



Estimation of water requirement and crop coefficients for Elephant Grass (*Pennisetum purpureum* Schumach.) using lysimetric method

Soheila Farzi^{1✉}, Houshang Ghamarnia^{2✉}, and Farrokh Kafilzadeh³

1. Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran. Email: soheilafarzi@yahoo.com
2. Corresponding author, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran. Email: hghamarnia@razi.ac.ir
3. Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran. Email: kafilzadeh@razi.ac.ir

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received 07 December 2024

Received in revised form 14 March 2025

Accepted 14 April 2025

Available online 22 June 2025

Keywords:

evapotranspiration,
crop coefficients,
Elephant Grass,
lysimeter.

ABSTRACT

Objective: This study aimed to accurately estimate the water requirement of elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schumach.) and determine its crop coefficients at different growth stages over two agricultural years (2021 and 2022) using lysimetric condition under field condition.

Method: Nine drainage lysimeters were used to measure actual evapotranspiration (ET_c). Reference crop evapotranspiration (ET_o) was calculated using the Penman-Monteith equation and meteorological data. Crop coefficients (K_c) were determined at four different growth stages: initial, development, mid-season, and late-season.

Results: The results showed that the two-year average for reference crop evapotranspiration and actual evapotranspiration during the growing season were 1092.08 mm and 1435.57 mm, respectively. The crop coefficient was calculated as the ratio of actual evapotranspiration to reference evapotranspiration throughout the growth period. The average single crop coefficients for the different growth stages were 0.91, 1.23, 1.54, and 1.05 for the initial, development, mid-season and late-season stages, respectively. The estimation of crop coefficients revealed that the highest K_c value occurred during the mid-season stage, while the lowest values were recorded during the initial and late-season stages.

Conclusions: This information can be utilized for irrigation planning and optimizing water management for elephant grass cultivation. The findings of this study assist farmers and water resources managers in adjusting irrigation patterns, reducing water consumption, and enhancing water use efficiency.

Cite this article: Farzi, S., Ghamarnia, H., & Kafilzadeh, F. (2025). Estimation of water requirement and crop coefficients for Elephant Grass (*Pennisetum purpureum* Schumach.) using lysimetric method. *Advanced Technologies in Water Efficiency*, 5 (2), 53-71. <https://doi.org/10.22126/atwe.2025.11737.1154>



© The Author(s)

<https://doi.org/10.22126/atwe.2025.11737.1154>

Publisher: Razi University.

Introduction

Optimal water resources management is one of the major challenges in arid and semi-arid regions. Given that more than 90% of renewable water resources in Iran are consumed in the agricultural sector, low irrigation efficiency has led to significant water loss. Elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schumach.), as a valuable forage crop, plays a crucial role in providing livestock feed and enhancing agricultural productivity. However, sufficient information on its water requirements and crop coefficients in Iran and globally is not available. The objective of this study is to estimate the water requirement and crop coefficients of elephant grass under lysimetric conditions over two agricultural years (2021 and 2022). This study aims to accurately estimate the evapotranspiration of elephant grass and determine its crop coefficients at different growth stages. The findings of this research can contribute to irrigation planning, optimizing water consumption, and improving forage yield.

Method

The experiments were conducted at the Lysimetric Research Station of the Faculty of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah. A total of 9 drainage lysimeters with a diameter of 1.2 meters and a depth of 1.4 meters were used to measure actual evapotranspiration (ET_c) and determine crop coefficients (K_c). Reference evapotranspiration (ET_o) was calculated using the Penman-Monteith equation and meteorological data. The values of actual evapotranspiration (ET_c) were measured based on the soil water balance approach in the lysimeters, and crop coefficients (K_c) were determined for four different growth stages.

Results

The two-year average reference evapotranspiration (ET_o) and actual evapotranspiration (ET_c) for elephant grass were 1092.08 mm and 1435.57 mm, respectively. The average single crop coefficient (K_c) for different growth stages was as follows: Initial stage: 0.91, Development stage: 1.23, Mid-season stage: 1.54 and Late-season stage: 1.05. The results indicated that the K_c value peaked during the mid-season stage and was lowest during the initial and late-season stages. Additionally, variations in reference evapotranspiration and actual evapotranspiration throughout the growing season demonstrated that the water requirement of elephant grass increases with leaf expansion and biomass growth.

Conclusions

The estimation of crop coefficients and water requirements of elephant grass in this study demonstrated that precise irrigation planning and improved water resource management can optimize water consumption. The findings of this research can be useful in designing efficient irrigation systems and enhancing agricultural water productivity in arid and semi-arid regions.

Author Contributions

All authors contributed equally to the conceptualization of the article and writing of the original and subsequent drafts.

Data Availability Statement

Data Availability Statement

Ethical Considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Funding

Not applicable.

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest.



برآورد نیاز آبی و ضرایب گیاهی علف فیل (*Pennisetum purpureum* Schumach.) به روش

لایسیمتری

سهیلا فرزی^۱، هوشنگ قمرنیا^۲، و فرخ کفیلزاده^۳

۱. گروه مهندسی آب، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: soheilafarzi@yahoo.com

۲. نویسنده مسئول، گروه مهندسی آب، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: hghamarnia@razi.ac.ir

۳. گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: kafilzadeh@razi.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	هدف: در این مطالعه به برآورد دقیق نیاز آبی علف فیل (<i>Pennisetum purpureum</i> Schumach.) و تعیین ضرایب گیاهی آن در مراحل مختلف رشد در دو سال زراعی ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ با استفاده از روش لایسیمتری در محیط مزرعه پرداخته شد.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۱۷	روش پژوهش: برای اندازه گیری تبخیر و تعرق واقعی (ETc) گیاه از ۹ واحد لایسیمتر زهکش دار استفاده شد. تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ETo) با استفاده از معادله پنمن مانیت و داده های هواشناسی محاسبه شد. ضرایب گیاهی (Kc) در چهار مرحله رشد گیاه شامل مراحل ابتدایی، توسعه، میانی و پایانی تعیین گردید.
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۲/۲۴	یافته ها: نتایج نشان داد که میانگین دوساله تبخیر و تعرق گیاه مرجع و تبخیر و تعرق گیاه علف فیل در فصل رشد به ترتیب ۱۰۹۲/۰۸ و ۱۴۳۵/۵۷ میلی متر است. ضریب گیاهی از نسبت تبخیر - تعرق گیاه به تبخیر - تعرق گیاه مرجع در طول دوره رشد محاسبه گردید. متوسط ضریب گیاهی منفرد برای مراحل مختلف رشد اولیه، توسعه، میانی و پایانی به ترتیب ۰/۹۱، ۱/۲۳، ۱/۵۴ و ۱/۰۵ به دست آمد. برآورد ضرایب گیاهی نشان داد که بیشترین مقدار Kc در مرحله میانی رشد و کمترین مقدار در مرحله ابتدایی و پایانی رخ می دهد.
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۲۵	نتیجه گیری: این اطلاعات می تواند در برنامه ریزی آبیاری و مدیریت بهینه مصرف آب برای کشت علف فیل مورد استفاده قرار گیرد. نتایج این پژوهش به کشاورزان و مدیران منابع آب کمک می کند تا با تنظیم الگوی آبیاری، مصرف آب را کاهش داده و بهره وری را افزایش دهند.
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۴/۰۱	
کلیدواژه ها: تبخیر و تعرق، ضرایب گیاهی، علف فیل، لایسیمتر.	

استناد: فرزی، سهیلا؛ قمرنیا، هوشنگ؛ و کفیلزاده، فرخ. (۱۴۰۴). برآورد نیاز آبی و ضرایب گیاهی علف فیل (*Pennisetum purpureum* Schumach.) به روش لایسیمتری. فناوری های پیشرفته در بهره وری آب، ۵ (۲)، ۷۱-۵۳.

http://doi.org/10.22126/atwe.2025.11737.1154



مقدمه

حدود ۷۰ درصد از سطح زمین از آب به عنوان منبعی اساسی برای زندگی انسان تشکیل شده است. با این وجود تنها ۰/۰۱۵ درصد از منابع آب موجود در رودخانه‌ها و دریاچه‌ها وجود دارد، در حالی که ۹۶/۵ درصد آن در دریاها و اقیانوس‌ها قرار دارد. مطالعات نشان داده است که در حال حاضر تقاضای جهانی برای آب سالانه ۴۶۰۰ کیلومتر مکعب است و پیش بینی شده است به دلیل افزایش جمعیت تا سال ۲۰۵۰ به ۵۵۰۰ تا ۶۰۰۰ کیلومتر مکعب در سال برسد (العدوس و همکاران^۱، ۲۰۲۴؛ تشتوش و همکاران^۲، ۲۰۲۳ و بورتی و روژا^۳، ۲۰۱۹). در دو دهه‌ی پیش رو علاوه بر مسئله‌ی افزایش جمعیت، عواملی نظیر توسعه‌ی اقتصادی و تغییر الگوهای مصرف نیز از دلایل افزایش قابل توجه تقاضای آب در بخش‌های صنعت، خانگی و کشاورزی خواهد بود که تقاضای کشاورزی همچنان بزرگترین خواهد بود (گزارش توسعه منابع آب جهانی^۴، ۲۰۱۸؛ رفیعی سردویی و همکاران^۵، ۲۰۲۴).

بخش کشاورزی با برداشت ۷۰ درصدی از منابع آب شیرین در جهان به عنوان یکی از بزرگترین مصرف‌کنندگان آب شناخته شده است (سیلوا و همکاران^۶، ۲۰۲۴). با این وجود می‌توان گفت مشکل کمبود آب در مناطق خشک و نیمه خشک جهان که به دلایلی نظیر بارش کم، تبخیر بالا و دماهای بالا که با رشد جمعیت، افزایش فعالیت‌های انسانی مانند برداشت بیش از حد از آب‌های زیرزمینی و روش‌های ناکارآمد آبیاری تشدید می‌گردد؛ یک مشکل جدی محسوب می‌شود (رفیعی سردویی و همکاران، ۲۰۲۴). باتوجه‌به تمام مباحث گفته شده درمی‌یابیم که کشور خشک و نیمه خشک ایران با متوسط بارندگی ۲۲۰ میلی‌متر در سال به دلایلی نظیر برنامه‌های ناپایدار توسعه اقتصادی، کشاورزی ناکارآمد (راندمان پایین)، تغییر اقلیم و خشکسالی‌های مکرر و به تبع آن تغییر ویژگی‌های مکانی و زمانی بارش و محدود کردن منابع آب‌های تجدیدپذیر از طریق حفر چاه‌های غیرمجاز، با بحران شدید آب روبروست (مغربی و همکاران^۷، ۲۰۲۲، کریمی و همکاران^۸، ۲۰۱۸؛ قمرنیا و همکاران^۹، ۲۰۲۱؛ مقیمی و همکاران^{۱۰}، ۲۰۲۱). از طرفی بررسی‌ها نشان می‌دهد که بیش از ۹۰ درصد از منابع آب تجدیدپذیر در کشور در بخش کشاورزی مصرف شده، اما به دلیل راندمان پایین آبیاری، حدود ۵۰ تا ۶۰ درصد از منابع آب تجدیدپذیر در بخش کشاورزی از بین رفته و باعث کاهش بهره‌وری آب کشاورزی شده است (مغربی و همکاران، ۲۰۲۲؛ میرزایی و همکاران^{۱۱}، ۲۰۱۹؛ فرامرزی و همکاران^{۱۲}، ۲۰۱۰).

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

باتوجه‌به نکات گفته شده و از آنجایی که بخش عمده‌ای از منابع آب ایران برای کشاورزی مصرف می‌شود، اطلاعات دقیق در مورد برآورد و مدیریت نیاز آبی گیاهان که به طور مستقیم با نیاز آبی محصولات (تبخیر و تعرق) مرتبط است، یک چالش مهم برای برنامه‌ریزان کشاورزی و منابع آب محسوب می‌شود. در واقع اطلاعات در مورد میزان تبخیر و تعرق و روند آن در شرایط آب‌وهوایی مختلف کشور می‌تواند به بهبود کارایی آبیاری کمک کرده و قدمی جدی در راستای کاهش بحران آب کشاورزی به واسطه

1. Al-Addous et al
2. Tashtoush et al
3. Boretti and Rosa
4. World Water Assessment Programme
5. Rafiei Sardooi et al
6. Silva et al
7. Maghrebi et al
8. Karimi et al
9. Ghamarnia et al
10. Moghimi et al
11. Mirzaei et al
12. Faramarzi et al

پایین بودن راندمان آبیاری و استفاده بیش از حد از منابع آبی موجود باشد (قمرنیا و سلطانی^۱، ۲۰۱۸؛ شیری و همکاران^۲، ۲۰۱۴). با قطعیت می توان گفت برای اطمینان از استفاده بهینه از آب، درک جامع از نیازهای واقعی آبی گیاهان از جمله تبخیر و تعرق گیاهان در طول فصل رشد، بسیار حیاتی است (آلن و همکاران^۳، ۱۹۸۸؛ فاطمی و همکاران^۴، ۲۰۲۳؛ سیلوا و همکاران^۵، ۲۰۲۴). تبخیر و تعرق گیاه که نشان دهنده نیاز آبی گیاه است، تحت تاثیر شرایط آب و هوایی، ویژگی های گیاه و روش های آبیاری قرار دارد. نشریه FAO-56 تخمین تبخیر و تعرق واقعی گیاه (ETc) را با استفاده از ضرب عامل تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ETo) در ضریب گیاهی (Kc) در دوره های مختلف رشد انجام می دهد (سانچس و همکاران^۶، ۲۰۱۹؛ شارما و همکاران^۷، ۲۰۲۴؛ لوپز اورتا و همکاران^۸، ۲۰۲۴). فاکتور ضریب گیاهی (Kc) تحت تاثیر عوامل مختلفی مانند نوع گیاه، مرحله رشد گیاه و الگوی کشت قرار می گیرد (آلن و همکاران، ۱۹۹۸). همچنین توصیه شده است برای هر محصول مقادیر ضرایب گیاهی از طریق آزمایش های هابی که بر پایه داده های لایسیمتری و شرایط اقلیمی محلی استوار است به دست آید (جنسن و آلن^۹، ۲۰۱۶). در سال های اخیر بسیاری از محققان در مطالعات خود از لایسیمترهای زهکش دار برای تخمین Kc استفاده نموده اند و مقادیر مختلفی از Kc را نیز گزارش داده اند (قمرنیا و همکاران^{۱۰}، ۲۰۱۴؛ رزاقی و همکاران^{۱۱}، ۲۰۲۴؛ قمرنیا و همکاران، ۲۰۲۱؛ گنسالوس و همکاران^{۱۲}، ۲۰۲۴). در رابطه با پژوهش حاضر، مطالعاتی صورت گرفته است که در ادامه تعدادی از این مطالعات که در خارج از کشور مورد بررسی قرار گرفته است، ارائه شده است.

قمرنیا و همکاران (۲۰۲۱) در پژوهشی اقدام به برآورد نیاز آبی و ضرایب گیاهی منفرد و پایه نعنا فلفلی در شرایط لایسیمتری در دو گروه A و B نمودند.

بایسا و همکاران^{۱۳} (۲۰۲۴) با استفاده از لایسیمتر زهکش دار مستقر در مرکز تحقیقات کشاورزی ملکاسا در اتیوپی به بررسی نیاز آبی و ضرایب گیاهی گندم رقم Kingbird پرداختند. نتایج نشان داد میانگین تبخیر و تعرق سالانه گندم ۴۲۷/۲۸ میلی متر و تبخیر و تعرق مرجع ۴۷۱/۳۰ میلی متر برآورد شد. همچنین یافته ها نشان داد ضرایب گیاهی برای مراحل اولیه، میانی و پایانی به ترتیب ۰/۴۳، ۰/۹۳ و ۱/۱۵ به دست آمد.

رحیمی خوب و همکاران^{۱۴} (۲۰۲۰) در پژوهشی به بررسی نیاز آبی و تعیین ضرایب گیاهی ریحان در شرایط کشت کنترل شده گلخانه پرداختند. آزمایش در طی یک دوره رشد و با استفاده از میکرو لایسیمتر انجام شد. نتایج نشان داد متوسط تبخیر تعرق گیاه مرجع و ریحان طی دوره رشد به ترتیب برابر با ۸/۲۳ و ۵/۱۳ میلی متر بر روز شد. همچنین متوسط ضریب گیاهی برای مراحل اولیه، میانی و پایانی به ترتیب برابر با ۰/۳۰، ۰/۸۶ و ۰/۷۶ به دست آمد.

گنسالوس و همکاران (۲۰۲۴) در یک پژوهش جامع اقدام به برآورد نیازهای آبی محصولات علوفه ای گرمسیری در جنوب برزیل بر اساس یک پایگاه داده تجربی قوی نمودند. این تحقیق در ایالت سائو پائولو - برزیل، با استفاده از گونه های مختلف علوفه و ترکیب آن ها علف گینه (GG)؛ علف گینه + جو سیاه + چاودار (GOR)؛ علف برمودا (BG) و برمودا + جو سیاه + چاودار (BOR) صورت گرفت. مزارع آزمایشی به طور کامل آبیاری شدند و مقادیر Kc از اندازه گیری ETc روی لایسیمترها به دست آمد؛ ETo با استفاده از داده های روزانه ایستگاه هواشناسی نزدیک و پارامترهای استاندارد FAO56 تخمین زده شد. میانگین مقادیر روزانه ETc برای GG، GOR، BG و BOR به ترتیب ۴/۱، ۲/۹، ۳/۶ و ۳/۴ میلی متر و مقادیر متوسط Kc به ترتیب

1. Ghamarnia and Soltani
2. Shiri et al
3. Allen et al
4. Fatichi et al
5. Silva et al
6. Sanches et al
7. Sharma et al
8. López-Urrea et al
9. Jensen and Allen
10. Ghamarnia et al
11. Razzaghi et al
12. Goncalves et al
13. Bayisa et al
14. Rahimikhoob et al

۰/۹۹، ۰/۹، ۱ و ۰/۹۴ به دست آمد. آن ها هدف از انجام این پژوهش را کمبود اطلاعات در مورد نیازهای آبیاری محصولات علوفه‌ای گرمسیری و در مقابل افزایش آبیاری در مراتع بیان نمودند.

گیاه مورد استفاده در این پژوهش، گیاه علف فیل^۱ با نام علمی (*Pennisetum purpureum* Schumach) است. علف فیل را با نام نیپرگراس^۲، مرکرگراس^۳، علف اوگاندا^۴ و چندین نام دیگر در نقاط مختلف جهان می‌شناسند (سینگ و همکاران^۵، ۲۰۱۳). علف فیل یک گیاه تک‌لپه‌ای چندساله متعلق به خانواده Poaceae و جنس *Pennisetum* است (رازدی^۶، ۲۰۱۶). منشأ این گیاه مناطق استوایی جنوب صحرای آفریقا است و در اکثر مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری جهان به عنوان علوفه کشت شده است. ارتفاع این گیاه بین ۲ تا ۵ متر و به ندرت تا ۷/۵ متر نیز رشد می‌کند. طول و عرض برگ‌های این گیاه به ترتیب بین ۱۲۰-۳۰ و ۵-۱ سانتی‌متر هستند. برگ‌های آن صاف، خطی، کرک‌دار و به رنگ سبز مایل به آبی هستند. گل آذین یک سنبله انتهایی سفت به طول ۱۵ تا ۲۰ سانتی‌متر، به رنگ زرد مایل به قهوه‌ای تا ارغوانی است. رشد ساقه‌ها به طور مداوم عمودی است اما افزایش وزن ساقه در قسمت میانی و پایینی، موجب خم شدن و تغییر شکل آن‌ها می‌شود (رامباو و همکاران^۷، ۲۰۱۶؛ رازدی، ۲۰۱۶؛ مدزینسو^۸، ۲۰۱۲؛ فرانسیس^۹، ۲۰۰۴). علف فیل را می‌توان از طریق بذر و یا به صورت رویشی از طریق قلمه‌های ساقه یا استولون تکثیر کرد. این گیاه پس از کاشت به شدت رشد می‌کند و می‌تواند در طول ۳ ماه به ۴ متر برسد. همچنین در برابر خشکسالی مقاوم است و یک گیاه مطمئن برای تأمین علوفه سبز محسوب می‌شود (باجاج^{۱۰}، ۱۹۸۸؛ و رازدی، ۲۰۱۶). عملکرد سالانه این گیاه تحت شرایط اقلیمی مناسب به دلیل پتانسیل بالای رشد دوباره آن، بسیار قابل توجه است. در کشورهای مختلف تحت شرایط محیطی و مدیریتی مختلف، عملکرد تولید علف فیل بین ۲۷/۱ تا ۹۰/۲ تن در هکتار گزارش شده است (طاهرآبادی و کفیل‌زاده^{۱۱}، ۲۰۲۳). علف فیل برای رشد خود به مقدار زیادی آب نیاز دارد. نتایج یک مطالعه بزرگ در اتیوپی روی ۸۴ گونه مختلف از علف فیل نشان داد که عملکرد این گیاه در بین گونه‌های مختلف متفاوت بوده و از ۲/۷ تا ۶۸/۱ تن در هکتار متغیر است، اما تفاوت کمی در عملکرد گونه‌ها به دلیلی تنش آبی مشاهده شد (اسلام و همکاران^{۱۲}، ۲۰۲۳). به تازگی گزارش شده است که با تغییرات ساده در ارتفاع برداشت علف فیل می‌توان محتوای پروتئین خام را از ۹۶ به ۲۵۷ گرم در هر کیلوگرم ماده خشک افزایش داد و محتوای انرژی قابل متابولیسم را از ۸/۷ به ۱۰/۸ مگاژول در هر کیلوگرم ماده خشک ارتقا داد. همچنین بیان شده است که علف فیل این پتانسیل را دارد که به امنیت غذایی کمک کند و زندگی میلیون‌ها نفر در بیشتر کشورهای گرمسیری و نیمه‌گرمسیری جهان را تغییر دهد. از این رو، برنامه‌های تحقیقاتی و پذیرش مدیریت بهبود یافته برای علف فیل به منظور حمایت از چشم‌انداز برنامه بانک جهانی برای پایان دادن به سوءتغذیه و کاهش کوتاه‌مدتی و لاغری مرتبط تا سال‌های ۲۰۲۵-۲۰۳۰ در مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری ضروری است (اسلام و همکاران، ۲۰۲۴).

هدف و مسئله تحقیق در این پژوهش این است که باتوجه به مشکلات ذکر شده پیرامون کمبود آب در کشور و از طرفی به دلیل عدم توجه به افزایش کمی و کیفی گیاهان علوفه‌ای، متأسفانه تولید و مدیریت این منابع به عنوان خوراک دام‌ها به منظور رفع نیاز کشور به فراورده‌های دامی و لبنی و تأمین امنیت غذایی جمعیت در حال رشد، در مقایسه با سایر گیاهان زراعی مورد توجه واقع نشده است و همواره با کمبود مواد پروتئینی مواجه بوده‌ایم. همچنین با وجود اهمیت گیاه علف فیل به عنوان یک گیاه علوفه‌ای با عملکرد بالا، تاکنون هیچ مطالعه‌ای درباره تعیین نیاز آبی و ضرایب گیاهی این گیاه در سطح جهانی و به‌ویژه در ایران انجام

1 . Elephant grass

2 . Napier grass

3 . merker grass

4 . Uganda grass

5. Singh et al

6 . Rusdy

7. Rambau et al

8 . Mdziniso

9 . Francis

10 . Bajaj

11 .Taherabadi and Kafilzadeh

12 . Islam et al

نشده است. این فقدان اطلاعات منجر به عدم بهره‌برداری بهینه از این گیاه در سیستم‌های کشاورزی و دامپروری شده است. پژوهش حاضر برای نخستین بار به بررسی و محاسبه نیاز آبی و ضرایب گیاهی علف فیل می‌پردازد. نتایج این تحقیق می‌تواند به پر کردن این خلأ علمی کمک کند و اطلاعات ارزشمندی را به منظور برنامه‌ریزی آبیاری، بهینه‌سازی مصرف آب و توسعه پایدار کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک ارائه دهد.

روش پژوهش

۱. مشخصات منطقه مورد مطالعه شامل سایت آزمایشی، ایستگاه هواشناسی، جزئیات خاک و آب آبیاری

این تحقیق در ایستگاه تحقیقاتی لایسیمتری گروه مهندسی آب واقع در پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی کرمانشاه در طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۹ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۱۹ درجه شمالی و ارتفاع ۱۳۱۹ متری از سطح دریا اجرا گردید که در شکل (۱) موقعیت جغرافیایی آن نشان داده شده است. آزمایش‌ها طی دو سال متوالی ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ در ماه‌های اردیبهشت تا مهر هر سال اجرا گردید. آمار و اطلاعات هواشناسی مورد نیاز از ایستگاه هواشناسی کرمانشاه واقع در فرودگاه اشرفی اصفهانی اخذ گردید. منطقه‌ی مورد مطالعه دارای اقلیم خشک و نیمه خشک است. میانگین داده‌های هواشناسی ماهانه طی دوره تحقیق در جدول (۱) ارائه شده است. در طی مدت کشت گیاه علف فیل میزان بارندگی در شهر کرمانشاه بسیار محدود بود به گونه‌ای که براساس داده‌های هواشناسی مجموع میزان بارندگی فقط در ماه اردیبهشت برای سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ به ترتیب ۴/۱ و ۸ میلی‌متر بوده است و این مسئله سبب شد باران موثر نقش چندانی در تامین نیاز آبی نداشته باشد.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی کرمانشاه

خاک سایت آزمایشی مورد نمونه‌برداری و آنالیز قرار گرفت. بافت خاک لایسیمترها سیلتی رسی بود. خواص فیزیکی و شیمیایی خاک در جداول (۲) و (۳) و آنالیز ویژگی‌های آب آبیاری مورداستفاده در جدول (۴) ارائه شده است. از روش صفحه فشاری و نمونه‌برداری به ترتیب برای تعیین رطوبت ظرفیت مزرعه ($\theta (fc)$)، نقطه پژمردگی دائمی ($\theta (pwp)$)، و چگالی ظاهری در عمق‌های مختلف خاک لایسیمترها (صفر تا ۳۰، ۳۰ تا ۶۰ و ۶۰ تا ۹۰ سانتی‌متری) استفاده و متوسط این مقادیر ارائه شد.

جدول ۱. اطلاعات هواشناسی منطقه در مدت زمان اجرای آزمایش

سال	ماه	حداقل دما (سانتی گراد)	حداکثر دما (سانتی گراد)	سرعت باد (متر بر ثانیه)	رطوبت نسبی (درصد)	ساعات آفتابی (ساعت)	بارندگی ماهانه (میلیمتر)
۱۴۰۰	اردیبهشت	۱۰/۷	۳۰/۲	۸/۲	۲۹/۱	۹/۹	۴/۱
	خرداد	۱۳/۲	۳۵/۶	۸/۳	۱۵/۷	۱۱/۷	۰
	تیر	۱۸/۱	۳۹/۴	۷/۵	۱۲	۱۱/۸	۰
	مرداد	۱۸/۹	۳۸/۸	۸/۴	۱۵/۹	۱۰/۱	۰
	شهریور	۱۴/۹	۳۶/۶	۸/۴	۱۳/۴	۱۰/۹	۰
	مهر	۹/۲	۲۹/۶	۷/۵	۲۰/۹	۹/۹	۰
۱۴۰۱	اردیبهشت	۹/۸	۲۵/۵	۸/۸	۴۰/۹	۸/۴	۸
	خرداد	۱۴/۳	۳۵	۸/۱	۱۸	۱۰/۷	۰
	تیر	۱۸/۸	۳۸/۸	۸/۹	۱۳/۵	۱۱/۶	۰
	مرداد	۱۹/۷	۴۰/۱	۸/۵	۱۱/۷	۱۱/۵	۰
	شهریور	۱۶/۱	۳۶/۲	۷/۳	۱۰/۴	۱۰/۵	۰
	مهر	۱۰/۲	۳۱/۳	۷/۲	۱۵	۹/۱	۰

جدول ۲. خصوصیات فیزیکی خاک منطقه مورد مطالعه

عمق نمونه گیری (cm)	بافت خاک	رس (درصد)	سیلت (درصد)	شن (درصد)	$\theta (fc)(\%)$	$\theta (pwp)(\%)$	وزن مخصوص ظاهری (g/cm ³)
۰-۹۰	سیلتی رس	۵۴	۴۲/۳	۳/۷	۲۷/۶	۱۷/۲	۱/۳

جدول ۳. خصوصیات شیمیایی خاک منطقه مورد مطالعه

PH	EC	فسفر قابل جذب (p.p.m)	پتاسیم قابل جذب (p.p.m)	کربن آلی (%)	Mn (Meq/L)	Fe (Meq/L)	Zn	CU (Meq/L)
۷/۳	۱/۲	۲۶	۴۴۰	۱/۳۸	۷/۸	۱۱/۹	۱/۲۶	۱/۶۴

جدول ۴. خصوصیات شیمیایی آب منطقه مورد مطالعه

EC (dS/m)	TDS (mg/lit)	PH	CO ₃ -- (Meq/L)	HCO ₃ - (Meq/L)	CL- (Meq/L)	SO ₄ -- (Meq/L)	Anions (Meq/L)	Mg ⁺⁺ + Ca ⁺⁺ (Meq/L)	Na+ (Meq/L)	Cations (Meq/L)	Soluble Sodium (%)	SAR
۱	۶۳۱	۶/۹	۰/۰۱	۶/۲	۱/۸	۱/۱۵	۹/۲۸	۸/۱۸	۱/۰۹	۹/۲۳	۱۱/۷	۰/۵۴

۲. مشخصات و شرایط آماده سازی لایسیمترهای زهکش دار

در این پژوهش برای محاسبه تبخیر و تعرق و ضرایب گیاهی منفرد علف فیل مجموعاً از ۹ واحد لایسیمتر زهکش دار با قطر داخلی ۱/۲۰ متر و عمق ۱/۴۰ متر استفاده شد. ۳ لایسیمتر در ۲ تکرار (مجموعه لایسیمترهای A، B و C) به کشت گیاه علف فیل و ۳ لایسیمتر به کشت گیاه چمن اختصاص یافتند. جنس لایسیمترهای گیاه مرجع (چمن) و علف فیل به ترتیب از سیمان و پلی اتیلن بودند. به منظور زهکشی آب اضافی لایسیمترها، کف لایسیمترها به صورت شیب دار طراحی شد و یک لوله به قطر ۲/۵۰ سانتی متر و یک شیر کنترل در پایین هر لایسیمتر نصب گردید تا آب اضافی را به سمت ظرف مدرج نصب شده در زیر خروجی

لایسیمترها هدایت کند. در کف لایسیمترها یک لایه ۱۰ سانتی متری از شن و یک لایه ۱۰ سانتی متری از ماسه قرار داده شد. به منظور آماده سازی بستر کشت، لایسیمترها در لایه های ۱۰ سانتی متری با خاک منطقه گذرانده شده از الک ۲ میلی متری (خاک + کود پوسیده دامی + ماسه) پر شدند و هر لایه خاک به صورت دستی فشرده شد تا به چگالی ۱/۳ گرم بر سانتی متر مکعب برسد که مطابق روش الیورا و همکاران^۱ (۱۹۹۶) اجرا شد. بذر گیاه علف فیل در تاریخ ۹ اردیبهشت سال ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ در هر لایسیمتر با تراکم مناسب در عمق ۱/۵ سانتی متری از سطح خاک کاشته شد و آبیاری اولیه به منظور استقرار بذر انجام شد. شکل (۲) نمایی از مراحل آماده سازی، کاشت و رشد گیاه و نحوه استقرار لایسیمترها و زهکش ها را نشان می دهد.



شکل ۲. نمایی از مراحل اجرای طرح در سال های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱

۳. تبخیر و تعرق محصول و تبخیر و تعرق مرجع

به منظور محاسبه تبخیر و تعرق گیاه علف فیل (ET_c) و تبخیر و تعرق گیاه مرجع چمن (ET_o) از رابطه بیلان آبی خاک (معادله (۱)) و معادله پنمن ماتیتث (معادله (۴)) جهت صحت سنجی تبخیر تعرق گیاه مرجع استفاده شد.

$$ET_c = P + I - D \pm \Delta S \quad (1)$$

که در آن ET_c : تبخیر و تعرق گیاه (میلی متر)، P : بارندگی (میلی متر)، I : آب آبیاری (میلی متر)، D : عمق آب زهکشی شده (میلی متر)، ΔS : تغییرات رطوبت خاک (میلی متر) طی بازه زمانی که ET_c و K_c (میلی متر) محاسبه شده است. به منظور تعیین میزان آب آبیاری مورد نیاز گیاهان کشت شده در لایسیمترها، از تست تبخیر کلاس A دایره ای شکل از جنس آهن گالوانیزه مستقر شده در ایستگاه لایسیمتری استفاده شد. این روش توسط آلن و همکاران^۲ (۱۹۹۸) به منظور محاسبه میزان آب آبیاری انتخاب شد و این فرایند به وسیله معادلات (۲) و (۳) توضیح داده شد. در این روش پس از پر کردن تشت با آب، سطح آب آن به طور منظم در فواصل زمانی مشخص اندازه گیری شده و از این طریق ارتفاع آب تبخیر شده از تشت در دوره آبیاری مورد نظر قرائت می شود و با در نظر گرفتن ضریب تشت (K_p) میزان تبخیر از تشت را به تبخیر از لایسیمتر تعمیم داده و می توان مقدار آب آبیاری را محاسبه نمود. در واقع در این روش داده های تبخیر به دست آمده از تشت با یک ضریب تصحیح به نام ضریب تشت تبخیر تعدیل می شوند تا تبخیر و تعرق محصول (رابطه (۳)) محاسبه شود. در این پژوهش میزان حجم آب زهکشی شده از لایسیمترها قبل از هر آبیاری توسط ظروف مدرج اندازه گیری شده و با تقسیم آن بر سطح مقطع ظرف، ارتفاع آب زهکشی شده

1. Oliveira et al

2. Allen et al

محاسبه گردید. همچنین برای محاسبه محتوای رطوبتی خاک، در عمق های ۲۰، ۴۰ و ۶۰ سانتی متری عمق خاک لایسیمترها، سنسورهای TDR نصب شدند.

تبخیر و تعرق پتانسیل (ET_p):

$$ET_p = K_p * E_{pan} \quad (2)$$

که در آن ET_p: تبخیر و تعرق پتانسیل (میلی متر)، K_p: ضریب تشبیه که در محدوده ۰/۷۷-۰/۷۴ قرار دارد (دورنبوت و پریوت ۱۹۹۷) و ET_{pan}: تبخیر از تشبیه (میلی متر) است (ارتک، ۲۰۱۱).

تبخیر و تعرق محصول (ET_c):

$$ET_c = ET_p * K_c \quad (3)$$

که در آن ET_c: تبخیر و تعرق گیاه (میلی متر)، K_c: ضریب گیاهی (بدون بعد) است.

در این مطالعه به منظور محاسبه تبخیر و تعرق مرجع، علاوه بر اینکه سه دستگاه لایسیمتر به کشت گیاه مرجع چمن اختصاص داده شد، با استفاده از داده های هواشناسی روزانه شامل حداقل و حداکثر دما، سرعت باد، ساعات آفتابی و درصد رطوبت نسبی و معادله پنمن مانیتیت مقدار تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از معادله (۴) محاسبه گردید:

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1+0.34U_2)} \quad (4)$$

که در آن: ET_o تبخیر و تعرق مرجع (میلی متر بر روز)، G شار گرمای خاک (مگاژول بر متر مربع بر روز)، T دمای هوا در ارتفاع دو متری (درجه سلسیوس)، U₂ سرعت باد در ارتفاع دو متری (متر بر ثانیه)، e_s فشار بخار اشباع (کیلوپاسکال)، e_a فشار بخار واقعی (کیلوپاسکال)، (e_s-e_a) کمبود فشار بخار اشباع (کیلوپاسکال)، Δ شیب منحنی فشار بخار - دما (کیلوپاسکال بر درجه سلسیوس)، γ ضریب ثابت سایکرومتری (کیلوپاسکال بر درجه سلسیوس)، R_n تابش خالص در سطح گیاه (مگاژول بر مترمربع بر روز) می باشد.

۴. ضریب گیاهی منفرد

در این تحقیق ابتدا پارامترهای معادله بیلان در دور آبیاری (۲ روزه) اندازه گیری شدند و مقدار تبخیر و تعرق نیز در دور آبیاری محاسبه شد و سپس با تقسیم آن بر تعداد روزهای دور آبیاری، تبخیر و تعرق گیاه به صورت روزانه محاسبه شد. بعد از تخمین مقادیر تبخیر و تعرق گیاه علف فیل (ET_c) و تبخیر و تعرق مرجع (ET_o) به محاسبه مقدار ضرایب گیاهی (K_c) در مراحل مختلف رشد پرداخته شد. با تقسیم (ET_c) بر (ET_o) مقادیر ضرایب گیاهی محاسبه گردید. مقادیر ضرایب گیاهی منفرد در مراحل مختلف رشد از رابطه (۵) محاسبه گردید:

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_o} \quad (5)$$

که در آن K_c ضریب گیاهی (بدون بعد)، ET_c تبخیر و تعرق روزانه گیاه علف فیل (میلی متر بر روز) و ET_o تبخیر و تعرق روزانه گیاه مرجع (میلی متر بر روز) است. در این پژوهش چهار مرحله رشد برای گیاه علف فیل در نظر گرفته شد که به این شرح است: مرحله ابتدایی رشد^۲ که از زمان کاشت گیاه تا زمان برقراری پوشش گیاهی ۱۰ درصدی ادامه دارد. مرحله توسعه^۳ که از

1. Doorenbos and Pruitt

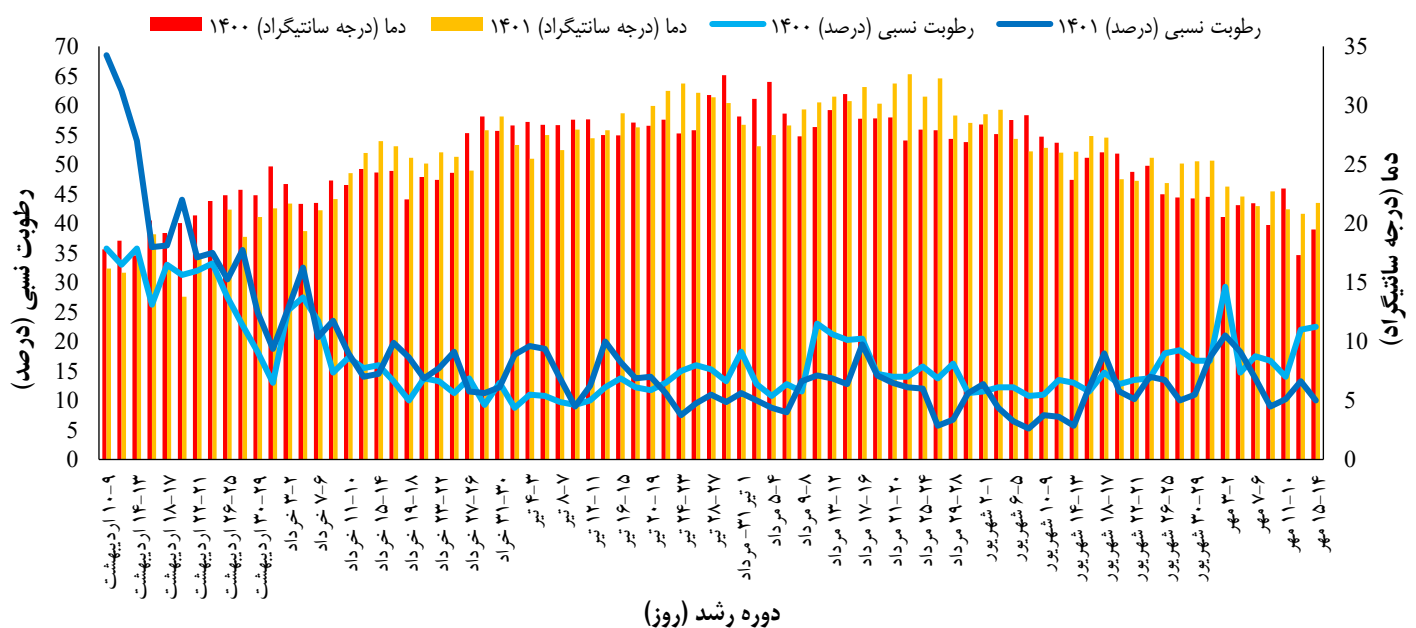
2. Initial Stage

3. Crop Development Stage

زمان پوشش گیاهی ۱۰ درصد تا پوشش موثر کامل طول می‌کشد. مرحله میانی^۱ که از زمان پوشش کامل موثر تا زمان رسیدن محصول ادامه دارد، رشد گیاه به حداکثر میزان ممکن رسیده است. مرحله نهایی^۲ که از زمان رسیدن محصول تا پلاسیده شدن کامل گیاه طول می‌کشد.

یافته‌های پژوهش

در شکل (۳) روند تغییرات رطوبت نسبی و دما برای دوره رشد در سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ ارائه شده است که نشان می‌دهد در طی دوره رشد گیاه همزمان با تغییرات دمای هوا، رطوبت نسبی نیز در حال تغییر و نوسان بوده است.



شکل ۳. روند تغییرات رطوبت نسبی و دما طی دوره رشد ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱

محاسبات مربوط به میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع چمن در طول دوره رشد گیاه علف فیل انجام شد. نتایج کلی ارائه شده در جدول (۵) نشان داد میزان تبخیر و تعرق مرجع در مدت اجرای طرح در دو سال متوالی ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ به ترتیب ۱۰۸۱/۲۲ و ۱۱۰۲/۹۴ میلی‌متر به دست آمد. از طرف دیگر بررسی نتایج ارائه شده نشان می‌دهد تبخیر و تعرق گیاه علف فیل در دو سال متوالی ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ به ترتیب ۱۳۷۳/۵۳ و ۱۴۹۷/۶۰ میلی‌متر بوده است. حداقل و حداکثر شدت تبخیر و تعرق روزانه گیاه مرجع چمن برای دوره رشد گیاه در سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ به ترتیب ۳/۱۰ و ۲/۶۲ میلی‌متر در روز و ۸/۲۶ و ۸/۳۳ میلی‌متر در روز به دست آمد. به طور کلی میانگین حداقل و حداکثر شدت تبخیر و تعرق روزانه گیاه مرجع برای دوره رشد گیاه علف فیل به ترتیب ۲/۸۶ و ۸/۲۹ میلی‌متر در روز بود. بررسی نتایج به دست آمده نشان داد در شروع دوره کشت مقدار ET_0 کم بوده و با گذشت زمان، افزایش دما و بلند بودن طول روز و به تبع آن افزایش تابش خالص خورشیدی مقدار ET_0 افزایش یافت. در اواخر دوره کشت یعنی از اوایل شهریور تا اواسط مهرماه میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع چمن روند کاهشی داشته است که در شکل (۴) نشان داده شده است.

در شکل (۵) تغییرات تبخیر و تعرق گیاه علف فیل (ET_c) برای دوره رشد آن در طی دو سال ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد در ابتدای دوره رشد گیاه علف فیل (از اوایل اردیبهشت تا اوایل خردادماه) به دلیل کوچک بودن گیاه، نیاز آبی

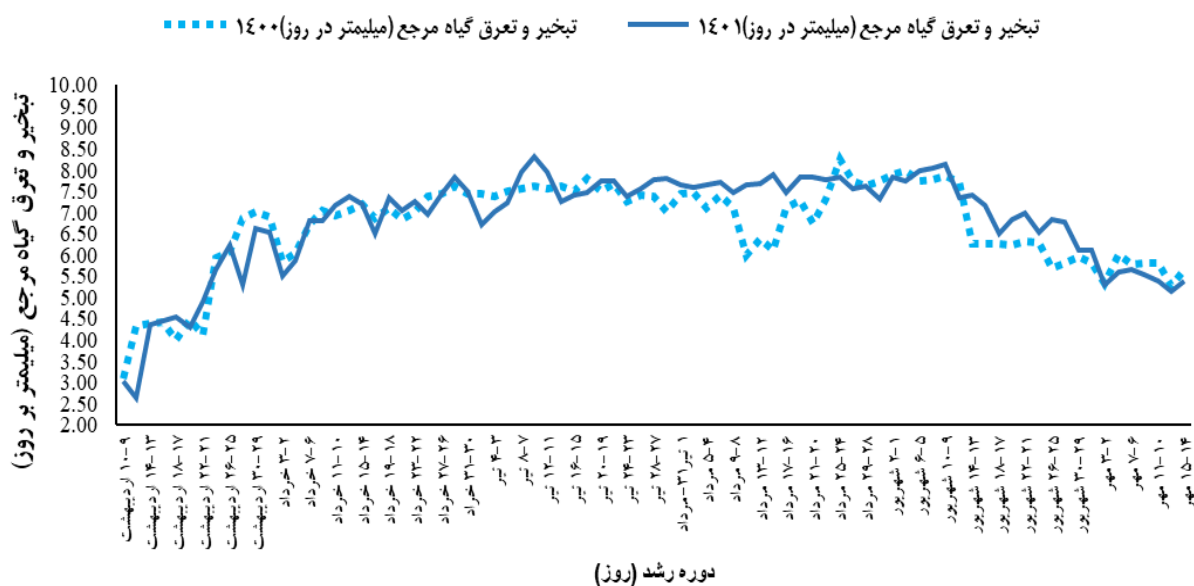
1. Mid Seasons Stage

2. Late Season Stage

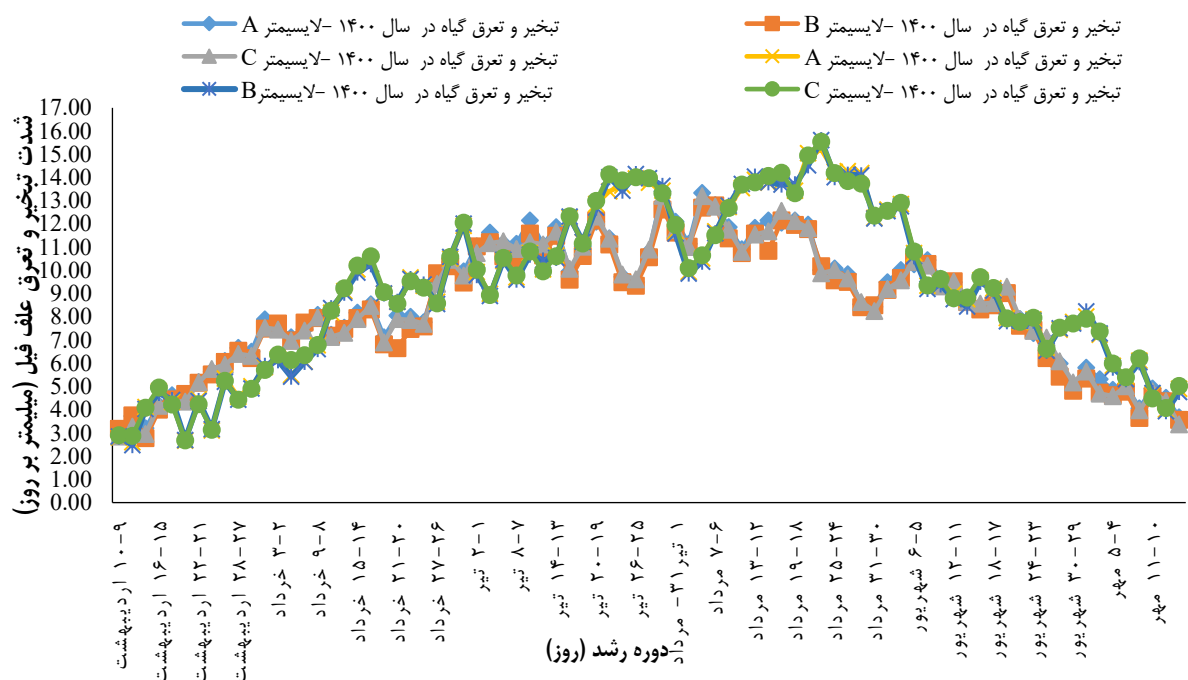
آن کمتر بوده و پس از وارد شدن گیاه به مراحل بعدی رشد توسعه اندام های هوایی گیاه، این پارامتر افزایش می یابد و در اواخر دوره کشت (اواسط شهریور تا اواسط مهر ماه) با کاهش نسبی دما و به تبع آن کاهش فعالیت سیستم های برگ و ریشه، نیاز آبی روندی کاهشی را نشان می دهد. به بیانی دیگر با گذشت زمان و رشد بیشتر گیاه، تبخیر و تعرق نیز افزایش یافته و گیاه برای ادامه فعالیت های خود آب بیشتری مصرف می کند. در جدول (۵) حداقل و حداکثر نیاز آبی گیاه علف فیل ارائه شده است. همانطور که نتایج نشان می دهد حداقل و حداکثر نیاز آبی علف فیل به ترتیب برابر (۲/۹۸ و ۱۳/۰۸) و (۲/۶۵ و ۱۵/۴۵) میلی متر در روز به دست آمد. میانگین حداکثر و حداقل میزان تبخیر و تعرق گیاه علف فیل در طی دوره رشد به ترتیب ۱۴/۲۷ و ۲/۸۲ میلی متر در روز شد. بالاترین شدت روزانه تبخیر و تعرق گیاه در سال ۱۴۰۱، ۱۵/۴۵ میلی متر در روز در تاریخ ۲۲ تا ۲۳ مرداد ماه مشاهده شد.

جدول (۵). حداقل و حداکثر شدت تبخیر و تعرق روزانه و مجموع تبخیر و تعرق فصلی برای گیاه مرجع (ET_o) و گیاه علف فیل (ET_c) در طول دوره رشد (میلی متر بر روز)

سال	ET _o (mm/day)		ET _c (mm/day)		ET _c (mm)	
	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	مقدار کل	مقدار کل
۱۴۰۰	۸/۲۶	۳/۱۰	۲/۹۸	۱۳/۰۸	۱۳۷۳/۵۳	
۱۴۰۱	۸/۳۳	۲/۶۲	۲/۶۵	۱۵/۴۵	۱۴۹۷/۶۰	
میانگین	۸/۲۹	۲/۸۶	۲/۸۲	۱۴/۲۷	۱۴۳۵/۵۷	

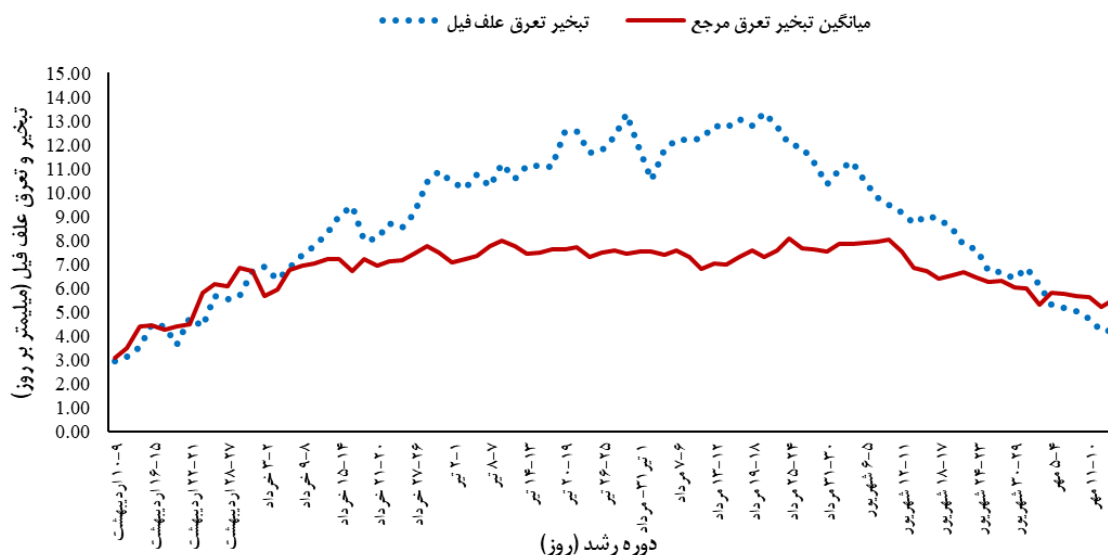


شکل ۴. روند تغییرات تبخیر و تعرق گیاه مرجع چمن طی دوره رشد ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱



شکل ۵. تغییرات شدت روزانه تبخیر و تعرق گیاه علف فیل (ETc) برای دوره رشد در لایسیمترهای (A، B و C) تحت کشت

در شکل (۶) میانگین نیاز آبی گیاه علف فیل (ETc) و تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ET_o) در طی دوره رشد گیاه نشان داده شده است همانطور که مشخص است در اواسط دوره رشد با افزایش رشد گیاه علف فیل، میزان تبخیر و تعرق گیاه (ETc) بیشتر از تبخیر و تعرق مرجع (ET_o) شده است که این اختلاف بیانگر افزایش نیاز آبی گیاه در این دوره می‌باشد.

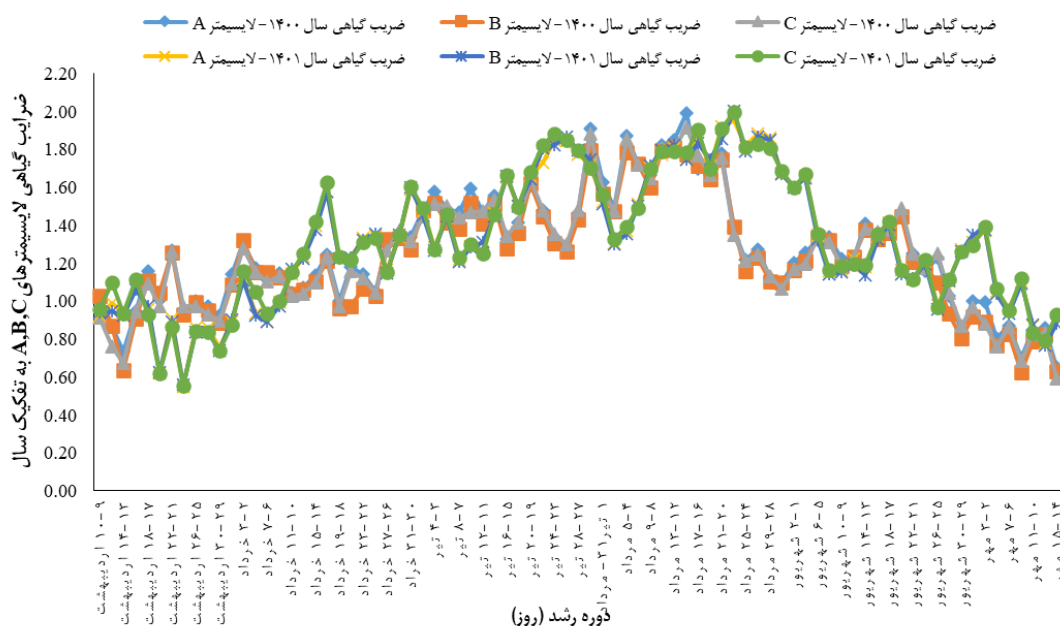


شکل ۶. میانگین نیاز آبی گیاه علف فیل (ETc) و تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ET_o) در طی دوره رشد

در جدول (۷) تاریخ و طول مراحل رشد علف فیل در سال های اجرای طرح ارائه شده است. طول دوره رشد گیاه در هر دو سال اجرای طرح از تاریخ ۹ اردیبهشت الی ۱۵ مهرماه معادل ۱۶۲ روز بود. در شکل (۷) نمودار ضرایب گیاهی (Kc) لایسیمترهای حاوی کشت علف فیل به تفکیک برای سال های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ ارائه شده است. یافته ها نشان داد ضریب گیاهی منفرد یک مقدار ثابت نبوده و در مراحل مختلف رشد گیاه، روندهای مختلفی را طی می کند. در دوران ابتدایی رشد که شامل جوانه زنی، سبز شدن و توسعه اولیه سیستم ریشه است نیاز آبی گیاه و رشد برگ ها محدودتر و به تبع آن سهم تبخیر بیشتر از تعرق است. بنابراین در این مرحله ضریب گیاهی منفرد هنگام آبیاری و خیس شدگی خاک زیاد و هنگام خشک شدن خاک کم است. لذا مقدار تبخیر و تعرق گیاه (ETc) و در نتیجه Kc پایین است. در مرحله توسعه گیاه وارد فاز رویشی سریع شده و رشد برگ ها آغاز گردیده است. در این مرحله با افزایش مصرف آب، افزایش سطح برگ و فتوسنتز بالا روبه رو هستیم. افزایش سطح برگ و به تبع آن افزایش سطح سایه انداز گیاه، میزان تبخیر از سطح خاک کاهش یافته و به تدریج تعرق اصلی ترین عامل مصرف کننده آب محسوب می شود و ضریب گیاهی منفرد نیز متناسب با سرعت رشد گیاه روند صعودی و افزایشی را طی می کند. در مرحله میانی رشد گیاه به حداکثر رشد ممکن رسیده که این عامل سبب افزایش تعرق و نیاز آبی گیاه می شود. بیشترین مقدار ضریب گیاهی پایه در دوره میانی رشد ثبت گردید. در مرحله نهایی، رشد گیاه کاهش یافته و بلوغ اتفاق می افتد. در این مرحله از رشد با کاهش میزان تعرق و آب مصرفی، فتوسنتز و رشد برگ ها کاهش و به تبع آن ضریب گیاهی روند نزولی را در پیش می گیرد. در جدول (۸) مقادیر سالانه و میانگین ۱۰ روزه تبخیر تعرق گیاهی، تبخیر تعرق مرجع و ضریب گیاهی منفرد علف فیل ارائه شده است. در نهایت با ارائه میانگین مقادیر Kc حاصل از لایسیمترها در هر سال و منحنی میانگین گیری شده از آن، مقادیر Kc در دوره های چهارگانه رشد تخمین زده شد و نتایج حاصل در شکل (۸) و جدول (۸) ارائه شد. نتایج نشان داد مقادیر Kc در سال ۱۴۰۰ برای مراحل رشد ابتدایی، توسعه، میانی و پایانی به ترتیب ۰/۹۷، ۱/۱۹، ۱/۴۷ و ۰/۹۸ و در سال ۱۴۰۱ به ترتیب ۰/۸۶، ۱/۲۷، ۱/۶۱ و ۱/۱۲ به دست آمد. میانگین دوساله ضرایب گیاهی منفرد در مراحل چهارگانه رشد (ابتدایی، توسعه، میانی و پایانی) به ترتیب ۰/۹۱، ۱/۵۴، ۱/۲۳ و ۰/۹۱ تخمین زده شد. از آنجایی که تاکنون مطالعه ای در رابطه با برآورد نیاز آبی و ضرایب گیاهی گیاه علف فیل در مناطق خشک و نیمه خشک به خصوص کشور ایران صورت نپذیرفته است، نتایج حاصل از این پژوهش می تواند در برنامه ریزی ها و محاسبات نیاز آبی گیاه علف فیل در اختیار طراحان، مهندسان و پژوهشگران قرار گیرد.

جدول ۶. جدول طول هر یک از مراحل رشد گیاه علف فیل

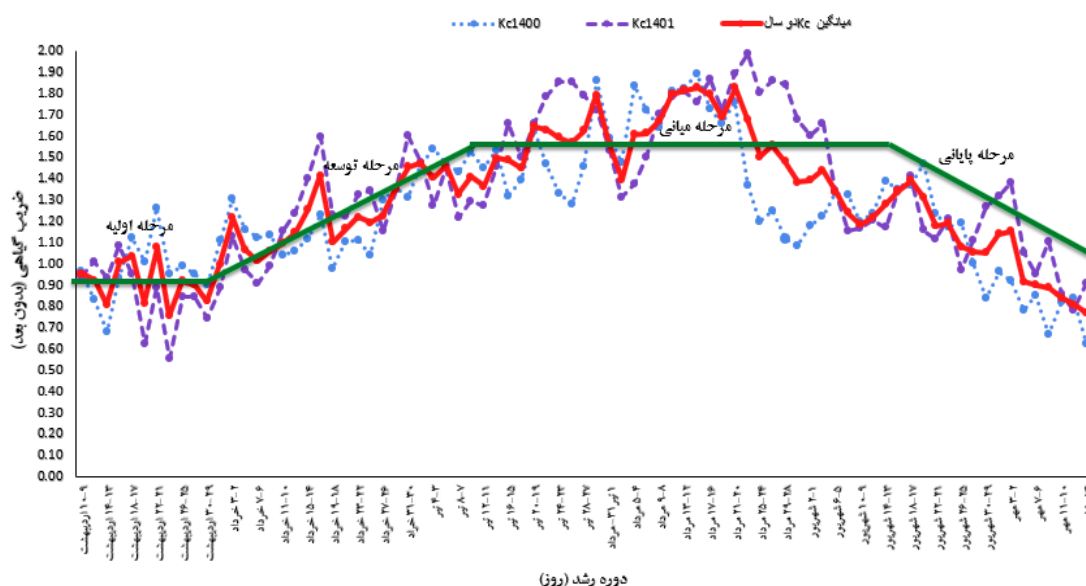
مرحله	سال - ۱۴۰۰	مدت (روز)	سال - ۱۴۰۱	مدت (روز)
اولیه	۹ اردیبهشت - ۲۸ اردیبهشت	۲۰	۹ اردیبهشت - ۱ خرداد	۲۵
توسعه	۲۹ اردیبهشت - ۶ تیر	۴۰	۲ خرداد - ۱۰ تیر	۴۰
میانی	۷ تیر - ۱۶ شهریور	۷۰	۱۱ تیر - ۱۴ شهریور	۶۵
پایانی	۱۵ شهریور - ۱۵ مهر	۳۰	۱۵ شهریور - ۱۵ مهر	۳۰



شکل ۷. ضرایب گیاهی لایسیمترهای حاوی کشت علف فیل به تفکیک برای دوره رشد سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱

جدول ۷. مقادیر سالانه و میانگین ۱۰ روزه تبخیر تعرق گیاهی (Etc)، تبخیر تعرق مرجع (ETo) و ضریب گیاهی منفرد (Kc) علف فیل

میانگین دو سال			سال ۱۴۰۱			سال ۱۴۰۰			دوره ۱۰ روزه
Kc	ETo	Etc	Kc	ETo	Etc	Kc	ETo	Etc	
۰/۹۵	۳/۹۲	۳/۶۹	۰/۹۹	۳/۸۰	۳/۷۵	۰/۹۱	۴/۰۴	۳/۶۳	۱
۰/۸۹	۵/۳۸	۴/۷۸	۰/۷۵	۵/۲۸	۳/۹۸	۱/۰۳	۵/۴۹	۵/۵۸	۲
۱/۰۲	۶/۳۹	۶/۵۰	۰/۹۳	۶/۲۷	۵/۷۷	۱/۱۲	۶/۵۰	۷/۲۳	۳
۱/۱۹	۷/۰۱	۸/۳۶	۱/۲۷	۷/۰۱	۸/۹۱	۱/۱۱	۷/۰۱	۷/۸۲	۴
۱/۱۸	۷/۱۸	۸/۴۸	۱/۲۶	۷/۲۱	۹/۰۴	۱/۱۱	۷/۱۵	۷/۹۲	۵
۱/۴۳	۷/۳۷	۱۰/۵۲	۱/۴۳	۷/۲۶	۱۰/۳۷	۱/۴۳	۷/۴۸	۱۰/۶۷	۶
۱/۴۲	۷/۶۸	۱۰/۸۵	۱/۳۸	۷/۷۹	۱۰/۷۰	۱/۴۵	۷/۵۷	۱۱	۷
۱/۵۸	۷/۵۵	۱۱/۹۱	۱/۷۳	۷/۵۸	۱۳/۱۲	۱/۴۲	۷/۵۳	۱۰/۷۱	۸
۱/۶۰	۷/۴۹	۱۱/۹۴	۱/۵۵	۷/۷۰	۱۱/۹۲	۱/۶۵	۷/۲۸	۱۱/۹۶	۹
۱/۷۵	۷/۱۴	۱۲/۴۳	۱/۷۱	۷/۶۸	۱۳/۱۶	۱/۷۸	۶/۶۰	۱۱/۷۰	۱۰
۱/۷۰	۷/۵۴	۱۲/۸۰	۱/۸۵	۷/۷۵	۱۴/۳۷	۱/۵۴	۷/۳۴	۱۱/۲۲	۱۱
۱/۴۵	۷/۷۱	۱۱/۱۴	۱/۷۳	۷/۶۲	۱۳/۱۶	۱/۱۷	۷/۷۹	۹/۱۳	۱۲
۱/۲۵	۷/۶۳	۹/۵۳	۱/۳۱	۷/۷۹	۹/۴۱	۱/۳۰	۷/۴۷	۹/۶۶	۱۳
۱/۲۸	۶/۵۴	۸/۳۷	۱/۲۵	۶/۸۱	۸/۴۸	۱/۳۲	۶/۲۷	۸/۲۷	۱۴
۱/۱۰	۵/۹۷	۶/۵۳	۱/۳۱	۶/۲۲	۷/۴۴	۰/۹۸	۵/۷۲	۵/۶۳	۱۵
۰/۸۷	۵/۶۰	۴/۸۷	۰/۹۵	۵/۴۷	۵/۲۱	۰/۷۹	۵/۷۴	۴/۵۴	۱۶



شکل ۸. ضرایب گیاهی منفرد علف فیل در مراحل رشد و منحنی میانگین گیری شده

جدول ۸. ضرایب گیاهی منفرد علف فیل در مراحل رشد برای سال های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ و متوسط آن در طی دو سال

سال	مرحله ابتدایی	مرحله توسعه	مرحله میانی	مرحله پایانی
۱۴۰۰	۰/۹۷	۱/۱۹	۱/۴۷	۰/۹۸
۱۴۰۱	۰/۸۶	۱/۲۷	۱/۶۱	۱/۱۲
متوسط	۰/۹۱	۱/۲۳	۱/۵۴	۱/۰۵

بحث

درک جامع از نیاز آبی واقعی گیاهان از جمله تبخیر و تعرق در طول فصل رشد به منظور استفاده بهینه از منابع آب در دسترس، امری بسیار حیاتی است که این مسئله مستلزم محاسبه میزان آب مصرفی و تعیین ضرایب گیاهی متناسب با هر منطقه است. روش FAO-56 تخمین تبخیر و تعرق واقعی گیاه (ETc) را با استفاده از ضرب عامل تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ET_o) در ضریب گیاهی (Kc) در دوره های مختلف رشد انجام می دهد. فاکتور ضریب گیاهی (Kc) تحت تاثیر عوامل مختلفی مانند نوع گیاه، مرحله رشد گیاه و الگوی کشت قرار می گیرد. در این پژوهش با توجه به اهمیت گیاه علف فیل به عنوان یک منبع عالی علوفه ای جدید در ایران به منظور رفع نیاز کشور به فراورده های دامی و لبنی و تامین امنیت غذایی جمعیت در حال رشد و عدم وجود ضرایب گیاهی آن در مراجع مختلف، گروه تحقیقاتی ما در دانشگاه رازی کرمانشاه در دو سال ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ اقدام به اجرای پژوهشی لایسیمیتری به منظور محاسبه نیاز آبی با روش بیلان آبی و ضرایب گیاهی این گیاه جدید نمود. طول دوره رشد گیاه ۱۶۲ روز بود.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد میانگین دوساله تبخیر و تعرق گیاه مرجع و تبخیر و تعرق گیاه علف فیل به ترتیب ۱۰۹۲/۰۸ و ۱۴۳۵/۵۷ میلی‌متر در روز و در نهایت متوسط ضریب گیاهی منفرد برای مراحل مختلف رشد اولیه، توسعه، میانی و پایانی به ترتیب ۰/۹۱، ۱/۲۳، ۱/۵۴ و ۱/۰۵ به دست آمد. این اطلاعات می‌تواند در برنامه‌ریزی آبیاری و مدیریت بهینه مصرف آب برای کشت علف فیل مورد استفاده قرار گیرد. نتایج این پژوهش به کشاورزان و مدیران منابع آب کمک می‌کند تا با تنظیم الگوی آبیاری، مصرف آب را کاهش داده و بهره‌وری را افزایش دهند.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این پژوهش علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آنهاست.

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

منابع

- رحیمی خوب، حدیثه، سهرابی، تیمور، و دلشاد، مجتبی. (۱۳۹۸). تعیین نیاز آبی و ضریب گیاهی ریحان در شرایط کشت کنترل شده گلخانه. *مجله تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۰ (۱۰)، ۲۴۶۵-۲۴۷۲.
<https://doi.org/10.22059/ijswr.2019.280405.668191>
- رزاقی، فاطمه، اسماعیلی، محمد، و سپاسخواه، علیرضا. (۱۴۰۳). تعیین ضرایب گیاهی یگانه، دوگانه و تبخیر-تعرق استاندارد گیاه پیاز با استفاده از لایسیومتر بیلان آبی. *نشریه علوم و مهندسی آبیاری*، ۴۸ (۱)، ۵۹-۷۵.
<https://doi.org/10.22055/JISE.2024.45245.2099>
- طاهرآبادی، لیلا، و کفیل زاده، فرخ. (۱۴۰۲). ارزش غذایی علف نیپر در مراحل مختلف رشد. *مجله تولیدات دامی*، ۲۵ (۱)، ۸۳-۹۱.
<https://doi.org/10.22059/jap.2023.350164.623711>
- قمرنیا، هوشنگ، و سلطانی، نرگس. (۱۳۹۷). بررسی کارآئی روش های تجربی برآورد تبخیر - تعرق مرجع (بر پایه تشتک تبخیر) در اقلیم های مختلف (مطالعه موردی ایران). *مجله تحقیقات منابع آب ایران*، ۱۴ (۴)، ۱۷۰-۱۸۳.
https://www.iwrr.ir/article_63469.html?lang=en
- مقیم، زهرا، کرباسی، علیرضا، محتشمی، تکت، و علیزاده، امین. (۱۳۹۹). بررسی عوامل موثر بر اضافه برداشت کشاورزان از منابع آب زیرزمینی در دشت زاوه- تربت حیدریه. *نشریه پژوهش آب در کشاورزی (علوم خاک و آب)*، ۳۴ (۴)، ۶۰۳-۶۱۴.
<https://doi.org/10.22092/jwra.2021.123502>

References

- Al-Addous, M., Bdour, M., Rabaiah, S., Boubakri, A., Schweimanns, N., Barbana, N., & Wellmann, J. (2024). Innovations in Solar-Powered Desalination: A Comprehensive Review of Sustainable Solutions for Water Scarcity in the Middle East and North Africa (MENA) Region. *Water*, 16(13), 1877. <https://doi.org/10.3390/w16131877>
- Allen, R. G. (1996). Assessing integrity of weather data for reference evapotranspiration estimation. *Journal of irrigation and drainage engineering*, 122(2), 97-106. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(1996\)122:2\(97\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(1996)122:2(97))
- 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, Italy. <https://www.fao.org/4/x0490e/x0490e00.htm>
- Bajaj, Y.P.S. (1988). Elephant Grass, Napier Grass (*Pennisetum purpureum* Schum.). In: Bajaj, Y.P.S. (eds) *Crops II. Biotechnology in Agriculture and Forestry*, 6. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-73520-2_25
- Bayisa, G. D., Ayana, M., Mekonnen, B., Hordofa, T., & Dinka, M. O. (2024). Drainage lysimeter based measurement of water requirement and crop coefficient of bread wheat under semi-arid climate of Melkassa, Ethiopia. *Heliyon*, 10(17), e36969. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e36969>
- Boretti, A., & Rosa, L. (2019). Reassessing the Projections of the World Water Development Report. *npj Clean Water*, 2, 15. <https://doi.org/10.1038/s41545-019-0039-9>
- Doorenbos, J., & Pruitt, W. O. (1977). Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage, Paper 24, *Food and Agriculture Organization of the United Nations*, Rome, Italy. <https://fao.org/4/s8376e/s8376e.pdf>
- Edirisooriya, E. M. N. T., Wang, H., Banerjee, S., Longley, K., Wright, W., Mizuno, W., & Xu, P. (2024). Economic feasibility of developing alternative water supplies for agricultural irrigation. *Current Opinion in Chemical Engineering*, 43, 100987. <https://doi.org/10.1016/j.coche.2023.100987>
- Erteck, A. (2011). Importance of Pan Evaporation for Irrigation Scheduling and Proper Use of Crop Pan Coefficient (Kcp), *Crop. Afri. J. of Agri. Res.*, 32, 6706-6718. <https://doi.org/10.5897/AJAR11.1522>
- Faramarzi, M., Yang, H., Schulin, R., & Mikayilov, F. (2010). Modeling wheat yield and crop water productivity in Iran: Implications of agricultural water management for wheat production. *Agricultural Water Management*, 97(11), 1861-1875. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.07.002>
- Fatichi, S., Paschalis, A., Bonetti, S., Manoli, G., & Pappas, C. (2023). Water use efficiency: a review of spatial and temporal variability. *Encyclopedia of Soils in the Environment, Elsevier Academic Press publications*, New York, United States. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822974-3.00166-X>
- Francis, J. K. ed. (2004). Wildland shrubs of the United States and its Territories: thamnisc descriptions. *Forest Service publications*, Washington, DC, United States. <https://doi.org/10.2737/IITF-GTR-26>
- Ghamarnia, H., & Soultani, N. (2018). Evaluating efficiency of empirical estimation reference evapotranspiration (Pan based method) in different climate conditionss (Case Study of Iran). *Iran-Water Resources Research*, 14(4), 170-183. https://www.iwrr.ir/article_63469.html?lang=en (in Persian)
- Ghamarnia, H., Miri, E., & Ghobadei, M. (2014). Determination of water requirement, single and dual crop coefficients of black cumin (*Nigella sativa* L.) in a semi-arid climate. *Irrigation science*, 32, 67-76. <https://doi.org/10.1007/s00271-013-0412-2>

- Ghamarnia, H., Mousabeygi, F., & Rezvani, S. V. (2021). Water Requirement, Crop Coefficients of Peppermint (*Mentha piperita* L.) and Realizing of SIMDualKc Model. *Agrotechniques in Industrial Crops*, 1(3), 110-121. <https://doi.org/10.22126/atic.2021.6791.1019>
- Gonçalves, I. Z., Mendonça, F. C., Sanches, A. C., & Marin, F. R. (2024). Optimizing evapotranspiration and crop irrigation requirements of tropical forages cropping systems in Southern Brazil. *International Journal of Biometeorology*, 68(1), 57-67. <https://doi.org/10.1007/s00484-023-02570-9>
- Islam, M. R., Garcia, S. C., Islam, M. A., Bashar, M. K., Roy, A., Roy, B. K., Sarker, N. R., & Clark, C. E. F. (2024). Ruminant Production from Napier Grass (*Pennisetum purpureum* Schum): A Review. *Animals*, 14, 467. <https://doi.org/10.3390/ani14030467>
- Islam, M. R., Garcia, S. C., Sarker, N. R., Islam, M. A., & Clark, C. E. (2023). Napier grass (*Pennisetum purpureum* Schum) management strategies for dairy and meat production in the tropics and subtropics: Yield and nutritive value. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1269976. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1269976>
- Jensen, M. E., & Allen, R. G. (2016). Evaporation, evapotranspiration, and irrigation water requirements, in: *Evaporation, Evapotranspiration, and Irrigation Water Requirements. American Society of Civil Engineers*, 1-744. <https://doi.org/10.1061/9780784414057>
- Karimi, V., Karami, E., & Keshavarz, M. (2018). Climate change and agriculture: Impacts and adaptive responses in Iran. *Journal of Integrative Agriculture*, 17(1), 1-15. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(17\)61794-5](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(17)61794-5)
- López-Urrea, R., Oliveira, C. M., Montoya, F., Paredes, P., & Pereira, L. S. (2024). Single and basal crop coefficients for temperate climate fruit trees, vines and shrubs with consideration of fraction of ground cover, height, and training system. *Irrigation Science*, 1-37. <https://doi.org/10.1007/s00271-024-00964-0>
- Maghrebi, M., Noori, R., Bhattarai, R., Mundher Yaseen, Z., Tang, Q., Al-Ansari, N., Danandeh Mehr, A., Karbassi, A., Omidvar, J., Farnoush, H., Torabi Haghighi, A., Kløve, B., & Madani, K. (2020). Iran's Agriculture in the Anthropocene. *Earth's Future*, 8(9), Article e2020EF001547. <https://doi.org/10.1029/2020EF001547>
- Mdziniso, M. P. (2012). Effect of carbohydrate sources on fermentative characteristics and chemical composition of Napier grass (*Pennisetum purpureum*) silage. *BSc (Animal Science) thesis, University of Swaziland, Swaziland*.
- Mirzaei, A., Saghafian, B., Mirchi, A., & Madani, K. (2019). The Groundwater–Energy–Food Nexus in Iran's Agricultural Sector: Implications for Water Security. *Water*, 11(9), 1835. <https://doi.org/10.3390/w11091835>
- Moghim, Z., Mohtashami, T., Alizadeh, A., & Karbasi, A. (2021). Factors Affecting Groundwater Resources Overdraft by Farmers in Zaveh-Torbath Heydarieh Plain. *Journal of Water Research in Agriculture*, 34(4), 603-614. <https://doi.org/10.22092/jwra.2021.123502> (In Persian)
- Oliviera, I. B., Demond, A. H., & Salehzadeh, A. (1996). Packing of Sands for production of homogeneous porous media. *Soil Science Society of America Journal*, 60(1), 49-53. <https://doi.org/10.2136/sssaj1996.03615995006000010010x>
- Rafiei Sardooi, E., Bazrafshan, O., & Jamshidi, S. (2024). Modeling the water security in a watershed using the water footprint concept and water scarcity indicators. *Water Supply*, 24(1), 235-253. <https://doi.org/10.2166/ws.2023.323>

- Rahimikhoob, H., Sohrabi, T., & Delshad, M. (2020). Determination of Water Requirement and Crop Coefficient for Basil (*Ocimum basilicum* L.) under Controlled Greenhouse. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 50(10), 2465-2472. <https://doi.org/10.22059/IJSWR.2019.280405.668191> (In Persian)
- Rambau, M. D., Fushai, F., & Baloyi, J. J. (2016). Productivity, chemical composition and ruminal degradability of irrigated Napier grass leaves harvested at three stages of maturity. *South African Journal of Animal Science*, 46(4), 398-408. <https://doi.org/10.4314/sajas.v46i4.8>
- Razzaghi, F., Esmaily, M., & Sepaskhah, A. R. (2024). Determining single and dual crop coefficients and standard evapotranspiration of onion using water balance lysimeter. *Irrigation Sciences and Engineering*, 48(1), 59-75. <https://doi.org/10.22055/IJSE.2024.45245.2099> (In Persian)
- Rusdy, M. (2016). Elephant grass as forage for ruminant animals. *Livestock Research for Rural Development*, 28(4), 2791171. <http://www.lrrd.org/lrrd28/4/rusd28049>
- Sanches, A. C., Souza, D. P. D., Jesus, F. L. F. D., Mendonça, F. C., & Gomes, E. P. (2019). Crop coefficients of tropical forage crops, single cropped and overseeded with black oat and ryegrass. *Scientia Agricola*, 76, 448-458. <https://doi.org/10.1590/1678-992x-2017-0386>
- Sharma, V., Changade, N. M., Madane, D. A., Yadav, K., & Tarate, S. B. (2024). Development of growth-stage specific crop coefficient for drip irrigated wheat crop grown in climatic conditions of Jalandhar, Punjab. *Journal of Agrometeorology*, 26(3), 356-361. <https://doi.org/10.54386/jam.v26i3.2628>
- Shiri, J., Nazemi, A. H., Sadraddini, A. A., Landeras, G., Kisi, O., Fard, A. F., & Marti, P. (2014). Comparison of heuristic and empirical approaches for estimating reference evapotranspiration from limited inputs in Iran. *Computers and Electronics in Agriculture*, 108, 230-241. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2014.08.007>
- Silva, S. P., Valín, M. I., Mendes, S., Araujo-Paredes, C., & Cancela, J. J. (2024). Water productivity in *Vitis vinifera* L. cv. Alvarinho using dual crop coefficient approach. *Agricultural Water Management*, 303, 109027. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.109027>
- Singh, B. R., Singh, H. P., & Obeng, E. (2013). Elephantgrass. ©CAB International. *Biofuel Crops: Production, Physiology and Genetic Publications*, 271-291. <https://doi.org/10.1079/9781845938857.0271>
- Taherabadi, L., & Kafilzadeh, F. (2023). Nutritive value of Napier grass at different growth stages. *Journal of Animal Production*, 25 (1), 83-91. <https://doi.org/10.22059/jap.2023.350164.623711> (In Persian)
- Tashtoush, B., Alyahya, W., Al Ghadi, M., Al-Omari, J., & Morosuk, T. (2023). Renewable Energy Integration in Water Desalination: State-of-the-Art Review and Comparative Analysis. *Appl. Energy*. 352, 121950. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.121950>
- World Water Assessment Programme (Nations Unies), The United Nations World Water Development Report. (2018). *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization*, New York, United States. www.unwater.org/publications/world-water-development-report