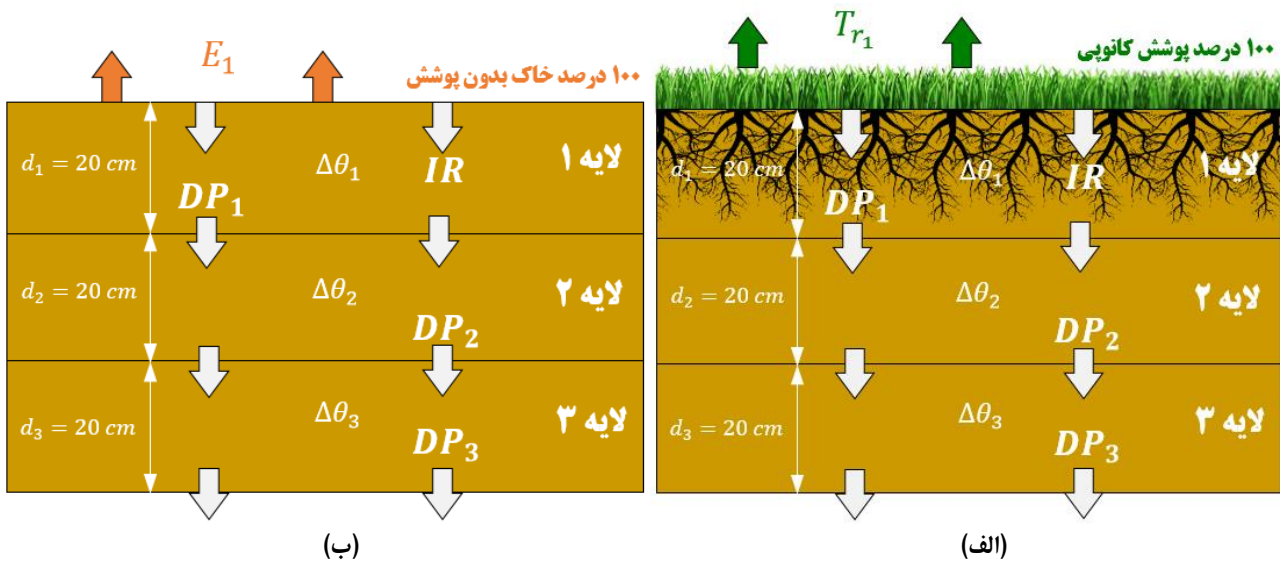
$$ET_p = K_c ET_0 = (K_{cb} + K_e) ET_0 \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در این رابطه،  $K_c$  ضریب گیاهی یک جزئی،  $K_{cb}$  ضریب گیاهی پایه و  $K_e$  ضریب تبخیر است. چنانچه از تساوی دوم در رابطه (۲) برای برآورد  $E_T$  استفاده شود، می‌توان تبخیر پتانسیل و تعرق پتانسیل را به طور جداگانه محاسبه نمود که به این روش تبخیر-تعرق دوجزئی گفته می‌شود (Allen et al., 1998).

فرانکینیا گیاهی همیشه سبز و مناسب مناطق گرمسیری کم آب و از تیره *Frankeniaceae* بوده و دارای گل‌های مجتمع و ریز است. این گیاه دارای برگ‌های قرمز یا صورتی رنگ بسیار کوچک و ۳ گوش است که در طول ساقه‌های کرک‌دار آن به وجود آمده است. فرانکینیا دارای ریشه قوی بوده و ساقه‌های آن رونده می‌باشد که به دلیل داشتن انعطاف در روی زمین می‌خوابند و پوشش ایجاد می‌کنند. اما به علت پاخوری کمتر آن نسبت به چمن، از کاشت آن در محل‌های پرتردد اجتناب می‌شود. رشد فرانکینیا در سرما کند شده و برگ و ساقه‌های آن به رنگ قرمز خیلی زیبا تغییر رنگ می‌دهند. این تغییر رنگ موقتی بوده و در بهار سال بعد دوباره با شروع رشد، برگ‌ها سبز می‌گردند. برای کشت این گیاه باید ساقه‌های آن را با قیچی چیده و به صورت جداگانه در گلدان نشاء کشت شود. این امر به دلیل وجود ساقه‌های نازک و انعطاف‌پذیر می‌باشد. در مرحله بعد آن را به زمین اصلی منتقل می‌کنند. شرایط کاشت و نگهداری این گیاه به صورتی است که باید در فصل بهار کاشته و نور کامل به آن برسد (سمیعان و همکاران، ۱۳۹۱).

#### مدل ساده جهت برآورد نیاز آبی گیاه فرانکینیا

در این پژوهش از یک مدل ساده سه لایه جهت برآورد نیاز آبی گیاه فرانکینیا استفاده شده است. مطابق شکل ۲ دو حالت خاک دارای پوشش گیاهی و خاک بدون پوشش در نظر گرفته می‌شود. در حالت اول فرض شده است که زمین کاملاً توسط پوشش گیاهی پوشیده شده و در حالت دوم تصور شده است که زمین به طور کامل شامل خاک بدون پوشش باشد. بنابراین، با صفر فرض نمودن تبخیر از خاک از زیر سطح سایه‌انداز ناچیز باشد (که فرضی مرسوم برای مدل‌های گیاهی و یا معادلات تبخیر - تعرق است)، رابطه محاسبه تعرق استخراج خواهد شد.



شکل ۲. پروفیل سه لایه خاک جهت محاسبه (الف) تعرق و (ب) تبخیر بدون استفاده از لایسیمتر

چنانچه برای این خاک سه لایه به صورت مجزا معادله بیان نوشته شود، خواهیم داشت.

$$\begin{cases} IR - T_{r1} - DP_1 = \Delta\theta_1 \\ DP_1 - T_{r2} - DP_2 = \Delta\theta_2 \\ DP_2 - T_{r3} - DP_3 = \Delta\theta_3 \end{cases} \quad \text{رابطه (۳)}$$

که در این رابطه،  $\Delta\theta$  تغییرات رطوبت (یا عمق معادل آب)  $[L]$ ،  $T_r$  تعرق  $[L]$ ،  $DP$  نفوذ عمقی  $[L]$  و  $IR$  مقدار بارش یا آبیاری زمین  $[L]$  است. همچنین زیروندهای ۱، ۲ و ۳ نشان‌دهنده شماره لایه خاک است. چنانچه در این خاک سه لایه تصور شود که ریشه گیاه

کم عمق بوده و صرفاً آب را از لایه اول برداشت می‌نماید ( $T_{r_2} = T_{r_3} = 0$ ) و نیز فرض شود که به دلیل آبیاری با دور کوتاه و به تبع آن عمق آبیاری کم نفوذ عمقی از لایه سوم ناچیز است ( $DP_3 = 0$ )، دستگاه معادلات (۳) مطابق رابطه (۴) ساده‌سازی می‌شود.

$$\begin{cases} T_{r_1} = IR - \Delta\theta_1 - DP_1 \\ DP_1 = \Delta\theta_2 + DP_2 \\ DP_2 = \Delta\theta_3 \end{cases} \quad \text{رابطه (۴)}$$

معادله اول در دستگاه معادلات (۴) صرفاً با حل نمودن معادله اول از دستگاه معادلات (۳) به دست آمده است. اکنون با قرار دادن روابط دوم و سوم از دستگاه معادلات (۴) در معادله اول از این دستگاه معادلات، خواهیم داشت.

$$T_{r_1} = IR - (\Delta\theta_1 + \Delta\theta_2 + \Delta\theta_3) \quad \text{رابطه (۵)}$$

که در این معادله مقدار تعرق گیاهی برای یک سطح دارای پوشش گیاهی می‌تواند با استفاده از سنجش رطوبت در لایه‌های مختلف خاک به‌همراه داشتن اطلاعات در مورد آبیاری و عمق بارش به دست آید. نکته قابل تأمل در مورد این رابطه این است که به دلیل عدم توانایی برای تعیین رطوبت در لایه‌های زیرین خاک با تفکیک مکانی بالا (لایه ۲ و ۳ که در این پژوهش به ترتیب برابر ۲۰-۴۰ و ۴۰-۶۰ سانتیمتر)، مطابق رابطه (۵)، خطای اندازه‌گیری به طور مستقیم در مقدار تعرق به دست آمده تأثیرگذار است. از طرفی، با توجه به اینکه فرض شد که در این پژوهش ریشه گیاه محدود به لایه اول است، برای تعیین مقدار آب آبیاری از رابطه (۶) استفاده می‌شود.

$$I = (\theta_{FC_1} - \theta_1) d_1 \quad \text{رابطه (۶)}$$

که در این رابطه،  $I$  عمق آبیاری،  $d_1$  عمق لایه اول (شکل ۲)،  $\theta_{FC_1}$  رطوبت حد ظرفیت زراعی در لایه اول و  $\theta_1$  رطوبت لایه اول در زمان داده‌برداری است. همچنین، خاطر نشان می‌شود که با توجه به کوتاه فرض نمودن فواصل آبیاری (حدوداً ۲۴ ساعت) انتظار می‌رود  $\theta_1$  از آستانه تخلیه مدیریتی (MAD) پایین‌تر نرود. با توجه به معادله (۶) می‌توان نتیجه گرفت که رطوبت در لایه‌های ۲ و ۳ به مرور زمان به مقدار ثابت و  $\Delta\theta_2$  و  $\Delta\theta_3$  به صفر میل می‌نمایند. بنابراین می‌توان معادله (۵) را مطابق معادله (۷) ساده‌سازی نمود.

$$T_{r_1} = IR - \Delta\theta_1 \quad \text{رابطه (۷)}$$

مزیت رابطه (۷) نسبت به رابطه (۵) در این است که  $\Delta\theta_1$  می‌تواند با تفکیک مکانی بالا و بدون نیاز به حفر چاهک‌های دسترسی با ابزار اندازه‌گیری غیر دفن‌شونده (مانند رطوبت‌سنج TDR-350) قابل اندازه‌گیری است. با استفاده از مدل مفهومی ارائه شده در شکل ۲-ب و با استفاده از استدلال‌های مشابه برای استخراج معادلات (۵) و (۷)، معادلات زیر برای کرت‌های بدون پوشش به دست می‌آید.

$$E_1 = IR - (\Delta\theta_1 + \Delta\theta_2 + \Delta\theta_3) \quad \text{رابطه (۸)}$$

$$E_1 = IR - \Delta\theta_1 \quad \text{رابطه (۹)}$$

روابط (۸) و (۹) برای کرت‌های بدون پوشش و برای محاسبه تبخیر از سطح خاک (لایه اول خاک) ارائه شده و به لحاظ اعتبار به ترتیب معادل با روابط (۵) و (۷) هستند. ذکر این نکته ضروری است که با توجه به دستورالعمل‌های Allen et al. (1998)، جزء تبخیر در روش ضریب گیاهی دو جزئی صرفاً از لایه سطحی خاک (با عمقی بین ۱۰-۱۵ cm) انجام می‌شود. در پژوهش حاضر، به دلیل محدودیت در پروب‌های دستگاه TDR-350، این لایه ۲۰ سانتیمتری در نظر گرفته شد. بعلاوه، مدل حاضر توانایی محاسبه تبخیر و تعرق تفکیک مکانی مختلف در عمق را نیز داراست.

## یافته‌های پژوهشی و بحث

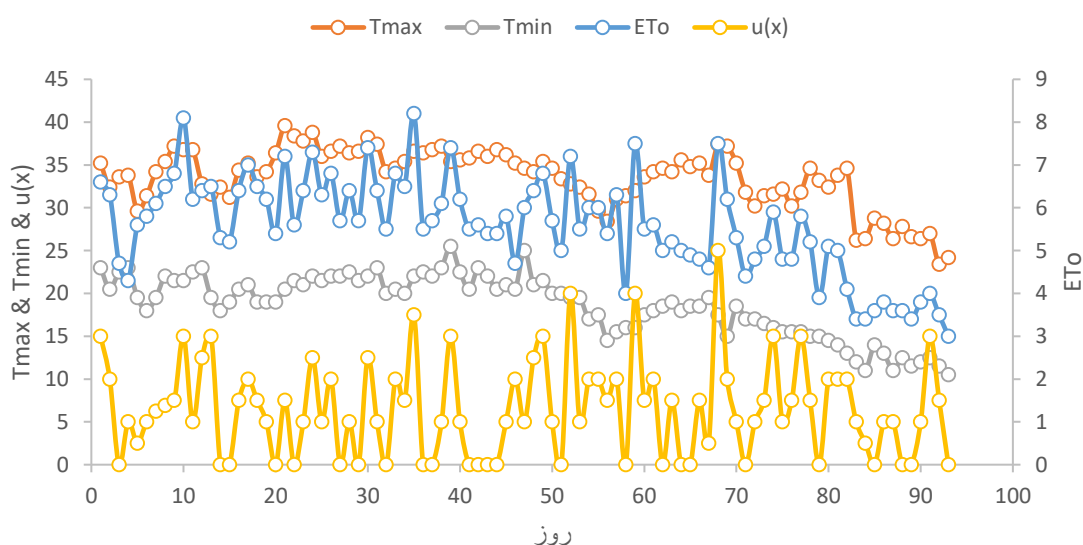
چنانچه پیش از این ذکر شد، ویژگی‌های فیزیکی خاک با نمونه‌گیری از سه چاهک صورت گرفت. ویژگی‌های فیزیکی لایه‌های این خاک

در **Error! Reference source not found.** ارائه شده است. نتایج آزمایش‌های تعیین حد ظرفیت زراعی، مقدار  $22.5 \pm 1 \frac{\text{cm}^3}{\text{cm}^3}$  را نشان داد. علت اختلاف غیرمتعارف هدایت هیدرولیکی در اعماق مختلف، وجود ترک در لایه‌های مختلف است.

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی خاک منطقه مورد مطالعه به تفکیک لایه‌های خاک ( $p_b$ : چگالی ظاهری،  $K_s$ : هدایت هیدرولیکی اشباع)

عمق (cm)	کلاس بافت	شن (%)	سیلت (%)	رس (%)	$\rho_b$ ( $\frac{g}{\text{cm}^3}$ )	$K_s$ ( $\frac{\text{cm}}{\text{day}}$ )
۰-۲۰	لوم رسی سیلتی	۱۴/۸	۵۰/۵	۳۴/۷	۱/۴	۳۴/۸
۲۰-۴۰	لوم رسی سیلتی	۱۷/۶	۴۹/۵	۳۲/۹	۱/۴	۱۰/۳
۴۰-۶۰	لوم رسی سیلتی	۱۷/۶	۴۸/۴	۳۴/۰	۱/۴	۹/۴

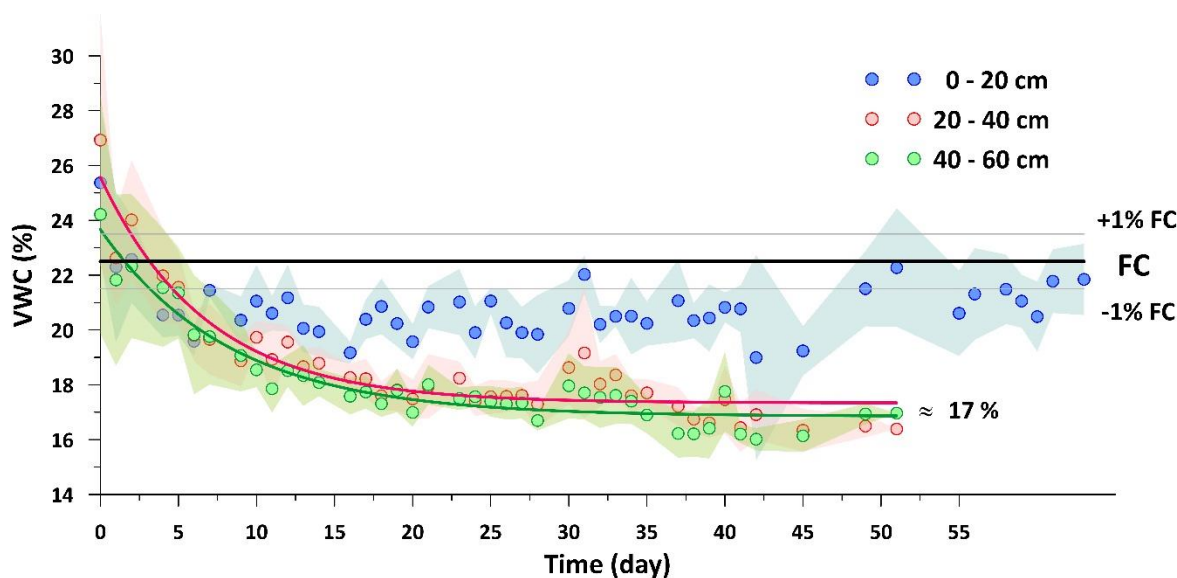
شکل ۳ تغییرات داده‌های مختلف اقلیمی در طول دوره اندازه‌گیری را نشان می‌دهد.



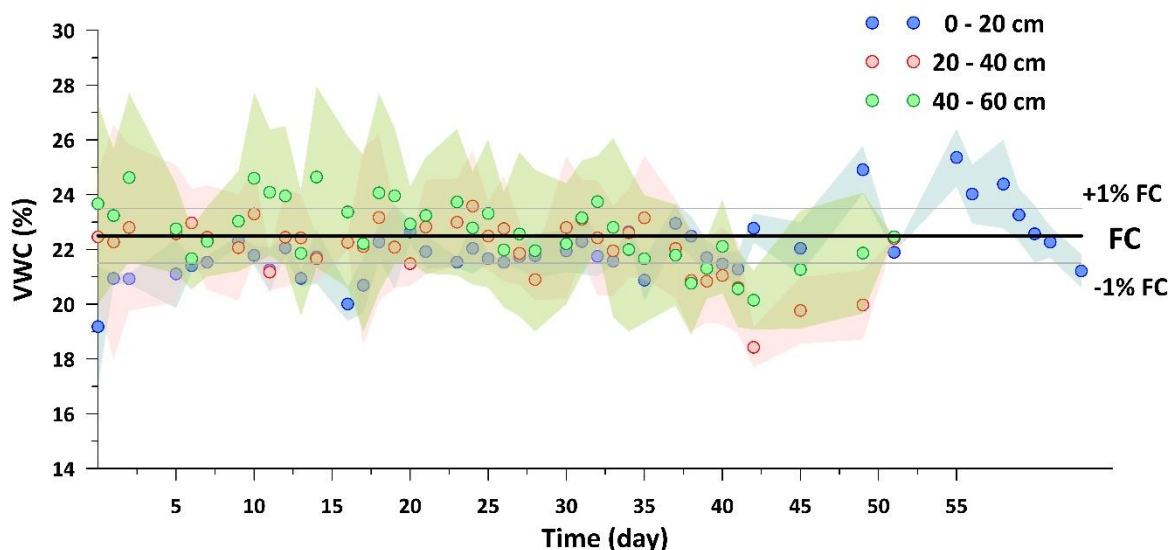
شکل ۳. تغییرات داده‌های اقلیمی برای محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع و پتانسیل

شکل ۴ تغییرات میانگین رطوبت در سه لایه ۰-۲۰، ۲۰-۴۰ و ۴۰-۶۰ سانتی‌متری خاک در شش کرت پوشیده از گیاه فرانکینیا (شکل ۴-الف) و سه کرت‌های بدون پوشش (شکل ۴-ب) را به همراه انحراف معیار اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهد. ذکر این نکته ضروری است که اندازه‌گیری‌های رطوبتی قبل از هر بار آبیاری صورت گرفته است. پس از اندازه‌گیری، کمبود رطوبت نسبت به حد ظرفیت زراعی و در نتیجه مقدار حجم آب مورد نیاز برای هر کرت به صورت جداگانه محاسبه و به صورت یکنواخت در سطح کرت اعمال شد. چنانچه در شکل ۴-الف مشاهده می‌شود، رطوبت در لایه ۰-۲۰ سانتی‌متری در تمامی طول دوره رشد در نزدیکی حد ظرفیت زراعی ( $22.5 \pm 1 \frac{\text{cm}^3}{\text{cm}^3}$ ) ننگه داشته شد. این نمودار نشان می‌دهد که در طول دوره آزمایش، نیاز آبی با دقت مناسبی برآورد و اعمال شده است. بعلاوه، رطوبت لایه‌های ۲۰-۴۰ و ۴۰-۶۰ سانتی‌متری نشان می‌دهد. برای مشاهده بهتر تغییرات رطوبت در این دو لایه، روند تغییرات از طریق برازش منحنی با مجانب افقی نشان داده شده است. چنانچه مشخص است، در این دو لایه رطوبت حجمی به مقدار ۱۷ درصد میل نموده و پس از حدود ۳۰ روز روند ثابتی را طی می‌نماید. این امر نشان می‌دهد که فرض‌های انجام شده در استخراج معادلات تا حد قابل قبولی رعایت شده است. زیرا در صورت عدم رعایت شرایط مذکور، باید رطوبت در لایه‌های پایینی دارای نوسانات چشمگیرتری می‌شد. چنانچه در شکل ۴-الف مشاهده می‌شود، تغییرات رطوبت در لایه ۰-۲۰ سانتی‌متری به مدت بیشتری نمونه‌گیری شده است. علت این امر، سخت شدن لایه‌های پایینی به دلیل از دست دادن رطوبت و عدم امکان نفوذ پروب‌های TDR-350 بود؛ هر چند که این امر با توجه به فرضیات ارائه شده در استخراج معادله ۷، تأثیری در محاسبه تعرق با استفاده از روش کنونی ندارد.





(الف)



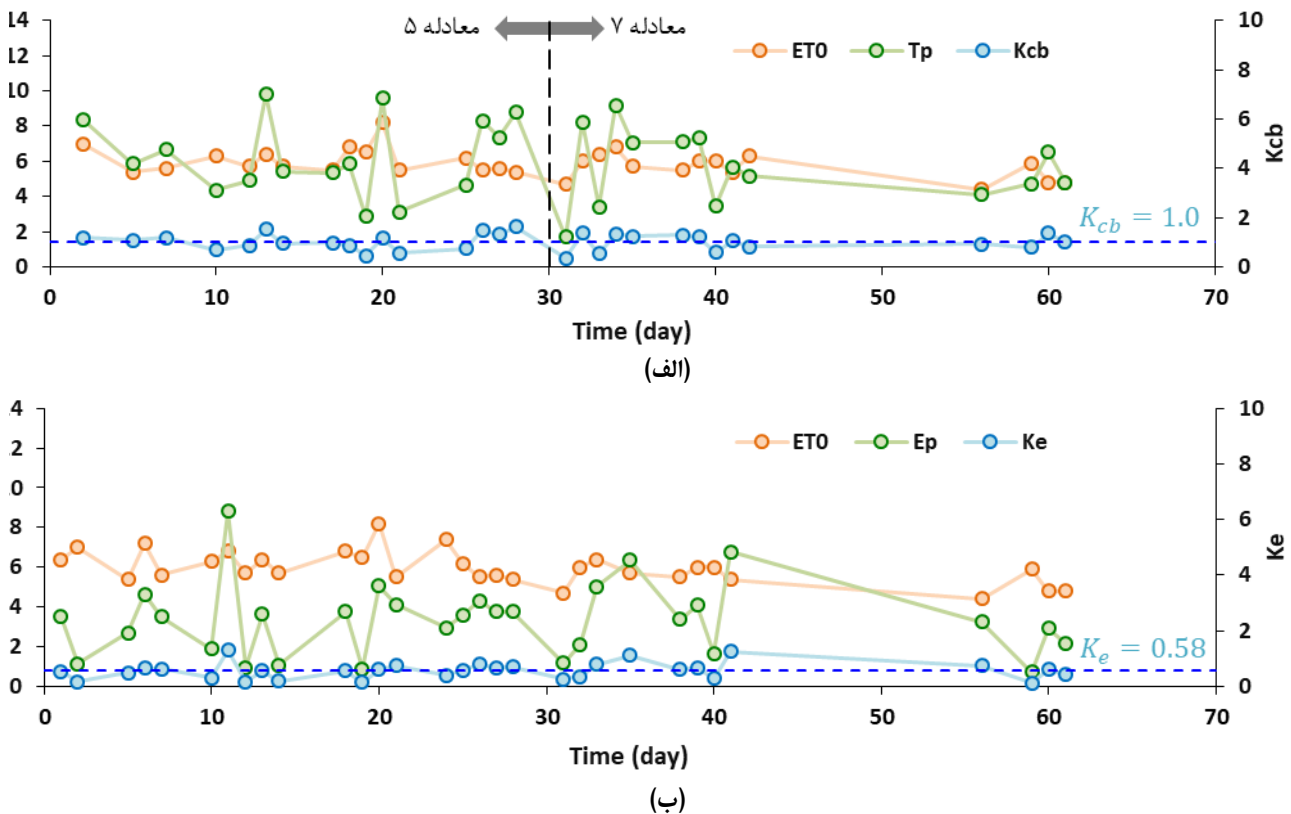
(ب)

شکل ۴. تغییرات رطوبت حجمی در سه لایه خاک در (الف) کرت‌های پوشیده از گیاه فرانکینیا و (ب) کرت‌های تبخیر (نوارهای رنگی انحراف معیار داده‌های اندازه‌گیری را نشان می‌دهد)

از طرف دیگر، در شکل ۴-ب مشاهده می‌گردد که تغییرات رطوبت در کرت‌های بدون پوشش روند متفاوتی را طی می‌نماید. در این کرت‌ها نیز مشاهده می‌شود که رطوبت در لایه‌های مختلف خاک در حد ظرفیت زراعی نگه داشته شده است. تفاوت اصلی در شکل ۴-ب با ۴-الف، عدم مشاهده همگرا شدن روند رطوبت در لایه‌های ۲۰-۴۰ و ۴۰-۶۰ سانتیمتری است. علت اصلی این امر را می‌توان در جریان ترجیحی در درز و ترک‌های احتمالی خاک دانست. انجام آزمایش در فصل گرم سال از یک سو و وجود لایه‌های خاک با بافت نسبتاً سنگین از سوی دیگر امکان وجود جریان ترجیحی را در کرت‌های بدون پوشش افزایش می‌دهد. این در حالی است که در کرت‌های پوشیده از فرانکینیا، بدلیل وجود سطح سایه‌انداز و ریشه زنده گیاه، خاک دارای انسجام بهتری بوده و احتمال وجود جریان کمتری است.

شکل ۵ تغییرات تبخیر-تعرق گیاه مرجع، ضریب گیاهی پایه ( $K_{cb}$ )، ضریب تبخیر، تعرق و تبخیر پتانسیل را در طول فصل نشان می‌دهد. ذکر این نکته ضروری است که در شکل ۵-الف و ب برای محاسبه تعرق پتانسیل در ۳۰ روز ابتدایی از رابطه (۵) و در ادامه از رابطه (۷) استفاده شده است، اما برای محاسبه تبخیر به دلیل عدم همگرا شدن رطوبت در لایه‌های پایینی به مقداری ثابت، در تمام طول دوره رشد از معادله (۸) استفاده شده است. با توجه به اینکه در کرت‌های پوشیده از فرانکینیا در لایه ۰-۲۰ سانتیمتر که ریشه در آن واقع

است، در تمامی طول آزمایش رطوبت در نزدیکی حد ظرفیت زراعی قرار دارد، تعرق به دست آمده توسط معادلات (۵) و (۷) برابر با تعرق پتانسیل است (شکل ۵-الف). چنانچه تعرق پتانسیل ( $T_p$ ) در هر روز بر تبخیر-تعرق گیاه مرجع تقسیم شود، مقدار ضریب گیاهی پایه به دست خواهد آمد. با توجه به شکل ۵-الف، این ضریب در طول فصل برای گیاه فرانکینیا به عنوان یک گیاه با ریشه کم عمق به طور متوسط برابر با ۱ است. با توجه به اینکه آزمایش در زمان استقرار گیاه انجام شده است، تغییرات ضریب گیاهی در تمامی طول دوره اندک است. همچنین، بدلیل پوشش کامل تمامی کرت‌ها در طول دوره اندازه‌گیری‌ها و این نکته که در دستورالعمل (Allen et al. 1998) تبخیر صرفاً از سطح خاک خیس و در معرض هوا<sup>۱</sup> انجام می‌شود، ضریب گیاهی پایه در این کرت‌ها برابر با ضریب گیاهی تک‌جزئی ( $K_c$ ) است. به منظور بررسی اثر محاسبه ضریب گیاهی پایه با استفاده از معادله (۵) و (۷)، این مقدار در زمان ۰-۳۰ روز (پیش از همگرا شدن رطوبت لایه‌های خاک به رطوبت ثابت) و از زمان ۳۰ روز تا انتهای دوره آزمایش به طور جداگانه محاسبه شد. برای این دو دوره ضریب گیاهی به ترتیب برابر با ۱/۰۴ و ۰/۹۹ به دست آمد. بنابراین، این رابطه (۵) برای شرایط طولانی مدت می‌تواند بدون از دست دادن اطلاعات عمل نموده و از حجم اندازه‌گیری‌ها به طور چشمگیری بکاهد.



شکل ۵. تغییرات رطوبت حجمی در سه لایه خاک در (الف) کرت‌های پوشیده از گیاه فرانکینیا و (ب) کرت‌های بدون پوشش

در شکل ۵-ب جزء تبخیر با استفاده از اندازه‌گیری‌های کرت‌های بدون پوشش به دست آمده است. چنانچه مشاهده می‌شود، این مقدار به طور متوسط در طول دوره آزمایش برابر با ۰/۵۸ بوده و تغییرات آن نیز در طول این دوره اندک است. با استفاده از ضرایب گیاهی پایه و ضریب تبخیر می‌توان برای اراضی با پوشش‌های تنک که توسط گیاه فرانکینیا کشت شده‌اند برنامه‌ریزی آبیاری انجام داد. در پژوهش (Charalambous et al. 2019) مقدار ضریب گیاهی تک‌جزئی برای گیاه فرانکینیا برابر با ۱ در نظر گرفته شد که با مقدار ضریب گیاهی به دست آمده در این پژوهش کاملاً تطبیق دارد.

## نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این پژوهش، یک الگوریتم ساده برای محاسبه تبخیر و تعرق گیاه‌های پوششی با ریشه کم عمق ارائه شده است. مزیت اساسی این

الگوریتم عدم نیاز به لایسیمتری و ابزار وزنی برای تبخیر و تعرق است. همچنین، این الگوریتم می‌تواند ضرایب گیاهی پایه و ضریب تبخیر را نیز ارائه نماید. نتایج این پژوهش نشان داد که با استفاده از این الگوریتم ضریب گیاهی پایه برای گیاه فرانکینیا برابر با ۱ به دست آمده که با پژوهش‌های پیشین در تطابق است. همچنین، نتایج نشان داد که در کرت‌های با پوشش کامل می‌توان پس از همگرا شدن رطوبت در لایه‌های غیر سطحی صرفاً از رطوبت‌سنجی لایه سطحی استفاده نموده و تغییر محسوسی در ضریب گیاهی پایه مشاهده نگردید. ذکر این نکته ضروری است که در آزمایش مذکور تغییرات رطوبت در لایه‌های زیرسطحی کرت‌های بدون پوشش مانند کرت‌های فرانکینیا دارای همگرایی نبود. ضریب تبخیر نیز برابر با ۰/۵۸ به دست آمد. روش ارائه شده می‌تواند توسط محققین برای تعیین نیاز آبی گیاهان پوششی به‌منظور تدقیق برنامه‌ریزی آبیاری مورد استفاده قرار گیرد.

## سپاس‌گزاری

این پژوهش حاصل طرح پژوهشی است. نویسندگان این پژوهش بر خود لازم می‌دانند از مساعدت و همکاری مسئولین مجموعه آزمایشگاه‌های علوم و مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد تشکر و قدردانی نمایند.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

## منابع

بارانی، جمال حسن، مظلومی، محمدرضا، وفایی، مجید، احمدیان، ملیحه، قربان‌زاده، سعید، حسنی، عاطفه، حسین‌زاده، مجید، غیور باغبانی، سمانه، ۱۳۹۷، برنامه عملیاتی میان‌مدت شهرداری مشهد ۱۳۹۷-۱۴۰۰، شابک ۱-۱۹۹-۳۷۰-۶۰۰-۹۷۸، صص ۱-۲۴۵.  
انصاری، حسین، شریفان، حسین، داوری، کامران. (۱۳۸۸). اصول و عملیات آبیاری عمومی. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. مشهد.

## REFERENCES

- Ahmadaali, K., Rahimi, H., & Etemad, V. (2021). Effect of Soil Texture and Different Levels of Irrigation Amount on Water Requirement and Crop Coefficient of *Melia azedarach* L. in Karaj Area. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51(12), 3195-3205.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. *Fao, Rome*, 300(9), D05109.
- Ansari, H., Sharifan, H., Davary, K. (2009). *General irrigation principles and operations*. Jahad Daneshgahi Publications. (in persian)
- Asgari, M., Javanmiri Pour, M., Etemad, V., Liaghat, A., & Zare, S. (2021). Estimation of Water Requierments of *Acer Negundo* and *Pinus Eldarica* Medw. in Field and Green House (Case Study: Robot Karim Town). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 52(10), 2581-2594.
- Barani, J.H., Mazloomi, M., Vafaei, M., Ahmadian, M., Ghorbanzade, S., Hasani, A., Hosseinzade, M., Ghayur Baghbani, S. (2018). Mid-term operational plan of Mashhad Municipality 1397-1400. (in persian)
- Barikani, E., Ahmadian, M., & Khaliliyan, S. (2011). Optimal sustainable use of groundwater in agricultural sector: Case Study Subsector in Qazvin Basin. *Journal of Agricultural Economics and Development*, 25(2).
- Charalambous, K., Bruggeman, A., Eliades, M., Camera, C., & Vassiliou, L. (2019). Stormwater retention and reuse at the residential plot level—green roof experiment and water balance computations for long-term use in cyprus. *Water*, 11(5), 1055.
- Ebrahimipak, N., Tafteh, A., Abbasi, F., & Baghani, J. (2023). Comparing the amount of sugar beet irrigation water using the NIAZAB system and field measurement.
- Braun, R. C., Bremer, D. J., Ebdon, J. S., Fry, J. D., & Patton, A. J. (2022). Review of cool-season turfgrass water use and requirements: I. Evapotranspiration and responses to deficit irrigation. *Crop Science*, 62(5), 1661-1684.
- Liu, Z. (2022). Estimating land evapotranspiration from potential evapotranspiration constrained by soil water at daily scale. *Science of the Total Environment*, 834, 155327
- Kirkham, M. (2023). *Principles of Soil and Plant Water Relations*. Netherlands: Elsevier Science.
- Litvak, E., Manago, K. F., Hogue, T. S., & Pataki, D. E. (2017). Evapotranspiration of urban landscapes in Los Angeles, California at the municipal scale. *Water Resources Research*, 53(5), 4236-4252.
- Niu, G., Rodriguez, D. S., Cabrera, R., McKenney, C., & Mackay, W. (2006). Determining water use and crop



- coefficients of five woody landscape plants. *Journal of Environmental Horticulture*, 24(3), 160-165.
- Nouri, H., Beecham, S., Hassanli, A. M., & Kazemi, F. (2013). Water requirements of urban landscape plants: A comparison of three factor-based approaches. *Ecological Engineering*, 57, 276-284.
- Pakparvar, M., Cornelis, W., Pereira, L. S., Gabriels, D., Hosseinimarandi, H., Edraki, M., & Kowsar, S. A. (2014). Remote sensing estimation of actual evapotranspiration and crop coefficients for a multiple land use arid landscape of southern Iran with limited available data. *Journal of Hydroinformatics*, 16(6), 1441-1460.
- Pannkuk, T. R., White, R. H., Steinke, K., Aitkenhead-Peterson, J. A., Chalmers, D. R., & Thomas, J. C. (2010). Landscape coefficients for single-and mixed-species landscapes. *HortScience*, 45(10), 1529-1533.
- Pooya, E. S., Tehranifar, A., Shoor, M., Selahvarzi, Y., & Ansari, H. (2013). The use of native turf mixtures to approach sustainable lawn in urban landscapes. *Urban forestry & urban greening*, 12(4), 532-536.
- Saher, R., Stephen, H., & Ahmad, S. (2021). Urban evapotranspiration of green spaces in arid regions through two established approaches: A review of key drivers, advancements, limitations, and potential opportunities. *Urban Water Journal*, 18(2), 115-127.
- Samieiani, E., Ansari, H., Azizi, M., Hashemi-Nia, S. M., & Salahvarzi, Y. (2013). Effects of drought stress on some biochemical indices of four groundcovers (*Lolium perenne*, *Potentilla* spp, *Trifolium repens* and *Frankenia* spp) with potential usage in landscape. *Journal of Soil and Plant Interactions-Isfahan University of Technology*, 4(3), 101-110.

## A simple algorithm for estimation of water requirement of shallow-rooted landscape cover crops independent of lysimeters. Case study: *Frankenia*

### EXTENDED ABSTRACT

#### Introduction

Water scarcity presents an acute global challenge, with significant impacts on countries in the arid zone, where urban green spaces offer essential benefits for air quality and recreation but also exacerbate water consumption demands. Precise quantification of urban green space water requirement is crucial for optimizing water management strategies. Conventional approaches for estimating evapotranspiration (ET) of cover crops frequently necessitate the use of costly and labor-intensive lysimeters. This study proposes a novel, readily applicable method for ET estimation, requiring solely soil moisture measurements at three distinct depths. This characteristic makes the presented approach particularly advantageous for researchers and urban green space managers.

#### Methods

The study was conducted at the Educational Site for Irrigation Systems at Ferdowsi University of Mashhad (FUM), Iran. Six experimental plots of 2 m x 2 m size were established and cultivated with *Frankenia laevis*, a shallow-rooted cover crop frequently employed in urban landscape design. To obtain the transpiration component of evapotranspiration, three additional plots, prepared and maintained identically to the planted plots, served as plots for evaporation monitoring. This allowed for the differentiation between water loss solely due to evaporation from the soil surface and the combined effect of evaporation and crop transpiration in the planted plots. *Frankenia laevis* seedlings were planted at a consistent density across all plots, and a precise irrigation delivered controlled water amounts based on calculated requirement. Soil moisture measurements, utilizing a FieldScout® TDR-350 device for accuracy and reliability, were taken at three depths (0-20 cm, 20-40 cm, and 40-60 cm) in each plot, capturing moisture dynamics within the root zone and deeper layers. Measurements were conducted at regular intervals throughout the growing season, and the meticulously collected data was analyzed using established equations and models to estimate evapotranspiration (ET), base crop coefficient (K<sub>cb</sub>), and evaporation coefficient (K<sub>e</sub>).

#### Results

The study observed consistent soil moisture levels near field capacity within the top 0-20 cm layer of the *Frankenia laevis* plots throughout the growing season, substantiating the efficacy of the implemented irrigation regime. These findings highlight the capacity of the method for accurate assessment of shallow-rooted crop water requirement. At greater depths (20-40 cm and 40-60 cm), soil moisture exhibited initial fluctuations as the root system adapted. However, following a period of approximately 30 days, both layers exhibited a notable convergence towards a stable moisture level. This observed convergence aligns with the study's initial hypothesis, which suggested limited root activity beyond a depth of 20 cm. The observed stabilization of soil moisture in deeper layers simplifies long-term monitoring and provides further support for the suitability of the proposed approach for ET estimation in similar shallow-rooted plant systems. Further analysis revealed a base crop coefficient (K<sub>cb</sub>) for *Frankenia laevis* approaching 1.0. These results align with previous studies on comparable cover crops, further supporting the method's effectiveness in capturing plant-specific water utilization patterns. Moreover, the calculated evaporation coefficient (K<sub>e</sub>) of 0.58 offers valuable insights into the relative contributions of soil evaporation and plant transpiration within the overall ET process.

#### Conclusion

This research effectively presents a straightforward and reliable method for estimating ET in shallow-rooted cover crops such as *Frankenia laevis*. Our method offers several key advantages, making it a valuable tool for researchers and urban green space managers. Unlike traditional approaches that rely on expensive and time-consuming lysimeters, our method utilizes readily available and affordable soil moisture measurements, significantly reducing the cost and complexity of water use monitoring. More clearly, the method focuses on measurements at three key depths, providing a comprehensive understanding of soil moisture dynamics while maintaining practicality and time efficiency. This investigation, by presenting a reliable and cost-effective method for ET estimation in urban green spaces, holds the potential to significantly enhance water management practices within urban environments. Such improvements could contribute to the overall sustainability and environmental benefits associated with these crucial components of our urban landscapes.

**Keywords:** Evapotranspiration, Crop Coefficient, Irrigation, Landscape.