Shahid Chamran University of Ahvaz

Irrigation Sciences and Engineering (JISE)
Vol. 48, No. 1, Spring 2025, p. 59-75

Research Paper

Journal homepage: https://jise.scu.ac.ir

Determining single and dual crop coefficients and standard evapotranspiration of onion using water balance lysimeter

F. Razzaghi[1*], M. Esmaily[2] and A. R. Sepaskhah [3]

1*- *Corresponding Author*, Associate Professor, Water Engineering Department, School of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran, and Researcher, Drought Research Center, Shiraz University, Shiraz, Iran *(razzaghi@shirazu.ac.ir).*
2- MSc. Student, Water Engineering Department, School of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran
3- Professor, Water Engineering Department, School of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran, and Researcher, Drought Research Center, Shiraz University, Shiraz, Iran.

ARTICLE INFO

Artlcle history:
Received: 21 November 2023
Revised: 14 July 2024
Accepted: 17 July 2024

Keywords:
Bulb nitrogen concentration, Green canopy temperature, Leaf area index, Water productivity.

TO CITE THIS ARTICLE:

Razzaghi, F., Esmaily, M., Sepaskhah, A. R. (2025). 'Determining single and dual crop coefficients and standard evapotranspiration of onion using water balance lysimeter', Irrigation Sciences and Engineering, 48(1), pp. 59-75. doi: 10.22055/jise.2024.45245.2099.

Introduction

Water shortage is an important obstacle limiting crop production in arid and semi-arid climate such as Iran (Sepaskhah et al., 2006). One of the best solutions to reduce the consumption of irrigation water in agricultural sector is to determine crop evapotranspiration (Gheysari et al., 2006) specially by lysimeters to calculate accurate crop water demand (Razzaghi and Sepaskhah, 2010).

Onion is one of the most important edible vegetables and its annual production in Iran is 2566 thousand tons (Ministry of Agriculture-Jahad, 2021). Onions demand high water requirements and if they face water shortage in the initial stage of growth, their yield is significantly reduced. Considering the problems of water shortage due to excessive consumption and the subsequent increase in the water demand and the need to accurately determine the water requirement of onions, this research aims to determine the single (K_c) and dual crop coefficients (K_e and K_{cb}), and direct estimation of the standard crop evapotranspiration rate of the onion in three water balance lysimeters. The reference evapotranspiration was calculated using data from a meteorological station and the modified FAO Penman-Monteith equation. The onion standard crop evapotranspiration ET_c was determined using the irrigation water balance lysimeter and equation, and thereafter, the single crop coefficients at different growth stages were calculated. Due to the presence of a micro-lysimeter, the amount of evaporation coefficient (K_e) and transpiration coefficient (K_{cb}) in different growth stages were also calculated. The mean values of the single crop coefficient in the initial, mid, and end growth stages were 0.50, 1.04, and 0.7, respectively. The K_e coefficient in the initial, mid, and final growth stages were 0.42, 0.26, and 0.47, respectively. The K_{cb} in the initial, mid, and end growth stages were 0.08, 0.78, and 0.22, respectively.

Methodology

This research was carried out from the middle of May to the end of October 2019 in three water balance lysimeters of the School of Agriculture, Shiraz University. Meteorological data was taken from a meteorological station that is only 10 meters away from the lysimeters. Onion seeds were sown at a depth of 3 cm in 4 rows per lysimeter and the distance between the rows was 25 cm and the distance between the plants on the row was 15 cm. The area around the lysimeters was cultivated with the same

onion seeds to minimize the oasis effect on the lysimeters. At the beginning of cultivation, 100 kg of diammonium phosphate fertilizer was given to each lysimeter. Also, during the growing season, 200 kg/ha of urea fertilizer containing 46% nitrogen (equivalent to 92 kg nitrogen) was equally applied to the soil inside the lysimeters in two stages (94 and 117 days after sowing).

Standard onion evapotranspiration (ET_C) was determined using the water balance method. Evaporation from the soil surface (E) was measured by micro-lysimeters with 30 cm height and 9 cm diameter. The amount of transpiration (T) was calculated from the difference between ET_C and E. The amount of reference evapotranspiration (ET_o) was calculated using modified Pentman-Mantieth-FAO equation by Razzaghi and Sepaskhah (2012). The single (Kc) and dual (K_e and K_{cb}) crop coefficients were calculated using ETc, T, E, and ET_o. In addition, the amount of direct standard crop evapotranspiration of onions was calculated using the Penman-FAO equation. Also, the onion yield, onion bulb nitrogen concentration, and water productivity were determined at harvest.

Results and Discusspn

In this study, the length of initial, development, mid and end stages of onion was determined as 56, 64, 25, and 21 days, respectively. The value of ETc , T, and E were 651.2 mm, 296 mm, and 355.2 mm, respectively. Also, the results showed that there was a significant difference between ET_0 and ET_c (about 3 mm/ days) from sowing to about 50 days after sowing , which was caused by the slow growth of onions at the beginning of the growing season (Fig. 1). The value of ET_c equal to 2.29 mm/day on the first day of sowing showed the value of evaporation from the soil surface (Fig. 1). The initial, mid, and end K_c were 0.50, 1.04, and 0.7, respectively. In a research carried out in Spain, the onion initial, mid, and end K_c were 0.65, 1.20, and 0.75, respectively (López-Urrea et al., 2009). Moreover, the average values of K_e in the initial, middle, and end stages were obtained as 0.42, 0.26 and 0.47, respectively. The K_{cb} values in the initial, middle, and end stages were 0.08, 0.78, and 0.22, respectively. From the above results, it can be concluded that low K_{cb} in the initial stage was due to the slow growth of the onion and the lack of aerial organs. Also, the slope of the linear regression between the calculated (direct method) and measured (lysimeter) ET_c in the validation stage indicated that the calculated ET_c was 4% lower than the measured values. The correlation coefficient value of 0.85 in the validation stage indicated the acceptable accuracy of the calculated values.

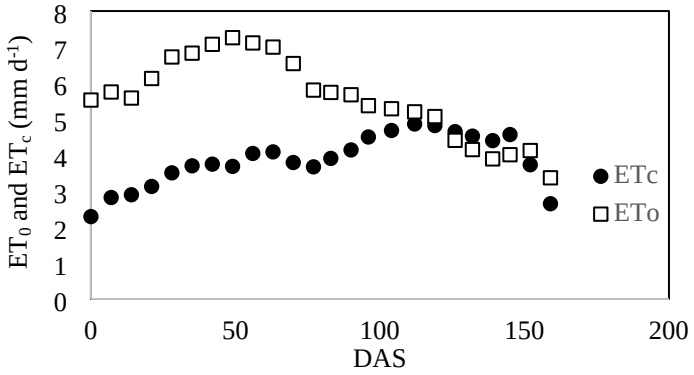


Fig. 1- The variation of reference evapotranspiration (ET_0) and onion standard crop evapotranspiration (ET_c) during the growing season (DAS: Days after sowing)

Also, the average fresh and dry weight of onion bulbs at the end of the growing season was 23.9 and 3.7 tons per hectare, respectively. In another study, the effect of three levels of irrigation and nitrogen fertilizer on the growth and yield of Zargan onion was investigated, and the results showed that the dry weight of single onion bulbs at the level of 100% irrigation and 200 kg of nitrogen fertilizer per hectare (in the form of urea) was equal to 3.58 grams (Roohparvar, 2020). The allowable concentration of nitrate in onion was declared to be less than 20 mg per 100 g of fresh weight (Lorenze,

1978). According to the measured nitrogen concentration in the bulb (2 %) and the low value of nitrite in the soil, this amount of nitrogen concentration is within the allowable range. Moreover, the irrigation water productivity, and irrigation water productivity per evapotranspiration were equal to 4.9, and 4.1 kg/m^3 per hectare, respectively.

Conclusions

In this research, the value of onion standard evaporationtranspiration was calculated using lysimeter data and water balance method . The values of ET_c , T, and E were 651.2 mm, 296 mm, and 355.2 mm, respectively. The initial, mid and end single crop coefficients were 0.50, 1.04, and 0.7, respectively. Also, the K_{cb} coefficient values were calculated as 0.08, 0.78, and 0.22 in the initial, middle, and end growth stages, respectively . The obtained coefficient can be used by farmers, researchers, designers and consulting engineers to determine the accurate value of onion irrigation water requirement specially in regions facing water shortage such as Iran.

Acknowledgement

The authors are grateful for the support of Shiraz University, Drought Research Center, and Center of Excellence for On-Farm Water Management.

References

1- Gheysari, S.M., MirLatifi, M., Homaee, M. and Asadi, M.E., 2006. Determination of crop water use and crop coefficient of corn based on crop growth stages. *Journal of Agricultural Engineering Research, 26*(7), pp:125-142. (In Persian).

2- López-Urrea, R., de Santa Olalla, F.M., Montoro, A. and López-Fuster, P., 2009. Single and dual crop coefficients and water requirements for onion (Allium cepa L.) under semiarid conditions. *Agricultural Water Management, 96*(6), pp:1031-1036. Doi: 10.1016/j.agwat.2009.02.004.

3- Lorenz, Q. A., 1978. Potential nitrate in edible plants part. (In: D. R. Nielson, J. G. Mac Donald eds.) Nitrogen in the environment, Vol. 2,8. Soil & plant & Nitrogen relationships, Academic Press, New York.

4- Ministry of Agriculture-Jahad. 2021. https://www.maj.ir/Dorsapax/userfiles/Sub65/Amarnameh-J1-1401.pdf.

5- Razzaghi, F. and Sepaskhah, A.R., 2010). Assessment of nine different equations for ET_o estimation using lysimeter data in a semi-arid environment. *Archives of Agronomy and Soil Science, 56*(1), pp:1-12. Doi: 10.1080/03650340902829180.

6- Razzaghi, F. and Sepaskhah, A. R., 2012. Calibration and validation of four common ET_0 estimation equations by lysimeter data in a semi-arid environment. *Archives of Agronomy and Soil Science, 58*(3), pp:303-319. Doi: 10.1080/03650340.2010.518957.

7- Roohparvar, S., 2020. *Effect of Different Levels of Irrigation and Nitrogen Fertilizer on Growth and Yield of Onion (Zargan Cultivar)*. Msc thesis, Shiraz University, Iran.

8- Sepaskhah, A.R., Tavakoli, A.R. and Mousavi S.F., 2006. Principles and Applications of Deficit Irrigation. Iranian National Committee on Irrigation and Drainage (INCID), Tehran., 288 p. (In Persian)

© 2025 The Author(s). Published by Shahid Chamran University of Ahvaz. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

علوم و مهندسی آبیاری جلد ۴۸، شماره‌ی ۱، بهار ۱۴۰۴، مقاله پژوهشی، ص. ۷۵-۵۹

تعیین ضرایب گیاهی یگانه، دوگانه و تبخیر-تعرق استاندارد گیاه پیاز با استفاده از لایسیمتر بیلان آبی

فاطمه رزاقی[1*]، محمد اسماعیلی[2] و علیرضا سپاسخواه[3]

۱*- نویسنده مسئول، دانشیار بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز و پژوهشگر مرکز مطالعات خشکسالی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران (razzaghi@shirazu.ac.ir)

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.

۳- استاد بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز و پژوهشگر مرکز مطالعات خشکسالی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.

دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۳۰ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۴/۲۴ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۲۷

چکیده

برای برنامه‌ریزی و مدیریت بهتر منابع آب به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک، برآورد دقیق تبخیر-تعرق محصولات مختلف کشاورزی از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد. یکی از این گیاهان پرمصرف در سبد غذایی خانوار پیاز است که به خاطر آبیاری مکرر، نیاز آبی بالایی داشته و چنانچه در مراحل اولیه رشد دچار کمبود آب گردد، محصول آن به‌طور چشم‌گیری کاهش می‌یابد. لذا این تحقیق با هدف تعیین ضرایب گیاهی یگانه، دوگانه و تبخیر-تعرق استاندارد گیاه پیاز در سه لایسیمتر بیلان آبی انجام شد. مقدار تبخیر-تعرق گیاه مرجع با استفاده از داده‌های ایستگاه هواشناسی و معادله فائو پنتمن مانتیث اصلاح شده محاسبه شد. میزان تبخیر-تعرق استاندارد پیاز (ET_c) با استفاده از معادله بیلان آب خاک تعیین و سپس مقادیر ضرایب گیاهی یگانه در مراحل مختلف رشد محاسبه گردید. با توجه به قرار دادن میکرولایسیمتر در سه لایسیمتر، میزان ضریب تبخیر (K_e) و ضرایب تعرق پایه (K_{cb}) در مراحل مختلف رشد نیز محاسبه شد. میانگین محصول غده پیاز ۲۴ تن در هکتار بود. مقدار ET_c و تعرق در کل فصل کشت به‌ترتیب برابر ۶۵۱/۲ میلی‌متر و ۲۹۶ میلی‌متر محاسبه شد. طول مراحل اولیه، میانی و نهایی رشد گیاه به‌ترتیب برابر ۵۶، ۲۵ و ۲۱ روز به‌دست آمد. مقدار میانگین ضریب گیاهی یگانه در مرحله اولیه، میانی و نهایی رشد به‌ترتیب ۰/۵۰، ۱/۰۴ و ۰/۷ تعیین شد. مقدار ضریب K_e در مرحله اولیه، میانی و نهایی رشد به ترتیب ۰/۴۲، ۰/۲۶ و ۰/۴۷ به‌دست آمد. مقدار ضریب K_{cb} در مرحله اولیه، میانی و نهایی رشد به‌ترتیب ۰/۰۸، ۰/۷۸ و ۰/۲۲ تعیین شد. در نهایت با استفاده از ضرایب گیاهی تعیین شده توسط لایسیمتر، می‌توان مقدار دقیق نیاز آبی گیاه پیاز را در مناطقی با اقلیم مشابه و برای مراحل مختلف رشد تعیین نمود.

کلید واژه‌ها: بهره‌وری آب، دمای پوشش سبز، شاخص سطح برگ، غلظت نیتروژن سوخ.

مقدمه

با توجه به آب‌وهوای خشک و نیمه‌خشک ایران و وجود اراضی با قابلیت کشاورزی زیاد و مصرف قابل‌توجهی از منابع آب سطحی و زیرزمینی در بخش کشاورزی، کمبود آب مانع مهم محدودکننده تولید است (Sepaskhah et al., 2006). لذا تعیین مقدار دقیق آب آبیاری مورد نیاز گیاهان با استفاده از لایسیمتر حائز اهمیت می‌باشد. داشتن یک برنامه آبیاری صحیح نیازمند داشتن ضرایب گیاهی گیاه مورد نظر در مراحل مختلف رشد و تخمین تبخیر – تعرق آن گیاه می‌باشد (Gheysari et al., 2006). Allen et al. (1998) برای برخی از گیاهان، ضرایب گیاهی آن‌ها را ارائه کردند. اقلیم‌های متفاوت و یکسان نبودن خصوصیات گیاهی موجب اختلاف در مقادیر ضرایب گیاهی و تبخیر-تعرق در مناطق مختلف می‌شود (Allen et al., 2005). برای تخمین نیاز آبی گیاهان یا باید تبخیر – تعرق گیاه مرجع (ET_o) را محاسبه کرده و در ضریب گیاهی یگانه گیاه (Kc) مربوطه ضرب کرد و تبخیر – تعرق استاندارد گیاه (ET_c) را به‌دست آورد، یا اینکه با استفاده از لایسیمتر که دارای دقت بیشتری می‌باشد، تبخیر – تعرق استاندارد گیاه را به‌دست آورد. روش لایسیمتر به خاطر استفاده از تمام عوامل مؤثر بر نیاز آبی گیاه دارای دقت زیاد می‌باشد (Razzaghi and Sepaskhah, 2010). در بسیاری از مدل‌های شبیه‌سازی انتقال آب و املاح مانند HYDRUS-1D، برای برآورد بهتر نیاز آبی گیاهان از ضریب گیاهی دوگانه (ضریب گیاهی پایه (Kcb) و ضریب تبخیر (Ke)) استفاده می‌شود (Ran et al., 2017). این ضرایب برای گیاهان مختلف در نشریه FAO 56 ارایه شده است (Allen et al., 1998). از آنجایی‌که ضرایب گیاهی یگانه و دوگانه گیاهان در اقلیم‌های مختلف تفاوت دارند، تحقیقات زیادی به‌منظور تعیین این ضرایب از جمله Ding et al (2013)، Zhang et al (2013) و Razmavaran et al (2024) صورت گرفته است لیکن همچنان تحقیقات بیشتری مورد نیاز است تا بتوان این ضرایب را برای کلیه گیاهان مانند پیاز خصوصا در اقلیم نیمه خشک استان فارس تعیین نمود.

با توجه به سودآوری تولید سبزیجات در دنیا، تولید آن‌ها منجر به بهتر شدن اقتصاد کشورها می‌شود (Eigenbrod and Gruda, 2015). پیاز خوراکی (*Allium cepa* L.) جزو سبزیجات متعلق به تیره

سوسنی‌ها (*Alliaceae*) است (Aminpour and Mortazav Bak, 2012). از دیرباز مردم ایران از پیاز به‌عنوان سبزی خوراکی و همچنین در مصارف دارویی استفاده می‌کردند. برخی از محققان خاستگاه اولیه پیاز را ایران و افغانستان می‌دانند. بر اساس آمارنامه کشاورزی سال ۱۴۰۱ سطح زیر کشت این گیاه در ایران ۵۳/۶ هزار هکتار بوده و با میزان تولید ۲۵۶۶ هزار تن بوده است (Ministry of Agriculture-Jahad, 2021) پیاز منبع پروتئین، کلسیم، آهن، فسفر، سدیم، پتاسیم و ویتامین‌های A، B_1، B_2 بوده و از لحاظ دارا بودن خواص ضد باکتریایی و تولید کالری دارای اهمیت می‌باشد (Rostam Foroudi, 2006). طبق آمار سازمان خواروبار جهانی در سال ۲۰۱۲ هر خانواده ایرانی به‌طور میانگین در هر سال ۲۲ کیلوگرم پیاز مصرف می‌کند که حدودا دو برابر متوسط مصرف پیاز در دنیا می‌باشد که بیان‌کننده اهمیت آن در سفره مردم ایران است (Karandish et al., 2015).

به‌دلیل نیاز آبی بالای پیاز بخاطر آبیاری مکرر، انجام آبیاری برنامه ریزی شده منجر به افزایش محصول و خواص پیاز می‌گردد (Rostam Foroudi, 2006). در ایران بجز مقدار بسیار محدود در بقیه موارد پیاز به‌صورت کشت آبی انجام می‌شود به‌طوری‌که سهم کشت آبی بیشتر از ۹۹/۷ درصد از سهم پیاز کشت شده را شامل می‌شود و بقیه آن به کشت دیم تخصیص می‌یابد (Ministry of Agriculture-Jahad, 2021). با توجه به وجود مشکلات کمبود آب به خاطر مصرف بی رویه و در پی آن افزایش تقاضا برای مصرف آب و نیاز به تعیین دقیق ضریب گیاهی (یگانه و دوگانه) برای تعیین نیاز آبی پیاز، این پژوهش با هدف تعیین ضرایب گیاهی پیاز (رقم توده محلی) در مراحل مختلف رشد در شرایط مزرعه‌ای در لایسیمترهای تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز درمنطقه باجگاه انجام شد.

مواد و روش‌ها

شرایط اقلیمی و موقعیت محل

این پژوهش از اواسط اردیبهشت تا اواخر مهر ماه سال ۱۳۹۹در سه لایسیمتر بیلان آبی تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز، واقع فاصله ۱۶ کیلومتری شمال شرقی شیراز در دشت باجگاه با طول جغرافیایی ′۳۲ °۵۲ و عرض جغرافیایی ′۳۶ °۲۹ و ارتفاع از سطح دریای ۱۸۱۰متر انجام شد. منطقه مورد مطالعه دارای اقلیم نیمه خشک است و متوسط بارندگی آن سالانه ۳۸۶ mm می‌باشد (Ahmadi et al., 2019). داده‌های هواشناسی شامل میانگین دمای هوا، میانگین رطوبت نسبی و درجه روز رشد در طول فصل کاشت از یک ایستگاه هواشناسی که تنها ۱۰ متر از لایسیمترها فاصله دارد، گرفته شده است (شکل ۱). در طول فصل کاشت، حداکثر، حداقل دما به‌ترتیب برابر با ۳۸/۵ و ۲ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارش ۳/۳ میلی‌متر بوده است.

لایسیمترهای مورد آزمایش دارای سطح مقطع دایره‌ای شکل، مساحت ۲ m^2 و عمق۱/۶ m تا ۱/۷ m بوده و دارای زهکش می‌باشند (Keykhahmoghadam et al., 2013). برخی از خصوصیات فیزیکی خاک در جدول (۱) آورده شده است. در این جدول خصوصیات خاک فقط تا عمق ۱۲۰ سانتی‌متری تعیین شده است و احتمالا در اعماق پایین‌تر مشابه ۳۰ سانتی‌متری بالای ان است.

کشت پیاز

بذر پیاز رقم توده محلی در تاریخ ۱۷ اردیبهشت سال ۱۳۹۹ در چهار خط در هر لایسیمتر و فاصله بین خطوط ۲۵ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها روی خط ۱۵ سانتی‌متر و در عمق سه سانتی‌متری کشت شد. زمین دور تا دور لایسیمترها با همان بذر پیاز کشت گردید تا اثر واحه‌ای روی لایسیمترها به حداقل برسد. بر اساس آزمایش‌های انجام شده روی نمونه خاک، در ابتدای کشت ۱۰۰کیلوگرم کود دی آمونیوم فسفات به عنوان کود ابتدایی قبل از کشت به هر لایسیمتر بصورت جداگانه داده شد. برای جلوگیری از رقابت علف‌های هرز با گیاه پیاز، علف‌های هرز در طول فصل رشد چندین دفعه به‌صورت دستی حذف شدند. همچنین در طول فصل رشد، ۲۰۰ کیلوگرم بر هکتار کود اوره حاوی ۴۶ درصد نیتروژن (معادل ۹۲ کیلوگرم نیتروژن) به طور مساوی و در دو مرحله زمانی (۹۴ و ۱۱۷ روز بعد از کاشت) به خاک داخل لایسیمترها داده شد.

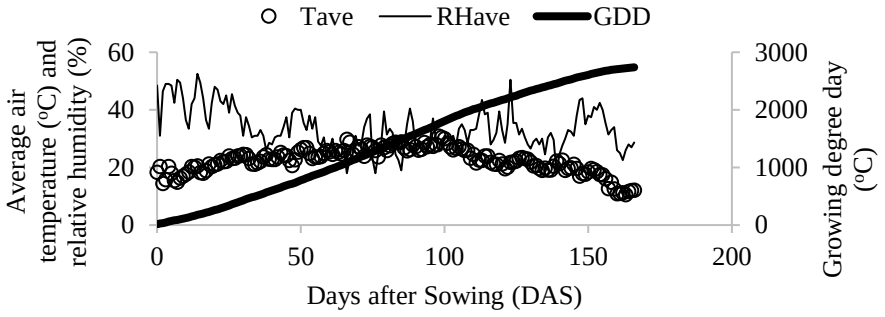


Fig. 1- Variation in meteorological parameters during the growing season

شکل ۱- تغییرات پارامترهای هواشناسی در طول فصل کاشت

DOI: 10.22055/jise.2024.45245.2099

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی خاک آزمایش در لایسیمترها

Table 1- The physical properties of the experimental soil in the lysimeters.

Texture	Depth (cm)	Field capacity ($cm^3\ cm^{-3}$)	Permanent wilting point ($cm^3\ cm^{-3}$)	Bulk density ($g\ cm^{-3}$)
Clay loam	0-30	28.25	13.29	1380
Silty clay loam	30-60	29.02	14.42	1410
Silty clay	60-120	30.50	14.87	1360

* Physical soil properties are obtained from Ahmadi et al. (2019)

مدیریت آبیاری و ضریب تبخیر-تعرق

برای اندازه‌گیری رطوبت خاک، نمونه‌هایی از خاک بوسیله آگر دستی از هر لایسیمتر در روز قبل از آبیاری بصورت جداگانه و تا عمق ۶۰ سانتی‌متر با فواصل ۳۰ سانتی‌متری برداشت شد و پس از انتقال به آزمایشگاه وزن تر نمونه‌ها اندازه‌گیری و سپس در آون و دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک شدند و با توجه به چگالی ظاهری خاک رطوبت حجمی خاک تعیین شد. آب مورد نیاز هر لایسیمتر هر هفت روز یکبار بر مبنای رساندن رطوبت نیمرخ خاک تا عمق ریشه به حد ظرفیت زراعی با استفاده از معادله (۱) محاسبه و به گیاهان داخل آن لایسیمتر و به صورت آبیاری سطحی داده شد.

$$I = \sum_1^n (FC_i - \theta_i)\Delta z_i \qquad (۱)$$

که در آن I مقدار آب آبیاری (cm)، FC رطوبت خاک در حالت ظرفیت زراعی ($cm^3\ cm^{-3}$)، θ رطوبت خاک قبل از آبیاری ($cm^3\ cm^{-3}$)، i شماره هر لایه، n تعداد لایه‌های خاک و Δz ضخامت لایه‌ی خاک (cm) می‌باشد.

همچنین در طول فصل رشد پنج نوبت رطوبت خاک بوسیله نوترون‌متر تا عمق ۶۰ سانتی‌متری به فواصل ۳۰ سانتی‌متری اندازه‌گیری شد. همچنین حجم آب زهکش شده بعد از هر آبیاری لایسیمترها، به‌وسیله ظروفی که در زیر زهکش‌ها تعبیه شده بود، اندازه‌گیری شد.

تبخیر-تعرق گیاه استاندارد پیاز (ET_C) با استفاده از روش بیلان آب (معادله ۲) تعیین شد:

$$ET_C = P + I - D \pm \Delta W \qquad (۲)$$

که در آن ET_C تبخیر- تعرق استاندارد گیاهی برحسب mm ، P میزان بارندگی بر حسب mm، I عمق آب آبیاری بر حسب mm، و ΔW تفاوت رطوبت خاک در عمق ریشه بین دو آبیاری متوالی بر حسب mm می‌باشد.

تبخیر از سطح خاک (E) به‌وسیله میکرولایسیمترهایی که دارای ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر و قطر نه سانتی‌متر بودند و از جنس PVC ساخته شده بودند، اندازه‌گیری شد. هر میکرولایسیمتر با خاک مربوط به همان لایسیمتر پر شده و در ارتفاع یکسان با سطح خاک داخل لایسیمتر در بین ردیف‌های کشت قرار داده شد. این میکرولایسیمترها همراه با آبیاری گیاهان داخل لایسیمترها آبیاری شدند و وزن آن‌ها قبل از آبیاری و همچنین روز بعد از آبیاری بوسیله ترازوی حساس اندازه‌گیری شدند. تفاوت وزن بین دو اندازه‌گیری برابر با تبخیر از سطح لایسیمتر در نظر گرفته شد. اختلاف وزن آنها بر سطح مقطع آنها تقسیم شده و ارتفاع تبخیر در آن بازه زمانی به‌دست آمد.

مقدار تبخیر-تعرق گیاه مرجع با استفاده از معادله پنتمن – مانتیث –فائو اصلاح شده برای منطقه باجگاه توسط Razzaghi و Sepaskhah (2012) محاسبه شد. معادله تبخیر- تعرق گیاه مرجع بقرار زیر است:

$$ET_o = \frac{0{\cdot}408 \times (Rn - G) + \gamma \times \frac{2214.12}{T_m + 273} \times U_2 \times (e_s - e_a)}{\Delta + (1 + 0{\cdot}84 \times U_2)} \qquad (۳)$$

که در آن ET_o تبخیر-تعرق گیاه مرجع ($mm\ d^{-1}$)، R_n تابش خالص در سطح زمین ($MJ\ m^{-2}d^{-1}$)، G شار گرمای خاک ($MJ\ m^{-2}d^{-1}$)، (es-ea) کمبود فشار بخار اشباع (kPa)، T_m متوسط دمای هوا در ارتفاع دو متری از سطح زمین (˚C)، u_2 سرعت باد در ارتفاع دو متری از سطح زمین ($m\ S^{-1}$)، Δ شیب منحنی فشار بخار ($kPa\ ^\circ C^{-1}$) و γ ضریب ثابت سایکرومتری ($kPa\ ^\circ C^{-1}$) می‌باشد.

ضریب گیاهی یگانه (K_c) از نسبت ET_c به ET_o بصورت معادله (۴)تعیین شد:

$$Kc = \frac{ET_c}{ET_o} \qquad (۴)$$

ضریب گیاهی دوگانه خاک از معادله (۵) محاسبه شد:

$$Kc = Kcb + Ke = \frac{T}{ET_o} + \frac{E}{ET_o} \qquad (۵)$$

که در آن Kcb ضریب گیاهی پایه، Ke ضریب تبخیر، E تبخیر از سطح خاک بر حسب mm و T تعرق از سطح گیاه بر حسب mm می‌باشد. مقدار تعرق از تفاوت بین ET_c و E محاسبه گردید.

تعیین تبخیر-تعرق استاندارد پیاز به روش مستقیم

مقدار تبخیر-تعرق استاندارد پیاز به روش مستقیم با استفاده از معادله پنمن-فائو (۶)) در نرم‌افزار *Excel* و افزونه *Solver* محاسبه شد (Allen et al., 1998):

$$ET_c = \frac{\Delta(R_n - G) + \rho C_p \left(\frac{e_s - e_a}{r_a}\right)}{\lambda\left[\Delta + \gamma\left(1 + \frac{r_c}{r_a}\right)\right]} \quad (۶)$$

$$r_a = \frac{4.72\left(1n\left(\frac{Z_m - d}{Z_0}\right)\right)^2}{1 + 0.54U} \quad (۷)$$

$$d = c_1 \times h \quad (۸)$$

$$Z_0 = c_2 \times h \quad (۹)$$

$$r_c = \frac{c_3 - (c_4 \times R_n)}{LAI} \quad (۱۰)$$

که در معادله‌های فوق، ET_c تبخیر-تعرق گیاه پیاز mm (d^{-1})، ρ چگالی هوا ($\frac{Kg}{m^3}$)، c_p ضریب گرمایی ویژه برای هوای مرطوب اطراف در فشار ثابت ($KJ\ kg^{-1}\ °C^{-1}$)، r_a مقاومت آیرودینامیکی ($s\ m^{-1}$)، Z_m ارتفاعی که سرعت باد در آن اندازه-گیری می‌شود (m) که برابر با دو متر می‌باشد، d تغییر سطح مبدأ یا جابه‌جایی سطح صفر (m)، Z_o طول زبری مؤثر بر انتقال گرما و بخار آب (m)، h_c ارتفاع گیاه (m)، و U سرعت باد ($m\ s^{-1}$)، r_c مقاومت گیاهی ($s\ m^{-1}$)، و LAI شاخص سطح برگ ($m^2\ m^{-2}$)، و ضرایب C_1، C_2، C_3، و C_4 ضرایب ثابت می‌باشند. برای محاسبات r_a و r_c به‌ترتیب از معادله‌های ارایه شده در Thom و Oliver (1977) و Allen (1986) استفاده گردید. برای انجام این کار، با توجه به اینکه مدت زمان پژوهش یک فصل کاشت بوده است، نصف از داده‌های هواشناسی و تبخیر-تعرق استاندارد پیاز تعیین شده از معادله (۲) در طول فصل کشت برای واسنجی ضرایب و از نصف دیگر برای اعتبارسنجی استفاده گردید.

ارتفاع گیاه

ارتفاع گیاه در طول فصل رشد (۸۰، ۹۸، ۱۳۲و ۱۴۷روز بعد از کشت) در بوته‌های علامت‌گذاری شده توسط خط‌کش از سطح خاک تا نوک گیاه (برحسب سانتی‌متر) اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری‌ها یک روز مانده به زمان آبیاری صورت گرفت.

دمای سبز پوشش گیاهی

دمای پوشش گیاهی با استفاده از دماسنج مادون قرمز (Kyorisu Model 5500) در طول فصل رشد (۱۳۱ و ۱۴۵روز بعد از کاشت) اندازه‌گیری شد. در هنگام خواندن دما، باید دستگاه در فاصله ۴۰ سانتی‌متری از سطح برگ گیاه و زاویه ۴۵ درجه قرارگرفته و سپس اندازه‌گیری‌ها انجام شود. اندازه‌گیری‌ها یک روز مانده به زمان آبیاری و در ساعت ۱۵-۱۳صورت گرفت.

شاخص سطح برگ (LAI)

شاخص سطح برگ از نسبت سطح کل برگ‌های گیاه بر حسب (cm^2) به سطح سایه‌انداز گیاه روی زمین به‌دست می‌آید. مساحت برگ‌ها در طول فصل رشد (۸۰، ۹۸، ۱۳۲ و ۱۴۷روز بعد از کاشت) با دستگاه مساحت سنج اندازه‌گیری شد. برای این کار در هر نوبت از هر لایسیمتر به‌صورت جداگانه یک بوته از سطح خاک قطع شده و به آزمایشگاه انتقال داده شد. قسمت زیرزمینی گیاه در زمین باقی ماند و در پایان فصل رشد برداشت گردید. قسمت هوایی قطع شده برای اندازه‌گیری سطح برگ، بعد از اندازه‌گیری در آون خشک گردید و وزن برگ‌های خشک شده به مجموع وزن خشک برگ‌های هر لایسیمتر اضافه شد. شاخص سطح برگ از معادله زیر استخراج گردید:

$$\mathrm{LAI} = \frac{\mathrm{A}}{\mathrm{A_C}} \quad (۱۱)$$

که در آن LAI شاخص سطح برگ ($cm^2 cm^{-2}$)، A مساحت برگ‌های هر گیاه (cm^2) و AC مساحت اشغال شده توسط گیاه که از حاصل ضرب فاصله بوته‌ها (۱۵ سانتی‌متر) در فاصله ردیف‌های کشت (۲۵ سانتی‌متر) در مزرعه بر حسب (cm^2) به‌دست آمد.

نیتروژن کاه و کلش، سوخ و ریشه

برای بدست آوردن غلظت نیتروژن کاه و کلش، سوخ و ریشه، نمونه‌های ۰/۱ گرمی از قسمت‌های کاه و کلش، سوخ و ریشه گیاهان هر لایسیمتر جداگانه آسیاب شده، داخل لوله‌های آزمایش کجلدال قرار داده شد و به روش کجدال اندازه‌گیری شد (Bremner, 1965).

محصول غده، وزن تر و خشک، بهره‌وری آب

گیاهان در تاریخ ۲۸ مهر (۱۶۶ روز بعد از کشت) برداشت شدند و وزن تر آن‌ها اندازه‌گیری شد. سپس سوخ‌ها از بقیه گیاه جدا شد و با کولیس قطر پیازها اندازه‌گیری و وزن شدند و روی هر پیاز برچسب زده شد و داخل آون در دمای ۷۰ درجه قرار داده شدند تا خشک شوند. برگ‌های قسمت فوقانی هر لایسیمتر نیز به‌صورت جداگانه به‌مدت ۷۲ ساعت در آون گیاهی در دمای ۷۰ درجه خشک شدند و وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری شد.

بهره‌وری آب به ازای تبخیر-تعرق استاندارد گیاه پیاز از معادله (۱۲)، به‌ازای آب آبیاری از معادله (۱۳) و به ازای مجموع آب آبیاری و باران از معادله (۱۴) بدست آمد (Fernández et al., 2020) که به‌صورت زیر می‌باشد:

$$WP_c = \frac{Y}{ET_c} \quad (۱۲)$$

$$WP_I = \frac{Y}{I} \quad (۱۳)$$

$$WP_{I+P} = \frac{Y}{I+P} \quad (۱۴)$$

که در آن WP_c بهره‌وری آب به ازای تبخیر-تعرق استاندارد گیاه پیاز بر حسب ($kg\ m^{-3}$)، WP_I بهره‌وری آب به ازای آب

DOI: 10.22055/jise.2024.45245.2099

آبیاری بر حسب($kg\ m^{-3}$) ، WP_{IP} بهره‌وری آب آبیاری و باران بر حسب ($kg\ m^{-3}$)، Y محصول دانه بر حسب ($kg\ ha^{-1}$)، تبخیر–تعرق گیاهی برحسب ($kg\ ha^{-1}$)، I مقدار آب آبیاری در کل دوره رشد گیاه بر حسب($m^3\ ha^{-1}$) و P میزان بارندگی در طول فصل رشد بر حسب ($m^3\ ha^{-1}$) می‌باشد. مقدار آب آبیاری با استفاده از مجموع حجم آبیاری‌های انجام شده در هر نوبت آبیاری به‌دست آمد. مقدار بارندگی هم از بارندگی‌های ثبت شده در ایستگاه هواشناسی نزدیک محل تحقیق گرفته شد.

درجه روز رشد (GDD)

برای محاسبه درجه روز رشد (Growing degree day, GDD) از معادله (۱۰) استفاده شد.

$$GDD = \sum_0^n T_{ave} - T_b \qquad (۱۵)$$

که در آن T_{ave} دمای متوسط روزانه حسب درجه سانتی‌گراد و T_b دمای پایه برای پیاز می‌باشد که برابر با ۱۰ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شد. (Tesfay, 2005).

نتایج و بحث

مراحل رشد گیاه

در تحقیقی Allen et al. (1998) مراحل رشد گیاه را به چهار مرحله رشد اولیه، توسعه، میانی و نهایی تقسیم‌بندی کردند. در این پژوهش طول مراحل رشد اولیه، توسعه، میانی و نهایی رشد به‌ترتیب ۵۶، ۶۴، ۲۵ و ۲۱ روز تعیین شد.

ضریب گیاهی یگانه

میانگین مجموع آب آبیاری، مجموع بارندگی، مجموع آب زهکشی، مجموع تبخیر از سطح خاک، مجموع تعرق و مجموع تبخیر–تعرق استاندارد گیاه پیاز (ET_c) در طول فصل رشد در هر سه لایسیمتر در جدول (۲) آورده شده است. همچنین تغییرات تبخیر–تعرق گیاه مرجع (ET_0) و ET_c در طول فصل رشد در شکل (۲) نشان داده شده است. با توجه شکل (۱) و (۲) از زمان کاشت تا حدودا ۵۰ روز بعد از کاشت، نه تنها متوسط دمای هوا، ET_0 و ET_c با شیب نسبتا زیادی روند افزایشی داشته است، بلکه اختلاف قابل ملاحظه‌ای بین ET_0 و ET_c وجود دارد (حدودا سه میلی‌متر بر روز) که ناشی از رشد کند پیاز در ابتدای فصل کاشت می‌باشد. مقدار ET_c برابر با ۲/۲۹ میلی‌متر بر روز در روز ابتدای کاشت نشان دهنده میزان تبخیر از سطح خاک می‌باشد (شکل ۲). میانگین مقادیر ضرایب گیاهی یگانه (K_c) در روزهای مختلف بعد از کاشت در شکل (۳) آورده شده است. میانگین ضرایب گیاهی یگانه برای لایسیمترهای تحت کشت در مراحل اولیه، میانی و پایانی رشد پیاز به‌ترتیب برابر۰/۵۰، ۱/۰۴ و ۰/۷ محاسبه شد. مقدار GDD مورد نیاز برای مراحل اولیه، میانی و نهایی رشد به ترتیب برابر ۸۸۸/۹، ۲۰۴۳/۸ و ۲۷۴۲ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. از ضرایب گیاهی به‌دست آمده می‌توان نتیجه گرفت که در مراحل اولیه رشد به‌خاطر رشد کند پیاز و کم بودن تعرق، ضریب گیاهی پایین بوده و در مراحل توسعه و رشد میانی با رشد گیاه ضریب گیاهی نیز به تدریج افزایش پیدا کرده است. در مرحله پایانی رشد مقدار ضریب گیاهی شروع به کاهش کرده است که به‌دلیل زرد شدن تدریجی اندام هوایی وکاهش تعرق از سطح برگ‌های پیاز می‌باشد. همچنین میانگین مقدار تبخیر–تعرق استاندارد پیاز ۶۵۱/۲ میلی‌متر محاسبه گردید. مقدار ضریب گیاهی یگانه توسط Allen et al. (1998) برای پیاز در مراحل اولیه، میانی و پایانی رشد به‌ترتیب برابر ۰/۷، ۱/۰۵ و ۰/۸ پیشنهاد شد.

جدول ۲- میانگین مقدار آب آبیاری (I)، بارندگی (R)، زهکش (D)، تبخیر (E)،تعرق (T)، تعرق و تبخیر–تعرق (ET_c) پیاز در طول فصل کاشت

Table 2- Average amount of irrigation water (I), rainfall (R), drainage (D), evaporation (E), transpiration (T) and evapotranspiration (ET_c) of onion during growing season

I(mm)	R(mm)	D(mm)	E(mm)	T(mm)	ET_C(mm)
490.2±19.3	3.325	12.2±0.9	355.2±1.3	296±2.0	651.2+1.5

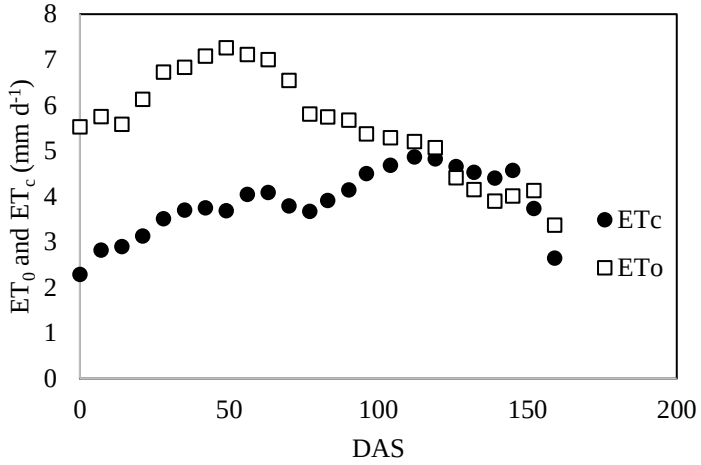


Fig. 2- The variation of reference crop evapotranspiration (ET_0) and onion standard crop evapotranspiration (ET_c) during the growing season (DAS: Days after sowing)

شکل ۲- تغییرات تبخیر-تعرق گیاه مرجع (ET_0) و تبخیر-تعرق گیاه استاندارد پیاز (ET_c) در طول فصل کاشت (DAS: روز بعد از کاشت)

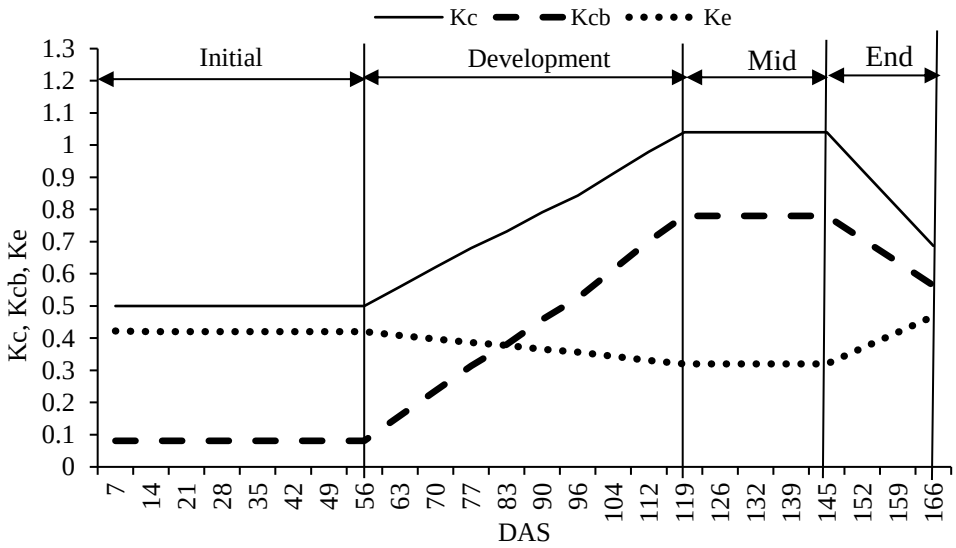


Fig. 3- The average of single crop coefficient (K_c), basal crop coefficient (K_{cb}) and evaporation crop coefficient (K_e) in three lysimeters during the growing season (DAS)

شکل ۳- میانگین ضریب گیاهی یگانه (K_c)، ضریب گیاهی پایه (K_{cb}) و ضریب تبخیر (K_e) در سه لایسیمتر در طول فصل کاشت (DAS)

ضریب یگانه گیاه پیاز در مرکز تحقیقات کشاورزی ورر (Werer) در اتیوپی در فصل اصلی کشت (July - October) در مراحل اولیه، میانی و نهایی رشد به‌ترتیب ۰/۵۷، ۱/۰۳ و ۰/۷۸ و در طول فصل سرد (March – June) ضریب گیاهی ۰/۴۹، ۱/۰۱ و ۰/۷۹ محاسبه گردید. همچنین تبخیر-تعرق بالقوه گیاه پیاز در طول فصل اصلی کشت برابر ۵۲۵/۸ میلی‌متر و در طول فصل سرد برابر ۴۶۵/۶ میلی‌متر به‌دست آمد (Abebe et al., 2021). ضریب گیاهی یگانه پیاز در اتیوپی در مراحل اولیه رشد، میانی و پایانی رشد به‌ترتیب برابر ۰/۴۷، ۰/۹۹ و ۰/۴۶ به‌دست آمده است (Bossie et al., 2009). همچنین، طبق پژوهش دیگری که در این کشور روی ضریب گیاهی یگانه پیاز صورت گرفت مقادیر ضریب گیاهی در مراحل اولیه رشد، میانی و پایانی رشد به‌ترتیب برابر ۰/۳۴، ۱/۰۱ و ۰/۶۸ محاسبه گردید (Dirirsa et al., 2015). در پژوهشی که در اسپانیا صورت گرفت مقادیر ضریب گیاهی یگانه پیاز در مراحل اولیه رشد، میانی و پایانی رشد به‌ترتیب برابر ۰/۶۵، ۱/۲۰ و ۰/۷۵ اندازه‌گیری شد (López-Urrea et al., 2009). همچنین در پژوهش دیگری در کشور برزیل انجام شد گرفت مقادیر ضریب گیاهی یگانه پیاز در مراحل اولیه رشد، میانی

DOI: 10.22055/jise.2024.45245.2099

و پایانی رشد به ترتیب برابر ۰/۶۸، ۰/۹۹ و ۰/۷۳ محاسبه شد (Matsunaga et al., 2022). محققان زیادی بیان کردند که مقادیر ضرایب گیاهی به نوع رقم، تراکم گیاه، نوع سیستم آبیاری و اقلیم منطقه وابسته می‌باشد (Allen et al., 1998; López-Urrea et al., 2009; Pereira et al., 2024).

ضریب گیاهی دوگانه

میانگین مقادیر ضریب تبخیر (K_e) و ضریب گیاهی پایه (K_{cb}) در شکل (۳) آورده شده است. میانگین ضریب تبخیر برای لایسیمترهای تحت کشت در مراحل اولیه، میانی و نهایی رشد به‌ترتیب برابر ۰/۴۲، ۰/۲۶ و ۰/۴۷ به‌دست آمده است. مقدار ضریب گیاهی پایه نیز برای لایسیمترهای تحت کشت به‌ترتیب برابر ۰/۰۸، ۰/۷۸ و ۰/۲۲ محاسبه شده است. از مقادیر فوق می‌توان نتیجه گرفت که ضریب گیاهی پایه در مراحل اولیه رشد به‌خاطر رشد کند پیاز و کم بودن اندام هوایی، پایین بوده و با رسیدن گیاه به حداکثر رشد در مرحله میانی این ضریب نیز به حداکثر مقدار خود رسیده است و در مرحله نهایی رشد با زرد شدن برگ‌ها و تمرکز بیشتر گیاه بر روی تشکیل سوخ این مقدار کاهش می‌یابد. همچنین از مقادیر ضریب تبخیر می‌توان فهمید که در ابتدای فصل رشد بدلیل پوشیده نشدن سطح خاک توسط اندام هوایی و عدم ایجاد سایه‌اندازی گیاه پیاز، ضریب تبخیر بالا بوده و به‌تدریج در مراحل میانی و نهایی رشد کاهش یافته است ولی در مرحله نهایی رشد دوباره این مقدار افزایش یافته است که به‌خاطر خشک شدن تدریجی اندام هوایی گیاه و قرار گرفتن سطح زیر پوشش گیاهی در معرض تابش خورشید می‌باشد. پژوهشی با هدف تعیین ضرایب گیاهی پایه پیاز کاشته شده در لایسیمتر با تراکم ششصدهزار بوته در هکتار در کشور اسپانیا انجام شد و مقدار ضریب گیاهی پایه در در مراحل اولیه، میانی و پایانی رشد به‌ترتیب برابر ۰/۶۰، ۱/۱۰ و ۰/۶۵ اندازه‌گیری شد (López-Urrea et al., 2009). همچنین، ضریب گیاهی پایه پیاز در مراحل اولیه، میانی و پایانی رشد به‌ترتیب برابر ۰/۱۵، ۱/۰۵ و ۰/۷۰ و ضریب تبخیر در مراحل فوق به‌ترتیب برابر ۰/۵۵، نزدیک صفر و ۰/۱۰ ارایه شده است (Allen et al., 1998). Benli et al. (2006) در پژوهشی که با استفاده از لایسیمتر انجام دادند، ضریب گیاهی پایه (K_{cb}) یونجه در مراحل اولیه رشد، میانی و پایانی رشد به‌ترتیب برابر ۰/۷۱، ۱/۷۸ و ۱/۵۱ محاسبه شد. ضریب گیاهی یگانه و ضریب گیاهی پایه نعنا فلفلی در مراحل رشد اولیه، توسعه و پایانی رشد به‌ترتیب ۰/۶۹، ۱/۰۳، ۱/۲۷ و ۰/۲۹، ۰/۸۶، ۱/۲۷ محاسبه شد. همچنین میانگین نیاز آبی نعنا فلفلی در دو لایسیمتر ۵۶۶/۴ و ۶۶۴/۴ میلی‌متر به‌دست آمد (Ghamarnia and Mousabeygi, 2014). در پژوهش دیگری که Ghamarnia et al. (2014) در کرمانشاه روی زیره سیاه انجام دادند، مقادیر ضریب گیاهی دوگانه برای مراحل رشد ابتدایی، میانی و پایانی را به‌ترتیب ۰/۲۴، ۱/۰۹ و ۰/۷۸ برآورد شد. همچنین مقدار نیاز آبی زیره سیاه ۷۲۴ میلی‌متر محاسبه شد.

تبخیر-تعرق استاندارد پیاز به روش مستقیم

مقدار تبخیر-تعرق استاندارد پیاز به روش مستقیم با استفاده از معادله‌های (۶) تا (۱۰) تعیین گردید. مقدار ضرایب ثابت C_1، C_2، C_3 و C_4 به‌ترتیب برابر با ۰/۷، ۰/۰۱، ۴۸۷/۵ و ۳/۹۷- تعیین گردید. رابطه بین مقادیر ET_c محاسبه شده و اندازه‌گیری شده با استفاده از لایسیمتر برای دو حالت واسنجی و اعتبار سنجی رسم گردید (شکل ۴). شیب نمودار خطی برازش داده شده بین ET_c محاسبه شده و اندازه‌گیری شده در مرحله واسنجی تقریبا برابر با یک و مقدار ضریب همبستگی برابر با ۰/۸۳ به‌دست آمد (شکل 4a)، که بیانگر دقت خوب مقادیر محاسبه شده است. همچنین، شیب نمودار خطی برازش داده شده بین ET_c محاسبه شده و اندازه‌گیری شده در مرحله اعتبارسنجی بیانگر این است که مقدار ET_c محاسبه شده چهار درصد کمتر از مقدار اندازه‌گیری شده می‌باشد. مقدار ضریب همبستگی ۰/۸۵ در مرحله اعتبارسنجی نیز بیانگر دقت قابل قبول مقادیر محاسبه شده است (شکل 4b).

ارتفاع

بیشترین ارتفاع گیاه در طول فصل رشد۷۱/۹ سانتی‌متر بود (شکل ۵). در مراحل انتهایی رشد پیاز به‌دلیل تمرکز گیاه بر تشکیل سوخ، اندام هوایی شروع به زرد شدن کرده و برگ‌های آن حالت افتاده به خود می‌گیرند. به همین دلیل با دقت در شکل‌های شاخص سطح برگ و ارتفاع مشاهده می‌شود که با وجود افزایش قابل توجه شاخص سطح برگ، ارتفاع روند رشدی کمتری نسبت به شاخص سطح برگ دارد. در پژوهشی که با بررسی سطوح مختلف نیتروژن انجام شد بیشترین ارتفاع گیاه پیاز ۵۶/۲ سانتی‌متر در سطح نیتروژن ۱۱۰ کیلوگرم بر هکتار حاصل گردید (Nawaz et al., 2017).

شاخص سطح برگ

در طی دوره رشد که ۱۶۶ روز بود، بیشترین میزان شاخص سطح برگ در ۱۴۷ روز بعد از کاشت و به مقدار ۳/۱ اندازه‌گیری شد (شکل ۶). با بررسی اثر تاریخ کشت‌های مختلف پیاز در منطقه نیشابور با فواصل کشت ۱۰ در ۳۰ سانتی‌متر مشاهده شد که بیشترین میزان شاخص سطح برگ برابر ۳/۱ می‌باشد (Rastegar and Khodadadi, 2008). طی پژوهشی که با بررسی محلول‌پاشی سطوح مختلف روی صورت گرفت، بیشترین میزان شاخص سطح برگ پیاز ۳/۴ گزارش گردید (Rafie et al., 2018). در شکل (۷) رابطه بین ارتفاع و شاخص سطح برگ رسم گردید. شیب معادله خطی بین ارتفاع و شاخص سطح برگ ۰/۰۴ و مقدار عرض از مبدا آن برابر صفر می‌باشد.

دمای پوشش سبز

تغییرات دمای پوشش سبز گیاه و دمای هوا در ساعت اندازه‌گیری دمای پوشش سبز گیاه در شکل (۸) آورده شده است. در ۱۳۱ روز بعد از کاشت مقدار دمای پوشش سبز حدودا برابر ۲۸ درجه سانتی‌گراد می‌باشد در حالی‌که دمای هوا ۳۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. در ۱۴۵ روز بعد از کاشت مقدار دمای پوشش سبز برابر ۲۶/۴ سانتی‌گراد می‌باشد در حالیکه دمای هوا برابر ۳۲ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. محدود تغییرات دمای پوشش سبز گیاه و دمای هوا نشان می‌دهد که گیاهان کاشته شده در لایسیمتر تحت تنش قرار ندارد. علاوه بر این، دامنه تغییرات دمای پوشش سبز گیاه اندازه‌گیری شده در محدوده دمای مطلوب رشد پیاز در مرحله تولید غده (۲۵ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد، می‌باشد Ansari, (2007). همچنین، روند کاهشی دمای پوشش سبز در طول فصل رشد به‌دلیل حرکت به سمت فصل سرد سال می‌باشد.

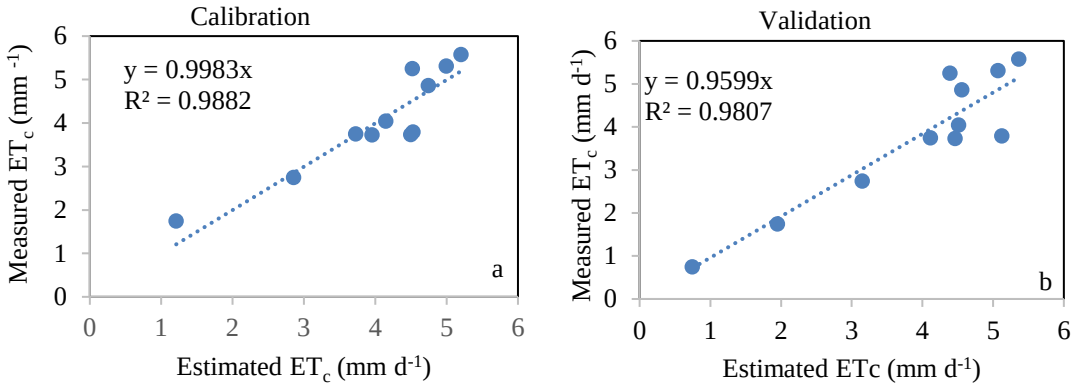


Fig. 4- The relationship between the direct estimated and measured onion standard crop evapotranspiration (ET_c) a) calibration and b) validation data

شکل ٤- رابطه بین تخمین مستقیم و اندازه‌گیری تبخیر-تعرق استاندارد پیاز a) واسنجی و b) اعتبارسنجی)

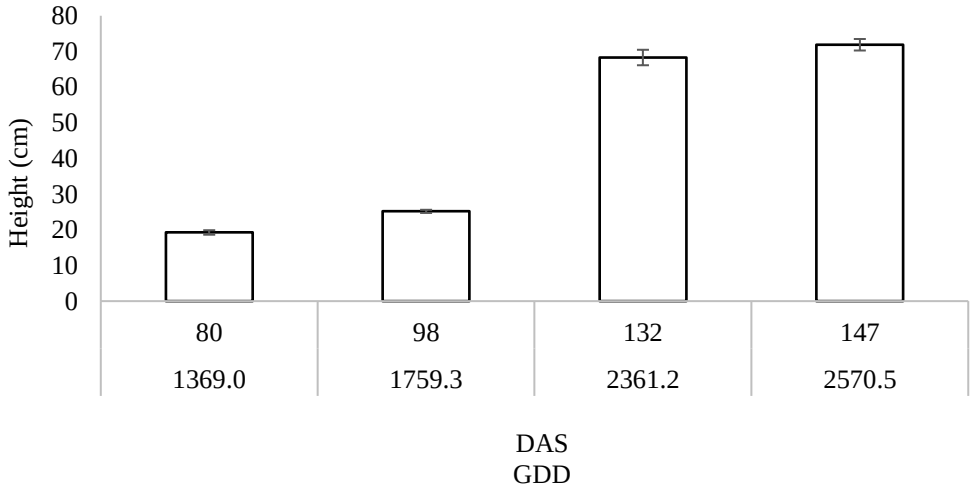


Fig. 5- Changes in onion plant height during the growing season (DAS and GDD)

شکل ٥- تغییرات در ارتفاع گیاه پیاز در طول فصل کاشت (DAS و GDD)

DOI: 10.22055/jise.2024.45245.2099

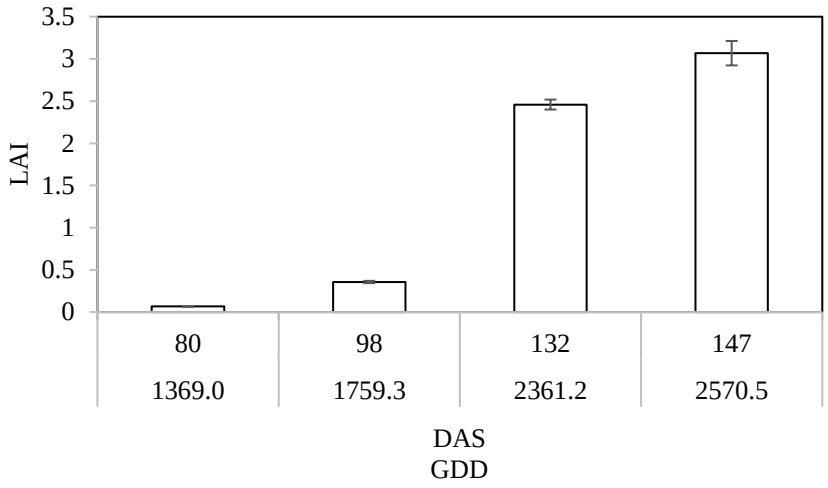


Fig. 6- Changes in onion leaf index during the growing season (DAS and GDD)
شکل ٦- تغییرات در شاخص سطح برگ پیاز در طول فصل کاشت (DAS و GDD)

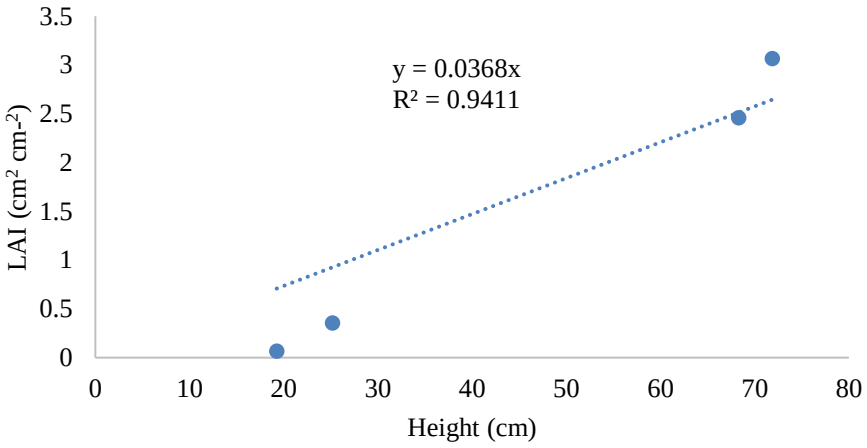


Fig. 7- The relationship between onion leaf area index and height
شکل ۷- رابطه بین شاخص سطح برگ و ارتفاع

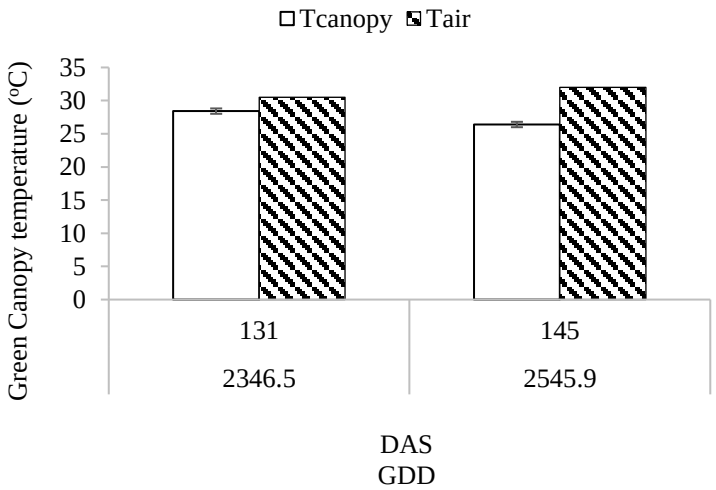


Fig. 8- Onion green canopy temperature and air temperatur during the growing season (DAS and GDD)
شکل ۸- دمای پوشش سبز پیاز و دمای هوا در طول فصل کاشت (DAS و GDD)

جدول ۳- میانگین غلظت نیتروژن در کاه و کلش، غدم و ریشه پیاز در زمان برداشت

Table 3- Average nitrogen concentration in straw, bulbs and roots of onion at harvest

Straw nitrogen (%)	Bulb nitrogen (%)	Root nitrogen (%)
2.1±0.1	1.96±0.2	2.24±0.3

جدول ٤- مقدار وزن تر و خشک پیاز در انتهای فصل رشد

Table 4- Amount of onion leaf and bulb wet and dry weight at the end of the growing season

Wet leaf weight (ton ha^{-1})	Wet bulbs weight (ton ha^{-1})	Leaf dry weight (ton ha^{-1})	Bulb dry weight (ton ha^{-1})
27.8 ± 5.51	23.93 ± 1.34	3.16 ± 0.45	3.73 ± 0.37

جدول ٥- بهره‌وری آب به ازای آب آبیاری، آب آبیاری و بارندگی و تبخیر-تعرق استاندارد گیاه پیاز

Table 5- Water productivity based on irrigation water (WP_I), water productivity based on irrigation water and rainfall (WP_{I+P}), and crop water productivity (WP_c) of onion

WP_I (kg m^{-3})	WP_{I+P}(kg m^{-3})	WP_c(kg m^{-3})
4.89±0.13	4.85±0.13	4.1±0.53

غلظت نیتروژن کاه و کلش، سوخ و ریشه

مقادیر غلظت نیتروژن کاه و کلش، سوخ و ریشه در جدول (۳) آورده شده است.درصد غلظت نیتروژن کاه و کلش، سوخ و ریشه به‌ترتیب برابر ۲/۱، ۱/۹۶ و ۲/۲۴ می‌باشد. در تحقیق دیگری، با استفاده از مقدار ۲۰۰ کیلوگرم بر هکتار نیتروژن، درصد غلظت نیتروژن اندام هوایی ذرت علوفه‌ای ۱/۲۵ درصد گزارش شد (Khodshenas et al., 2016). همچنین در پژوهشی توسط Mohammadi و Morshedi (2018) روی گیاه گندم مشاهده گردید بیشترین درصد نیتروژن غلظت اندام هوایی ۲/۹۰ درصد و مربوط به سطح کود ۵۰ کیلوگرم بر هکتار نیتروژن خالص بوده است. در پژوهشی Lorenz (1978) غلظت مجاز نیترات در پیاز را کمتر از ۲۰ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تاره اعلام کردند. با توجه به درصد غلظت نیتروژن سوخ اندازه‌گیری شده و کم بودن میزان نیتریت در خاک، این مقدار غلظت نیتروژن سوخ در محدوده مجاز قرار دارد.

زیست توده گیاه پیاز

میانگین مقادیر زیست توده گیاه پیاز در جدول (۴) آورده شده است. میانگین وزن تر و خشک برگ‌های پیاز در انتهای فصل رشد به‌ترتیب برابر با ۲۸ و ۳/۲ تن بر هکتار به‌دست آمد و همچنین، میانگین وزن تر و خشک غده‌های پیاز در انتهای فصل رشد به‌ترتیب ۲۳/۹ و ۳/۷ تن بر هکتار بود. طی پژوهشی که Backes et al. (2018) انجام دادند بیشترین مقدار وزن خشک غده پیاز ۴/۳ گرم به ازای هر بوته بود. در پژوهش دیگری اثر سه سطح آبیاری و کود نیتروژن بر رشد و محصول پیاز رقم زرگان مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد که میزان وزن خشک غده‌های پیاز در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد و ۲۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن بر هکتار (به‌صورت اوره) برابر ۳/۵۸ گرم به‌دست آمد (Roohparvar, 2020). در پژوهش دیگری با در نظر گرفتن رژیم‌های آبیاری ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی بر روی محصول پیاز به این نتیجه رسیدند که کمترین و بیشترین وزن تر غده‌های پیاز به ترتیب برابر ۵/۵ تن در هکتار (تیمار ۲۵ درصد نیاز آبی) و ۲۵ تن در هکتار (آبیاری کامل) به‌دست آمد (Bekele and Tilahun, 2007). در پژوهش دیگری که در کشور برزیل انجام شد مقدار وزن تر پیاز در رژیم آبیاری ۱۰۰ درصد برابر با ۴۳/۸۶ تن بر هکتار به‌دست آمد که در مقایسه با پژوهش حاضر به‌دلیل بارش بیشتر در طول دوره کاشت، بیشتر می‌باشد (Matsunaga et al., 2022). مقدار وزن تر غده‌های پیاز در تیمار آبیاری کامل برابر با ۴۵/۸ تن در هکتار در کشور کلمبیا در منطقه مطالعاتی Motilonia و در شرایط گلخانه‌ای به‌دست آمد که به‌علت تراکم کمتر در زمان کاشت و عدم ایجاد رقابت در جذب آب و مواد غذایی بین بوته‌ها، بیشتر از پژوهش حاضر بوده باشد (Terán-Chaves et al., 2023).

بهره‌وری آب

مقادیر بهره‌وری آب آبیاری، بهره‌وری آب آبیاری و باران و بهره‌وری آب به ازای تبخیر-تعرق در جدول (۵) آورده شده است. مقادیر بهره‌وری آب آبیاری، بهره‌وری آب آبیاری و باران و بهره‌وری آب به ازای تبخیر-تعرق استاندارد پیاز به‌ترتیب برابر با ۴/۹، ۴/۸ و ۴/۱ کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشد. با اعمال روش‌های مختلف آبیاری روی گیاه پیاز مشاهده شد که بیشترین بهره‌وری مصرف آب مربوط به روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با مقدار ۵/۱۹ کیلوگرم بر مترمکعب در هکتار و کمترین مقدار بهره‌وری مصرف آب مربوط به روش آبیاری سطحی با مقدار ۲/۳۳ کیلوگرم بر مترمکعب در هکتار می‌باشد (Piri, 2018). بهره‌وری آب به ازای تبخیر-تعرق در پژوهشی که در کشور برزیل

DOI: 10.22055/jise.2024.45245.2099

انجام شده بود، در رژیم آبیاری ۱۰۰ درصد برابر با ۱/۷۷ کیلوگرم بر مترمکعب به‌دست آمد (Matsunaga et al., 2022). همچنین مقدار بهره‌وری آب آبیاری در رژیم آبیاری ۱۰۰ درصد و در شرایط گلخانه به‌ترتیب برابر با ۳/۰۶ کیلوگرم بر مترمکعب به‌دست آمد (Terán-Chaves et al., 2023). بهره‌وری آب به ازای تبخیر–تعرق و یا به‌ازای آب مصرفی نه تنها به اقلیم مناطق یلکه به ارقام مورد استفاده و روش آبیاری بستگی دارد (Ramalan, et al., 2010; Igbadun et al., 2012; Terán-Chaves et al., 2023).

نتیجه‌گیری

در این تحقیق مقادیر تبخیر–تعرق گیاه پیاز با استفاده از نتایج لایسیمتری به‌دست آمده و با روش بیلان آب تعیین گردید. مقدار ET_C برای لایسیمترهای تحت کشت پیاز برابر ۶۵۱/۲ میلی‌متر و متوسط مقدار T برابر ۲۹۶ میلی‌متر محاسبه شد. مقدار ضریب گیاهی یگانه در مرحله اولیه رشد برای لایسیمترهای تحت کشت ۰/۵۰، در مرحله میانی رشد گیاه ۱/۰۴ و همچنین در مرحله نهایی رشد ۰/۷ محاسبه شد. مقدار ضریب K_e در مرحله اولیه رشد برای لایسیمترهای تحت کشت ۰/۴۲، در مرحله میانی رشد گیاه ۰/۲۶ و همچنین در مرحله نهایی رشد ۰/۴۷ محاسبه شد. همچنین مقدار ضریب K_{cb} در مرحله اولیه رشد برای لایسیمترهای تحت کشت ۰/۰۸، در مرحله میانی رشد گیاه ۰/۷۸ و همچنین در مرحله نهایی رشد برابر ۰/۲۲ محاسبه شد. مقادیر مورد نظر برای مدیریت و برنامه ریزی دقیق آب آبیاری مورد نیاز گیاه پیاز در مناطقی که با اقلیم خشک و نیمه خشک (به‌خصوص در استان فارس) کشت می‌شوند، کاربرد داشته و می‌تواند مورد استفاده کشاورزان، محققان، طراحان و مهندسین مشاور قرارگیرد. همچنین تعیین دقیق ضرایب گیاهی دوگانه می‌تواند در مدل‌سازی دقیق رشد گیاه کمک شایانی نماید.

تقدیر و تشکر

نویسندگان از حمایت دانشگاه شیراز، مرکز مطالعات خشکسالی و قطب علمی مدیریت آب در مزرعه تشکر و قدردانی می نماید.

References

1- Abebe, N., Kebede, E., Derese, Y., Robi, F. and Nanesa, K., 2021. Determination Crop Coefficients and Water Requirement of Onion by Using Lysimeter at Werer, Middle Awash Valley of Ethiopia. *International Journal of Research Studies in Agricultural Sciences (IJRSAS*), *7(3),* pp.14-21. Doi: 10.37421/2168-9768.2021.10.261.

2- Ahmadi, S.H., Solgi, S. and Sepaskhah, A.R., 2019. Quinoa: A super or pseudo-super crop? Evidences from evapotranspiration, root growth, crop coefficients, and water productivity in a hot and semi-arid area under three planting densities. *Agricultural Water Management*, *225*, pp:105784. Doi: 10.1016/j.agwat.2019.105784.

3- Allen, R.G., 1986. A Penman for all seasons. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering ASCE*, *112 (4),* pp:348-368. Doi: 10.1061/(ASCE)0733-9437(1986)112:4(348).

4- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO- Rome.

5- Allen, R.G., Pereira, L.S., Smith, M., Raes, D. and Wright, J.L., 2005. FAO-56 dual crop coefficient method for estimating evaporation from soil and application extensions. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, *131*(1), pp:2-13. Doi: 10.1061/(ASCE)0733-9437(2005)131:1(2)

6- Aminpour, R. and Mortazav Bak, A., 2012. Study of Quantitative and Qualitative Characteristics of Short Day Onion Cultivars in Isfahan. *Journal of Horticultural Science*, *25*(4). pp:404-410. Doi: 10.22067/JHORTS4.V1390I0.11608 (In Persian).

7- Ansari N.A., 2007. Effect of density, cultivars and sowing date on Onion sets production. *Asian Journal of Plants Science, 6,* pp:1147-1150. Doi: 10.3923/ajps.2007.1147.1150.

8- Backes, C., Villas Boas, R.L., Godoy, L.J.G.D., Vargas, P.F. and Santos, A.J., 2018. Determination of growth and nutrient accumulation in Bella Vista onion. *Revista Caatinga*, *31*(1), pp:246-254. Doi: 10.1590/1983-21252018v31n129rc

9- Bekele, S. and Tilahun, K., 2007. Regulated deficit irrigation scheduling of onion in a semiarid region of Ethiopia. *Agricultural Water Management, 89*(1-2), pp:148-152. Doi: 10.1016/j.agwat.2007.01.002.

10- Benli, B., Kodal, S., Ilboyi A. and Ustun H., 2006. Determination of evapotranspiration and basal crop coefficient of alfalfa with a weighing lysimeter. *Agricultural Water Management, 81*, pp:358-370. Doi: 10.1016/j.agwat.2005.05.003.

11- Bossie, M., Tilahun, K. and Hordofa, T., 2009. Crop coefficient and evapotranspiration of onion at Awash Melkassa, Central Rift Valley of Ethiopia. *Irrigation and Drainage Systems*, *23*(1), pp:1-10. Doi: 10.1007/s10795-009-9059-9.

12- Bremner, J.M., 1965. Total nitrogen. In: Black CA (ed) Methods of soil analysis. American Society of Agronomy, Wisconsin, pp:1149–1178.

13- Ding, R., Kang, S., Zhang, Y., Hao, X., Tong, L., Du, T., 2013. Partitioning evapotranspiration into soil evaporation and transpiration using a modified dual crop coefficient model in irrigated maize field with ground-mulching. *Agricultural Water Management, 127*, pp:85–96. Doi: 10.1016/j.agwat.2013.05.018.

14- Dirirsa, G., Hordofa, T. and Bekele, D., 2015. Water requirement and crop coefficient of onion (Red Bombay) in the Central Rift valley of Ethiopia. *International Journal of Recent Research in Life Sciences*, *2*(1), pp:1-6.

15- Eigenbrod, C. and Gruda, N., 2015. Urban vegetable for food security in cities. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, *35*, pp:483-498. Doi: 10.1007/s13593-014-0273-y.

16- Fernández, J.E., Alcon, F., Diaz-Espejo, A., Hernandez-Santana, V. and Cuevas, M.V., 2020. Water use indicators and economic analysis for on-farm irrigation decision: A case study of a super high density olive tree orchard. *Agricultural Water Management*, *237*, pp:106074. Doi: 10.1016/j.agwat.2020.106074.

17- Ghamarnia, H., Miri, E. and 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*(1), pp:67-76. Doi: 10.1007/s00271-013-0412-2.

18- Ghamarnia, H. and Mousabeygi, F., 2014. Determination of (Mentha pipertia L.) water requirement, single and dual crop coefficients. *Journal of Water and Soil*, *28*(4), pp:670-678. Doi: 10.22067/JSW.V0I0.22139 (In Persian) .

19- Gheysari, S.M., MirLatifi, M., Homaee, M. and Asadi, M.E., 2006. Determination of crop water use and crop coefficient of corn based on crop growth stages. *Journal of Agricultural Engineering Research*, *26*(7), pp:125-142. (In Persian).

20- Igbadun, H. E., Ramalan, A. A. and Oiganji, E., 2012. Effects of regulated deficit irrigation and mulch on yield, water use and crop water productivity of onion in Samaru, Nigeria. *Agricultural Water Management*, *109*, pp:162-169. Doi: 10.1016/j.agwat.2012.03.006.

21- Karandish, F., Salari, S. and Darzi Naftchali, A., 2015. Spatial prioritizing of the onion producing in warm and arid regions (Case study: Sistan and Bluchestan Province). *Journal of Plant Production*, *22*(1), pp:191-209. Doi: 20.1001.1.23222050.1394.22.1.11.8 (In Persian).

22- Keykhamoghadam, P., Kamgar Haghighi, A., Sepaskhah, A. and Zand Parsa, S., 2013. Determination of Single and dual crop coefficients and potential evapotranspiration of developed saffron. *Journal of Agricultural Meteorology*, *1*(1), pp:1-13. (In Persian).

23- Khodshenas, M.A., Ghadbeiklou, J. and Dadivar, M., 2016. The effects of source and rate of nitrogen fertilizer and irrigation on nitrogen uptake of silage corn and residual soil nitrate. *Journal of Water and Soil (Agricultural Science and Technology)*, 29(6), pp:1640-1650. Doi: 10.22067/JSW.V29I6.35254 (In Persian).

24- López-Urrea, R., de Santa Olalla, F.M., Montoro, A. and López-Fuster, P.,2009. Single and dual crop coefficients and water requirements for onion (Allium cepa L.) under semiarid conditions. *Agricultural Water Management*, *96*(6), pp:1031-1036. Doi: 10.1016/j.agwat.2009.02.004.

25- Lorenz, Q. A., 1978. Potential nitrate in edible plants part. (In: D. R. Nielson, J. G. Mac Donald eds.) Nitrogen in the environment, Vol. 2,8. Soil & plant & Nitrogen relationships, Academic Press, New York.

26- Matsunaga, W. K., da Silva, V. D. P., Amorim, V. P., Sales, E. S., Dantas, S. M. and Oliveira, A. B., 2022. Evapotranspiration, crop coefficient and water use efficiency of onion cultivated under different irrigation depths. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, *26*, pp:219-225. Doi: 10.1590/1807-1929/agriambi.v25n1p3-9.

27- Ministry of Agriculture-Jahad. 2021. https://www.maj.ir/Dorsapax/userfiles/Sub65/Amarnameh-J1-1401.pdf.

28- Mohammadi, M. and Morshedi, A., 2018. Effect of canola (*Brassica napus* L.) residue management and nitrogen fertilizer on wheat (*Triticumaestivum* L.) yield and some soil properties. *Iranian Journal of Soil*, *32*(2), pp:153-163. Doi: 10.22092/IJSR.2018.117038 (In Persian).

29- Nawaz, M.Q., Ahmed, K., Hussain, S.S., Rizwan, M., Sarfraz, M., Wainse, G.M. and Jamil, M., 2017. Response of onion to different nitrogen levels and method of transplanting in moderately salt affected soil. *Acta Agriculturae Slovenica*, *109*(2), pp:303-313. Doi: 10.14720/aas.2017.109.2.13.

30- Pereira, L.S., Paredes, P., Oliveira, C.M., Montoya, F., López-Urrea, R. and Salman, M., 2024. Single and basal crop coefficients for estimation of water use of tree and vine woody crops with consideration of fraction of ground cover, height, and training system for Mediterranean and warm temperate fruit and leaf crops. *Irrigation Science*, *42*(6), pp.1019-1058.Doi: 10.1007/s00271-023-00901-7.

31- Piri, H., 2018. Effect of different amounts of irrigation and nitrogen fertilizer on onion yield and water use efficiency in three irrigation methods. *Journal of Water Research in Agriculture, 32* (2), pp:187-200. Doi: 10.22092/jwra.2018.116953 (In Persian).

32- Rafie, M. R., Khoshgoftarmanesh, A. H., Shariatmadari, H. and Darabi, A., 2018. Dry matter accumulation pattern and growth rate of onion as affected by foliar application of various Zn fertilizer sources. *Iranian Journal of Soil Research, 31*(4), pp:559-572. Doi: 10.22092/IJSR.2018.115894 (In Persian).

33- Ramalan, A. A., Nega, H. and Oyebode, M. A., 2010. Effect of deficit irrigation and mulch on water use and yield of drip irrigated onions. *WIT Transactions on Ecology and the Environment, 134*, pp: 39-50. DOI:10.2495/SI100041.

34- Ran, H., Kang, S., Li, F., Tong, L., Ding, R., Du, T., Li, S. and Zhang, X., 2017. Performance of AquaCrop and SIMDualKc models in evapotranspiration partitioning on full and deficit irrigated maize for seed production under plastic film-mulch in an arid region of China. *Agricultural Systems, 151*, pp:20-32. Doi: 10.1016/j.agsy.2016.11.001.

35- Rastegar, J. and Khodadadi, M., 2008. Investigation on Growth Pattern and Yield of some Iranian Onion Cultivars and Landraces Based on the Physiological Indices. *Seed and Plant Journal, 24(4)*, pp:659-675. (In Persian).

36- Razmavaran, M. H., Sepaskhah, A. R. and Ahmadi, S. H., 2024. Revisiting reference evapotranspiration calculation under regional advection and its effect on single and dual crop coefficients: An empirical approach for quinoa crop. *Meteorological Applications, 31*(2), pp: e2189. Doi: 10.1002/met.2189.

37- Razzaghi, F. and Sepaskhah, A.R., 2010. Assessment of nine different equations for ET_o estimation using lysimeter data in a semi-arid environment. *Archives of Agronomy and Soil Science*, *56*(1), pp:1-12. Doi: 10.1080/03650340902829180.

38- Razzaghi, F. and Sepaskhah, A. R., 2012. Calibration and validation of four common ET_0 estimation equations by lysimeter data in a semi-arid environment. *Archives of Agronomy and Soil Science, 58*(3), pp:303-319. Doi: 10.1080/03650340.2010.518957.

39- Roohparvar, S., 2020. *Effect of Different Levels of Irrigation and Nitrogen Fertilizer on Growth and Yield of Onion (Zargan Cultivar)*. Msc thesis, Shiraz University, Iran.

40- Rostam Foroudi, B., 2006. Study on Quantitative and Qualitative Characters of Onion Cultivars and Determination of the Relation Between some Characters and Storability. *Seed and Plant Journal, 22(1),* pp:67-86. Doi: 10.22092/SPIJ.2017.110670 (In Persian).

41- Sepaskhah, A.R., Tavakoli, A.R. and Mousavi S.F., 2006. Principles and Applications of Deficit Irrigation. Iranian National Committee on Irrigation and Drainage (INCID), Tehran., 288 p. (In Persian).

42- Terán-Chaves, C.A., Montejo-Nuñez, L., Cordero-Cordero, C. and Polo-Murcia, S.M., 2023. Water Productivity Indices of Onion (Allium cepa) under Drip Irrigation and Mulching in a Semi-Arid Tropical Region of Colombia. *Horticulturae, 9(6),* pp:632. Doi: 10.3390/horticulturae9060632.

43- Tesfay, S.Z., 2005. *The effect of daylength and temperature on growth and 'onset of bulbing' in tropical cultivars of onion*. Doctoral dissertation, University of Kwazulu-Natal, South Africa.

44- Thom, A.S. and Oliver, H.R., 1977. On Penman's equation for estimating regional evaporation. *Quarterly Journal of Royal Meteorological Society*, *103*(436), pp:345–357. Doi: 10.1002/qj.49710343610.

45- Zhang, B., Liu, Y., Xu, D., Zhao, N., Lei, B., Rosa, R.D., Paredes, P., Paço, T.A. and Pereira, L.S., 2013. The dual crop coefficient approach to estimate and partitioning evapotranspiration of the winter wheat–summer maize crop sequence in North China plain. *Irrigation Science, 31(6),* pp:1303–1316. Doi: 10.1007/s00271-013-0405-1