Shahid Chamran University of Ahvaz

Irrigation Sciences and Engineering (JISE)
Vol. 44, No. 3, Fall 2021, p. 129-143

Research Paper

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

EXTENDED ABSTRACT

Effect of Regulated Deficit Irrigation and Alternate Furrow Irrigation on Water Productivity of Forage Maize in Khorramabad Climatic

M. Ahmadvand[1], M. Sharifipour[2*] and A. H. Nasrolahi[3]

1-Master of Science in Irrigation and Drainage, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University, Khorramabad, Iran.
2- Corresponding Author, Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University, Khorramabad, Iran, (sharifipour.m@lu.ac.ir).*
3- Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University, Khorramabad, Iran

ARTICLE INFO

Artlcle history:
Received: 3 September 2019
Revised: 26 November 2019
Accepted: 1 December 2019

Keywords:
Biological yield, Forage, Water productivity, Stem diameter, Stem height

TO CITE THIS ARTICLE:

Ahmadvand, M., Sharifipour, M., Nasrollahi, A. (2021). 'Effect of Regulated Deficit Irrigation and Alternate Furrow Irrigation on Water Productivity of Forage Maize in Khorramabad Climatic', Irrigation Sciences and Engineering, 44(3), pp. 129-143. doi: 10.22055/jise.2019.30759.1871.

Introduction

One of the bottlenecks in today's world is the lack of water for various uses; drinking, industry, agriculture, and environmental needs. The agricultural sector is the largest consumer of water, so it will be the first part that will be damaged by the water crisis. Therefore, using methods that increase water productivity or, in other words, increase yield production per unit volume of water is essential. Deficit irrigation is a low cost and simple method for this goal. Deficit irrigation is a method in which the amount of water the plant receives is less than the amount needed for its potential growth (Chai et al., 2016; Howell et al., 2007). This research was carried out to investigate the effect of deficit irrigation and alternate furrow Irrigation on yield and water productivity of Maize in the Khorramabad climate.

Methodology

The treatments consisted of conventional irrigation with 100% water requirement (I100), regulated deficit irrigation with supply of 80% of plant water requirement (DI80), regulated deficit irrigation by applying 60% of plant water requirement (DI60) and using partial root-zone drying (PRD), which was conducted in plots of 18 square meters in a complete randomized block design with three replications at the Research Farm of Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University. The irrigation system of the farm was surface furrow and delivered water to each plot through polyethylene pipes. The volume of water applied to each plot was measured by a volumetric counter.

In this study, the net irrigation depth was calculated by measuring soil moisture deficiency in the root zone relative to field capacity point. For this purpose, in the days before irrigation, soil samples were

taken from the plant's root in all three replications of control treatment and after weighing, they were placed in the oven and at 105 ° C for 24 hours. After drying, the samples were re-weighed and soil moisture content was determined. At the beginning of the growing season and until June 12, the same irrigation water was applied to all treatments until the plant was fully established and reached a 4 to 6 leaf stage. In fact, until the fifth irrigation, all experimental plots were irrigated equally. After this step and assurance of plant establishment, the research treatments were applied. For the treatment of deficit irrigation using partial root drying (PRD), the calculated water requirement based on 100% water supply was applied to half of the furrows. In the next irrigation event, the remained half was irrigated in the same way.

Results and Discussion

The total gross irrigation depth for the whole growth period was estimated at 705, 589, 472 and 414 mm in treatments I100, DI80, DI60, and PRD, respectively. A comparison of mean traits, water productivity and final yield of forage corn is presented in table (1).

The average biomass yield in these treatments was 65133, 45034, 31722 and 35536 kg/ha, respectively. However, the results of PRD treatment showed no significant difference with DI80 and DI60 treatments at 1% level. Also, the dry fodder yield was obtained 21560, 19609, 12562, 14868 kg/ha in the same order. However, the results of I100 and DI80 treatments and DI60 and PRD were not significantly different at 1% level. The effect of different irrigation management on water productivity was significant at 5% confidence level, so that the highest irrigation water productivity was in PRD treatment with 3.6 kg dry forage per cubic meter of water, which increased by 15, 13 and 26 percent compared with I100, DI80 and DI60 treatments, respectively. The effect of the treatments on stem diameter, leaf area and plant height were significant at 1% probability level and the highest values of these features were at I100.

Stem diameter decreased with deficit irrigation. The highest stem diameter was related to full irrigation treatment with 22.97 mm and the smallest stem diameter to 60% water requirement treatment with 17.77 mm. The stem diameter in DI80 treatment was 19.89 mm and 19.57 in PRD. Duncan's analysis of variance showed that I100 and DI80 treatments were at the same statistical level. It is necessary to explain that stem diameter is one of the traits that have always challenged the production of forage crops. In order to produce a plant with proper height that is not challenged during the growing season, strong and firm stems are inevitable, but in contrast, the factors affecting the quality of the forage stems are inversely related, since these tissues are often reduced quality.

Table 1- Comparison of mean traits, water productivity and final yield of forage corn

	Treatment			
	I_{100}	DI_{80}	DI_{60}	PRD
Biomass yield (kg/ha)	65133a	45034b	31722c	35536bc
Dried yield (kg/ha)	21560a	19509a	12560b	14868b
Water productivity for biomass yield (kg/m3)	9.239a	7.651bc	6.718c	8.584ab
Water productivity for dried yield (kg/m3)	3.058b	3.315ab	2.660c	3.59a
Stem diameter (mm)	22.97a	19.89ab	17.87b	19.57b
Leaf area of shrub (cm^2)	3769a	2731b	2304c	2579b
Shrub height (cm)	216.7a	201.5ab	163.2c	181.3bc

Conclusion

It seems that severe deficit irrigation not only reduces yield but does not help increase water productivity. If the goal is to maximize income and production per unit area, complete irrigation of the forage maize crop would be a better approach. Even this way, the water productivity to produce fresh forage will be greater. If the goal of agriculture is to produce more dry matter with higher water productivity, PRD irrigation seems to be a better approach.

Acknowledgments

This research was funded by the second and third authors' research grant and is hereby to thank the deputy of research and technology at Lorestan University for funding this research.

References

1- Chai, Q., Gan, Y., Zhao, C., Xu, H.L., Waskom, R.M., Niu, Y. and Siddique, K.H., 2016. Regulated deficit irrigation for crop production under drought stress. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, *36*(1), p.3.

2- Howell, T.A., Tolk, J.A., Evett, S.R., Copeland, K.S., Dusek, D.A. and Clemmens, A.J., 2007. Evapotranspiration of deficit irrigated sorghum and winter wheat. In *Proceedings of the USCID Fourth International Conference on Irrigation and Drainage. The Role of Irrigation and Drainage in a Sustainable Future, Sacramento, CA, USA.*

© 2021 Shahid Chamran Universiry of Ahvaz, Ahvaz, Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license) (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

علوم و مهندسی آبیاری جلد ٤٤، شماره‌ی۳، پاییز ۱٤۰۰، مقاله پژوهشی، ص. ۱٤۳-۱۲۹

اثر کم‌آبیاری تنظیم‌شده و آبیاری جویچه‌ای یک در میان بر بهره‌وری آب ذرت علوفه‌ای در شرایط اقلیمی خرم‌آباد

میلاد احمدوند[۱]، مجید شریفی‌پور[۲*] و علی‌حیدر نصرالهی[۳]

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران.
۲*- نویسنده مسئول، استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران، sharifipour.m@lu.ac.ir
۳- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران.

دریافت: ۱۳۹۸/۶/۱۲ بازنگری: ۱۳۹۸/۹/۵ پذیرش: ۱۳۹۸/۹/۱۰

چکیده

با توجه به محدودیت منابع آب برای توسعه سطوح زیر کشت فاریاب، افزایش بهره‌وری تولید به‌ازای مقدار آب مصرفی ضروری است. کم‌آبیاری یک روش ساده و کم‌هزینه برای افزایش بهره‌وری آب در مزرعه است. این پژوهش به‌منظور بررسی اثر کم‌آبیاری تنظیم‌شده و آبیاری جویچه‌ای یک در میان بر عملکرد و بهره‌وری آب ذرت علوفه‌ای در شرایط اقلیمی خرم‌آباد طی ماه‌های اردیبهشت تا شهریور سال ۱۳۹٦، در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل آبیاری با تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه (I_{100})، کم‌آبیاری تنظیم‌شده با تأمین ۸۰ و ٦۰ درصد نیاز آبی گیاه (DI_{80} و DI_{60})، و آبیاری جویچه‌ای یک در میان (PRD) بودند. میانگین عملکرد توده زنده در تیمارهای I_{100}، DI_{80}، DI_{60} و PRD به‌ترتیب ٦۵/۱، ٤۵/۰، ۳۱/۷ و ۳۵/۵ تن در هکتار بود. عملکرد علوفه خشک به همان ترتیب ۲۱/۵، ۱۹/۵، ۱۲/٦، ۱٤/۹ تن در هکتار به‌دست آمد. بیشترین بهره‌وری آب به‌ازای علوفه خشک در تیمار PRD به مقدار $3/6\ Kg/m^3$ و به‌ازای علوفه تر در تیمار I_{100} به مقدار $9/24\ Kg/m^3$ به‌دست آمد. نتایج نشان داد که چنان‌چه هدف به حداکثر رساندن درآمد و تولید در واحد سطح باشد، آبیاری کامل محصول ذرت علوفه‌ای روش بهتری خواهد بود. حتی بهره‌وری آب برای تولید علوفه تَر نیز در این روش بیشتر خواهد بود. چنان‌چه هدف از کشاورزی تولید ماده خشک بیشتر با بهره‌وری بالاتر مصرف آب باشد، آبیاری یک جویچه در میان روش مناسب‌تری به نظر می‌رسد.

کلیدواژه‌ها: عملکرد بیولوژیک، علوفه، بهره‌وری آب، قطر ساقه، ارتفاع ساقه.

مقدمه

بخش کشاورزی در قرن بیست و یکم با دو چالش عمده مواجه است. یکی این که جمعیت رو به رشد جهان افزایش تولیدات غذایی را می‌طلبد و دیگر این که افزایش تولیدات غذایی، نیازمند مدیریت بهتر منابع محدود آب است (Falkenmark and Rockström, 2004). برای تولید غذای مورد نیاز ۹/۸ میلیارد نفر جمعیت جهان در سال ۲۰۵۰، سالانه به منابع قابل استحصال آب با حجم بسیار زیادی نیاز است (Anonymous, 2017a). ضمن این که با مصارف مختلف موجود، منبع آب جدید با کیفیت مناسب به‌ندرت پیدا می‌شود (Pimentile et al., 2004). در چنین شرایطی هرگونه روش و یا فناوری که بتواند بهره‌وری مصرف آب (تولید محصول به‌آرامی واحد حجم آب) را افزایش دهد، به توسعه امنیت غذایی کمک خواهد کرد. طبیعتاً روش‌ها و فناوری‌های ارزان‌قیمت و ساده، به‌ویژه بین کشاورزان کم‌درآمد کشورهای در حال توسعه، بیشتر رواج خواهد یافت؛ کم‌آبیاری یکی از این روش‌ها است. کم‌آبیاری روشی است که در آن مقدار آبی که گیاه دریافت می‌کند، کمتر از مقدار لازم برای رشدِ بالقوه آن است (Chai et al., 2016; Howell et al., 2007). این روش یکی از فناوری‌های کلیدی صرفه‌جویی در مصرف آب در کشاورزی است (Chai et al., 2014).

برخی روش‌های نوین آبیاری با رویکرد مقابله با تنش خشکی و در راستای افزایش شاخص بهره‌وری آب آبیاری شکل گرفته است که از آن میان می‌توان به روش آبیاری بخشی منطقه ریشه (PRD)، یا آبیاری بخشی، اشاره نمود. در این روش، منطقه ریشه به نواحی مختلف تقسیم و در هر نوبت آبیاری، یک و یا چند ناحیه مرطوب شده و نواحی دیگر خشک رها می‌شوند. تکرار متناوب این روش می‌تواند تغییراتی در ساختار فیزیولوژیک گیاه ایجاد نماید که آن را از روش کم‌آبیاری تنظیم‌شده متمایز می‌سازد (Stikic et al., 2003). به‌بیان‌دیگر، به‌جای روش معمول آبیاری یکنواخت در تمام منطقه توسعه ریشه، تأمین آب به‌صورت متناوب تنها در یک طرف از منطقه ریشه صورت گرفته و در آبیاری بعدی معکوس عمل می‌شود، این روند می‌تواند بسته به نوع گیاه از ابتدا تا پایان دوره کشت ادامه یابد و یا فقط در یک مرحله خاص اعمال گردد (Jensen et al., 1990). آبیاری جویچه‌ای یک در میان یکی از

راه‌کارهای اعمال آبیاری بخشی منطقه ریشه در روش آبیاری سطحی است. آبیاری یک در میان جویچه‌ها، به‌دلیل تنش آبی ناشی از کاربرد کمتر آب آبیاری، طبیعتاً باعث کاهش عملکرد می‌شود. از طرفی با کاهش کاربرد آب، تبخیر از سطح خاک کمتر شده و راندمان مصرف آب افزایش می‌یابد (Stoll et al., 2000).

ذرت، گیاهی یک‌ساله است که به دلیل قابلیت‌هایی نظیر قدرت سازگاری با شرایط اقلیمی گوناگون، مقاومت نسبت به خشکی، عملکرد بالا، قدرت قرار گرفتن در تناوب‌های مختلف، قدرت پذیرش مکانیزاسیون و نیز مصارف متعدد ازجمله تغذیه انسان، دام و طیور، در بسیاری از مناطق جهان کشت می‌شود. ذرت علوفه‌ای از نظر تأمین انرژی و نشاسته بسیار غنی است و به همین جهت برای تغذیه دام بسیار مطلوب محسوب می‌شود (Noormohamadi et al., 2009). طبق آمارنامه کشاورزی کشور، در ۱۹۹ هزار هکتار اراضی کشور ذرت علوفه‌ای کشت شده که ۱۰/۴ میلیون تن تولید داشته است. در همین سال سطح زیر کشت ذرت علوفه‌ای در استان لرستان ۱۶۶۰ هکتار و مقدار تولید محصول ۶۶/۴ هزار تن بوده است (Anonymous, 2017b).

Alinezhadian et al. (2016)، به‌منظور بررسی تأثیر سطوح مختلف آبیاری بر بهره‌وری مصرف آب دانه‌ی ذرت، پژوهشی را در شهرستان دزفول با چهار تیمار ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد نیاز آبی گیاه روی ذرت (رقم سینگل کراس ۷۰۴) تحت آبیاری سطحی اجرا کردند. بیشترین بهره‌وری مصرف آب بر اساس عملکرد دانه در تیمار ۸۰ درصد (۲/۰۷ kg/m^3) و کمترین بهره‌وری مصرف آب براساس عملکرد دانه در تیمار ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه (kg/m^3 ۱/۳۵) به‌دست آمد.

Naderi et al. (2015)، به‌منظور بررسی اثر روش‌های مختلف کم‌آبیاری بر کارایی مصرف آب ذرت علوفه‌ای، آزمایشی را در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی انجام دادند. تیمارهای مورد بررسی عبارت بودند از تیمار آبیاری کامل و کم‌آبیاری تنظیم‌شده ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی، آبیاری بخشی ریشه به‌طور ثابت (FPRD) و آبیاری بخشی ریشه به‌طور متغیر (PRD). نتایج نشان داد به‌طورکلی عملکرد ذرت علوفه‌ای با تنش خشکی کاهش می‌یابد ولی کاربرد روش (PRD) متغیر و تأمین ۸۰ درصد نیاز آبی، ضمن صرفه‌جویی در مصرف آب به میزان ۱۴ درصد، باعث کاهش معنی‌دار عملکرد و اجزای عملکرد ذرت نشده است.

Rafiee و Shakarami (2010)، کارایی مصرف آب ذرت را در سه روش آبیاری، شامل آبیاری مرسوم جویچه‌ای، آبیاری یک در میان ثابت جویچه‌ای و آبیاری یک در میان متناوب جویچه‌ای و سه تراکم بوته‌ی مختلف (هفت، هشت و نه بوته در مترمربع) مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد اختلاف معنی‌داری میان آبیاری یک در میان ثابت جویچه‌ای و آبیاری یک در میان متناوب جویچه‌ای وجود ندارد؛ اما در مقایسه با شاهد به‌ترتیب باعث کاهش آب آبیاری به میزان ۲۶/۲ درصد و ۲۳ درصد و کاهش عملکرد به میزان ۱۱ درصد و ۱۳/۶ درصد شدند.

Zwart و Bastiaanssen (2004)، با بررسی پژوهش‌هایی که طی ۲۵ سال در محصولات گندم، برنج، پنبه و ذرت صورت گرفته بود، تغییرات شاخص بهره‌وری مصرف آب را به‌طور عمده به عوامل اقلیمی، مدیریت آبیاری و مدیریت کود نسبت دادند. نتیجه بارز این تحقیق آن بود که در صورت کاهش مقدار آب آبیاری و اعمال کم‌آبیاری، شاخص بهره‌وری مصرف آب می‌تواند به مقدار قابل‌توجهی افزایش یابد و بدین ترتیب امکان زیادی برای حفظ تولید با مصرف آب کمتر (چهار تا ۲۰ درصد) وجود دارد.

با توجه به این که تاکنون پژوهشی با موضوع کم‌آبیاری ذرت در استان لرستان انجام نشده بود، این پژوهش با هدف بررسی اثر سطوح مختلف کم‌آبیاری تنظیم‌شده و هم‌چنین آبیاری جویچه‌ای یک در میان (خشکی بخشی ریشه) بر اجزای عملکرد و بهره‌وری آب ذرت علوفه‌ای در شرایط اقلیمی خرم‌آباد انجام شد. بدین ترتیب امکان افزایش بهره‌وری آب در مدیریت‌های مختلف آبیاری این محصول مطالعه خواهد شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان واقع در کیلومتر ۱۲ جاده خرم‌آباد- اندیمشک انجام شد. آب مورد نیاز جهت آبیاری مزرعه تحقیقاتی از چاه موجود در اراضی دانشکده تأمین گردید که برخی از خصوصیات کیفی آن در جدول (۱) ارایه شده است. برای تعیین خصوصیات خاک مزرعه تحقیقاتی، در ابتدای کار و قبل از کشت از پنج نقطه به شکل W از اعماق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری شد. پس از تهیه نمونه مخلوط، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه مورد آزمایش قرار گرفت که نتیجه آن در جدول (۲) منعکس شده است. میانگین ماهانه پارامترهای هواشناسی منطقه در طول دوره رشد در جدول (۳) ارایه شده است.

عملیات کاشت ذرت در تاریخ ۲۷ اردیبهشت ۹۶ به صورت دستی انجام شد. نیاز کودی کشت، شامل ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفر، ۵۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن برآورد شد. فسفر مورد نیاز به شکل آمونیوم فسفات و دی‌آمونیوم فسفات و پتاسیم مورد نیاز به شکل سولفات پتاسیم، بعد از شخم زمین و قبل از دیسک، به‌صورت دستی به زمین اضافه شد. نیتروژن مورد نیاز خاک نیز از منبع کودی اوره و دی‌آمونیوم فسفات و در سه مرحله قبل از دیسک، مرحله هشت برگی و مرحله گل‌دهی به روش دستی در اختیار گیاه قرار گرفت.

تحقیق حاضر در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تیمار مدیریت آبیاری ذرت علوفه‌ای اجرا شد. تیمارهای مدیریت آبیاری شامل آبیاری معمولی با تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه (I_{100})، کم‌آبیاری تنظیم‌شده با تأمین ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه (DI_{80})، کم‌آبیاری تنظیم‌شده با اعمال ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه (DI_{60}) و کم‌آبیاری به روش آبیاری یک در میان جویچه‌ها به‌صورت متغیر، یا خشکی بخشی ریشه (PRD) بودند. هر تیمار در سه تکرار به‌صورت

DOI: 10.22055/JISE.2019.30759.1871

تصادفی در بلوک‌های آزمایشی قرار گرفت و برای این منظور درمجموع ۱۲ کرت آزمایشی تهیه شد. هر کرت آزمایشی به مساحت تقریبی ۱۸ مترمربع با شش جویچه انتها بسته به طول پنج متر و عرض ۶۰ سانتی‌متر ایجاد شد. از جویچه‌های وسط برای اندازه‌گیری عملکرد و اجزای عملکرد گیاه ذرت استفاده شد و جویچه‌های کناری برای حذف اثرات حاشیه‌ای در نظر گرفته شدند. برای حذف اثر تیمارها بر یکدیگر فاصله کرت‌های آزمایشی سه متر در نظر گرفته شد.

حفر شیارها با فاصله ۶۰ سانتی‌متر به‌وسیله شیارکن صورت گرفت. پس از اقدامات اولیه و تهیه زمین، عملیات کاشت ذرت در تاریخ ۲۷ اردیبهشت ۹۶ به‌صورت دستی انجام شد. رقم ذرت مورداستفاده سینگل کراس ۷۰۴ بود. بذرها قبل از کاشت با کود بیولوژیک ویژه ذرت تلقیح داده شدند. فاصله کاشت بذرها ۲۰ سانتی‌متر و عمق کاشت پنج سانتی‌متر در نظر گرفته شد. هم‌چنین به‌منظور جلوگیری از کاهش تراکم و احتمال سبز نشدن بعضی از بذرها، در هر نقطه تعداد دو بذر کاشته شد که پس از سبز شدن به یک بوته تنک شدند. به‌منظور حذف علف‌های هرز از سطح کرت‌ها، عملیات وجین در طول دوره بخصوص مراحل ابتدایی رشد و عملیات واکاری در برخی از کرت‌ها برای یکنواختی کشت صورت گرفت.

سیستم آبیاری مزرعه به‌صورت جوی و پشته‌ای بود و آب تحویلی هر کرت از طریق اتصال لوله‌های پلی‌اتیلن به سیستم انتقال آب مزرعه در داخل کرت‌های آزمایشی توزیع می‌شد. حجم آب اعمال‌شده به هر کرت توسط یک کنتور حجمی اندازه‌گیری می‌شد.

در این تحقیق عمق خالص آبیاری با استفاده از محاسبه کمبود رطوبت خاک محدوده ریشه نسبت به نقطه ظرفیت زراعی توسط رابطه (۱) محاسبه شد. برای این منظور در روزهای قبل از آبیاری نمونه‌های خاک از محدوده ریشه گیاه و در هر سه تکرار تیمار شاهد تهیه شده و پس از توزین، در آون و دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت نگه‌داری می‌شد. پس از خشک شدن خاک، نمونه‌ها دوباره وزن شده و رطوبت جرمی خاک به دست می‌آمد.

$$d_n = (\theta_{fc} - \theta_i) \times \rho_b \times Z_r \qquad (۱)$$

در این رابطه: d_n؛ عمق خالص آبیاری (میلی‌متر)، θ_i؛ رطوبت وزنی خاک قبل از آبیاری، ρ_b؛ جرم مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب) و Z_r؛ عمق ریشه (میلی‌متر) است. عمق ریشه ذرت در هر نوبت آبیاری با حفر گودال در محدوده ریشه گیاه و تهیه نمونه‌های واقعی اندازه‌گیری شد. عمق ناخالص آبیاری (d_g) نیز با توجه به راندمان آبیاری (E_a) که با در نظر گرفتن پنج درصد تلفات نفوذ عمقی، غیریکنواختی و نشت از جویچه‌ها، ۹۵ درصد منظور شد، از رابطه (۲) به‌دست آمد:

$$d_g = \frac{d_n}{E_a} \qquad (۲)$$

درنهایت حجم آب موردنیاز برای هر تیمار، با در نظر گرفتن مساحت هر کرت و ضریب کم‌آبیاری، از رابطه (۳) محاسبه و توسط کنتور حجمی اندازه‌گیری می‌شد.

$$V = d_g \times A \times f \qquad (۳)$$

که در این رابطه؛ V: حجم آب آبیاری (لیتر) در هر نوبت آبیاری، A: مساحت هر کرت (مترمربع) و f: ضریب مربوط به کم‌آبیاری هر تیمار است.

جدول ۱- خصوصیات کیفی آب آبیاری مزرعه تحقیقاتی

Table 1- Quality characteristics of irrigation water research farm

SAR $(meq/l)^{1/2}$	Na^+ (meq/l)	Mg^{2+} (meq/l)	Ca^{2+} (meq/l)	TDS (meq/l)	EC (dS/m)	pH
0.73	1.28	1.6	4.6	397	0.6	7

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

Table 2- Physical and chemical properties of farm soil

Organic carbon (%)	P (ppm)	K (ppm)	pH	EC (dS/m)	ρ_b (gr/cm^3)	PWP ($\%\Theta_m$)	FC ($\%\Theta_m$)	Texture soil	Depth of soil (cm)
1.62	6.9	345	7.03	0.1019	1.33	9	25	Silt- Loam	0-30
0.7	2.4	218	7.01	0.12	1.37	11	26	Silt- Loam	30-60

جدول ۳- میانگین ماهانه پارامترهای هواشناسی منطقه در طول دوره رشد

Table 3- Monthly averages of regional meteorological parameters during the growing period

Climatic parameters	April 21-May 21	May 22-June 21	June 22-July 22	July 23-August 22	August 23-September 22
Maximum temperature (C)	29.36	35.81	40.90	41.45	39.08
Minimum Temperature (C)	11.25	13.6	20.27	21.79	18.40
Average relative humidity (%)	49.01	22.70	15.87	13.98	14.98
Wind speed (m/s)	7.7	7.3	6.26	5.93	5.7
Precipitation (mm)	1.09	0	0	0	0

دور آبیاری در این پژوهش با توجه به عملیات مرسوم آبیاری در منطقه، شش الی هفت روز در نظر گرفته شد. ولی به‌منظور جلوگیری از تنش آبی، با حد مجاز تخلیه رطوبتی خاک که برای ذرت ۶۰ درصد در نظر گرفته شد، مقایسه و قبل از اینکه تیمار آبیاری کامل (I_{100}) تحت تنش آبی قرار گیرد، آبیاری انجام می‌شد. علاوه بر این در آبیاری‌های ابتدای فصل دور آبیاری کمتر و حدود چهار روز در نظر گرفته شد. درکشت محصول ۱۵ نوبت آبیاری انجام شد که در مجموع عمق ناخالص آبیاری در تیمار شاهد ۷۰۵ میلی‌متر برآورد گردید.

در ابتدای فصل و تا تاریخ ۹۶/۳/۲۲، برای کل تیمارها میزان آبیاری یکسان اعمال شد تا گیاه کاملاً استقرار پیدا کرده و به مرحله چهار الی شش برگی برسد؛ یعنی در واقع تا آبیاری پنجم همه کرت-های آزمایشی یکسان آبیاری شدند. بعد از این مرحله و اطمینان از استقرار کامل گیاه، تیمارهای پژوهش اعمال شد که شامل آبیاری معمولی (تیمار شاهد) با تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه (I_{100})، تیمارهای DI_{80} و DI_{60} که به‌ترتیب ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی محاسبه‌شده برای تیمار شاهد با اعمال ضریب f معادل ۰/۸ و ۰/۶ در معادله (۳) به کرت‌های مورد نظر اختصاص داده شد. برای تیمار کم‌آبیاری به روش آبیاری یک در میان جویچه‌ها به‌صورت متغیر (PRD)، میزان نیاز آبی محاسبه‌شده براساس ۱۰۰ درصد نیاز آبی برای هر جویچه محاسبه‌شده و به‌جای آبیاری کامل کرت آزمایشی، در هر آبیاری نیمی از جویچه‌ها آبیاری شده و در آبیاری بعدی جویچه‌های باقی‌مانده آبیاری می‌شد. در واقع در این روش مدیریتی در هر آبیاری جویچه‌ها به‌صورت یک در میان خشک باقی می‌ماند و در نوبت آبیاری بعدی جای جویچه‌ها عوض می‌شد.

برای بررسی روند تغییرات عملکرد ذرت علوفه‌ای تحت تیمارهای مختلف مدیریت آبیاری، وزن تر و خشک توده سبز گیاه در هشت مرحله از رشد اندازه‌گیری و محاسبه شد. از هر کرت در هر مرحله تعداد پنج بوته از سطح خاک به‌طور کامل بریده شد و پس از قرار گرفتن تمامی اجزای هر بوته در پاکت‌های مخصوص به آزمایشگاه منتقل شد. در آزمایشگاه ابتدا نمونه‌ها توزین شده و وزن تر توده گیاهی ثبت شد سپس هرکدام به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. نمونه‌های خشک دوباره وزن شده و وزن خشک توده گیاهی به‌دست آمد.

برداشت محصول در تاریخ ۹۶/۵/۲۹ در زمانی انجام شد که دانه ذرت در اواخر مرحله شیری و اوایل مرحله خمیری قرار داشت. در پایان دوره و زمان برداشت، برخی از صفات ظاهری گیاه ذرت از جمله ارتفاع گیاه، مساحت برگ و قطر ساقه در تیمارهای مختلف اندازه‌گیری شد. در این‌جا نیز از هر کرت تعداد پنج بوته جدا شده و صفات مورد نظر برای هر بوته اندازه‌گیری و ثبت شد. ارتفاع گیاه با استفاده از متر پارچه‌ای و قطر ساقه به‌وسیله‌ی کولیس اندازه‌گیری شدند. برای تعیین مساحت برگ‌ها، دو بوته از هر کرت آزمایشی جدا کرده، برگ‌ها از بوته جدا شده و سپس مساحت برگ‌های هر بوته با استفاده از کاغذ شطرنجی اندازه‌گیری شد.

عملکرد بیولوژیکی برابر وزن خشک کلیه‌ی اندام‌های گیاه به‌جز ریشه در نظر گرفته شد. بهره‌وری آب آبیاری، به‌عنوان شاخص مدیریت آب در مزرعه، با استفاده از رابطه (۴) محاسبه شد و در تیمارهای مختلف مورد مقایسه قرار گرفت.

$$\text{بهره‌وری آب آبیاری} = \frac{\text{عملکرد بیولوژیک (Kg)}}{\text{میزان آب مصرفی } (m^3)} \qquad (۴)$$

نتایج و بحث

حجم آب مصرفی ذرت علوفه‌ای در شرایط مزرعه‌ای

در طول فصل کشت ذرت علوفه‌ای در تحقیق حاضر ۱۵ آبیاری صورت گرفت. در شکل (۱) میزان آب آبیاری به‌صورت تجمعی در طول فصل رشد برای چهار تیمار مدیریت آبیاری نشان داده شده است. هم‌چنان که در این شکل مشخص است مصرف آب آبیاری ذرت برای تیمارهای مختلف، در پنج آبیاری اول یکسان و برابر ۱۲۳ میلی‌متر یا معادل ۱۲۳۰ مترمکعب در هکتار بود. از آبیاری ششم به بعد تیمارهای آزمایشی اعمال شد. برای کل دوره آزمایش مجموع عمق آبیاری در تیمارهای I_{100}، DI_{80}، DI_{60} و PRD به‌ترتیب ۷۰۵، ۵۸۸/۶، ۴۷۲/۲ و ۴۱۴ میلی‌متر برآورد شد که بیشترین میزان آب مصرفی در تیمار I_{100} و کمترین مقدار آن مربوط به تیمار PRD بود. به عبارتی آب مصرفی در مدیریت آبیاری یک در میان جویچه‌ها نسبت به آبیاری کامل، در زمان اعمال تیمارها ۵۰ درصد، و در کل دوره کشت حدود ۴۰ درصد کاهش پیدا کرده است. در تحقیق

DOI: 10.22055/JISE.2019.30759.1871

Akbarinodehi (2015) نیز مدیریت آبیاری یک در میان متناوب باعث کاهش ۳۱ درصدی مصرف آب ذرت علوفه‌ای نسبت به آبیاری کامل در طول دوره کشت شد. در طول دوره اعمال تیمارهای آزمایشی (از آبیاری ششم به بعد) میزان آب مورد استفاده برای آبیاری ذرت علوفه‌ای در مدیریت‌های I_{100}، DI_{80}، DI_{60} و PRD به‌ترتیب معادل ۵۸۲، ۴۶۵/۶، ۳۴۹/۲ و ۲۹۱ میلی‌متر بوده است. ملاحظه می‌شود که پس از اعمال تیمارهای آزمایشی در مدیریت کم‌آبیاری به روش آبیاری یک در میان جویچه‌ها به‌صورت متغیر (PRD)، میزان آب آبیاری نسبت به آبیاری معمولی با تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه (I_{100})، ۵۰ درصد کاهش یافته است. در واقع در این روش مدیریتی، هر بار تنها نیمی از جویچه‌ها آبیاری شد.

روند تغییرات رشـــد ذرت در طول دوره برای تیمارهای مختلف آبیاری

وزن علوفه تر و خشک ذرت برای تیمارهای مختلف مدیریت آبیاری هشت بار در طول فصل اندازه‌گیری شد. شکل‌های (۲ و ۳) روند افزایش وزن علوفه را در روزهای مختلف بعد از کشت نشان می‌دهد. چنان که مشاهده می‌شود، در اوایل دوره رشد، مقدار علوفه خشک و تر در تیمار PRD نسبت به DI_{60} کمتر بوده است. ولی در اندازه‌گیری‌های انجام شده در روز ۷۵ پس از کاشت و بعد از آن، این مقادیر در تیمار PRD از تیمار DI_{60} پیشی گرفته‌اند. ممکن است که تغییرات ایجاد شده در ساختار فیزیولوژیک گیاه در طول اعمال تیمار PRD، منجر به ایجاد این تفاوت شده است. Kang و Zhang (2004) گزارش کردند که PRD می‌تواند زمینه تولید ریشه‌های ثانویه و توسعه ریشه‌های اولیه را فراهم آورد و در نهایت موجب افزایش جذب آب گردد. به‌نظر می‌رسد در این پژوهش نیز همین فرایند موجب برتری تیمار PRD نسبت به DI_{60} شده باشد. این شکل‌ها هم‌چنین نشان می‌دهند که کم‌آبیاری در اوایل دوره رشد تأثیر کمتری بر گیاه داشته و در ادامه دوره تأثیر آن بر کاهش عملکرد افزایش یافته است.

تجزیه واریانس عملکرد نهایی و بهره‌وری آب ذرت علوفه‌ای

نتایج تجزیه واریانس وزن خشک و تر علوفه نهایی در جدول (۴) آورده شده است. براساس نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای مختلف مدیریت آبیاری روی وزن نهایی تر و خشک علوفه در سطح اطمینان یک درصد معنی‌دار شده ولی تأثیر تکرار معنی‌دار نبوده است.

شاخص بهره‌وری آب آبیاری برای عملکرد توده زنده (Biomass) از تقسیم عملکرد توده زنده (کیلوگرم در هکتار) بر میزان آب آبیاری (مترمکعب بر هکتار) و شاخص بهره‌وری آب آبیاری برای عملکرد توده خشک گیاه از تقسیم وزن خشک علوفه تولیدی (کیلوگرم در هکتار) بر میزان آب آبیاری (مترمکعب) به‌دست آمدند. نتایج تجزیه واریانس بهره‌وری آب آبیاری برای عملکرد توده زنده و خشک گیاه ذرت در جدول (۵) آورده شده است. بر اساس نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای مختلف مدیریت آبیاری روی بهره‌وری آب آبیاری برای عملکرد توده زنده و خشک گیاه ذرت در سطح اطمینان پنج درصد معنی‌دار شد ولی تأثیر تکرار معنی‌دار نبوده است.

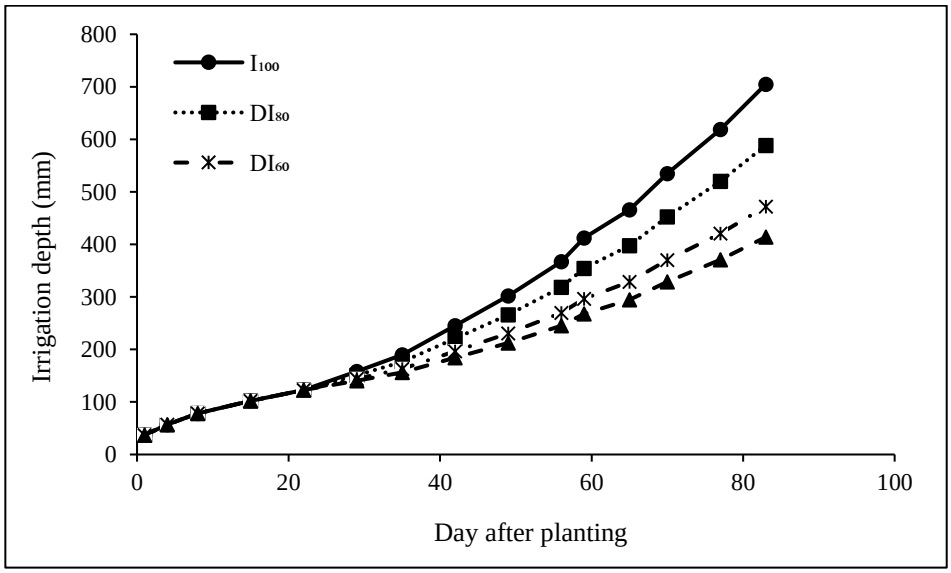

Fig. 1- The amount of irrigation water for different treatments during the growing season of forage maize

شکل ۱- میزان آب آبیاری برای تیمارهای مختلف در طول فصل رشد ذرت علوفه‌ای

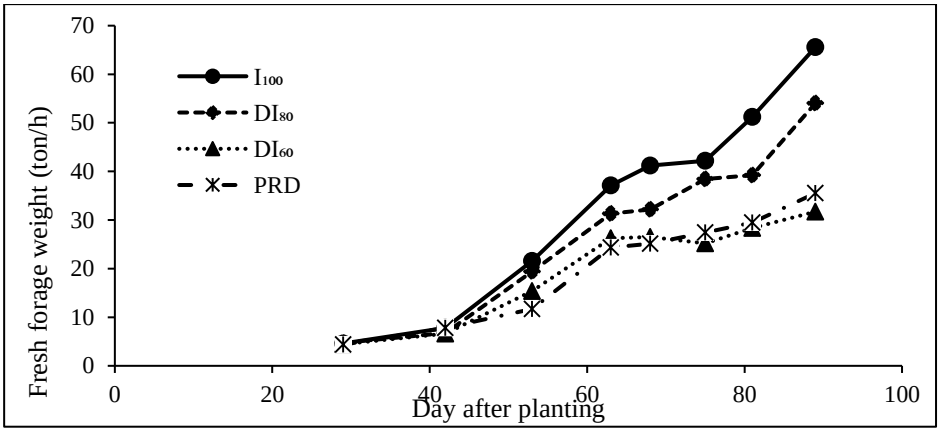

Fig. 2- Trends of changes in fresh forage weight for different treatments during the growing season

شکل ۲- روند تغییرات وزن علوفه تر برای تیمارهای مختلف در طول فصل رشد

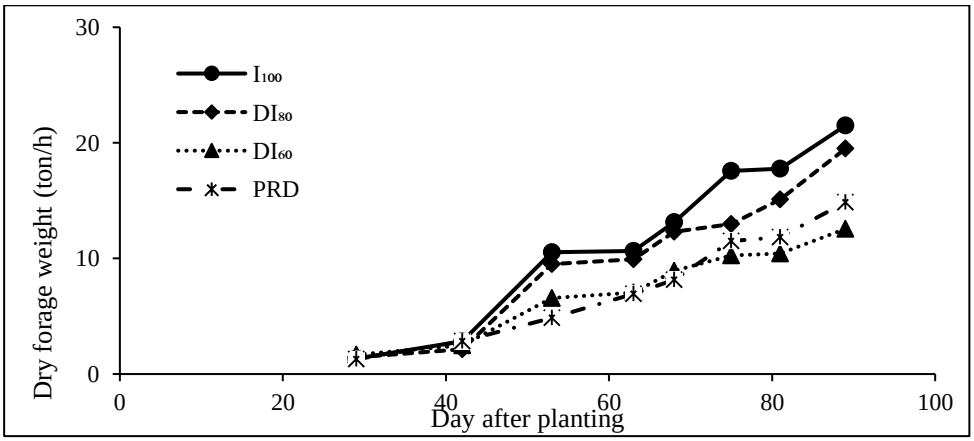

Fig. 3- Trends of changes in fresh forage weight for different treatments during the growing season

شکل ۳- روند تغییرات وزن علوفه خشک برای تیمارهای مختلف در طول فصل رشد

جدول ٤- نتایج تجزیه واریانس عملکرد محصول در تیمارهای مختلف آبیاری

Table 4- Analysis of variance of product yield in different irrigation treatments

Sources of changes	Degrees of freedom	Average of squares	
		Dry weight of forage	Fresh weight of forage
Replication	2	7046168.092 ns	5338422.337 ns
Treatment	3	51267598.928**	669544224.283**
Error	6	1530806.165	11530753.465
Coefficient of variation(%)		7.22	7.66

ns: non-significant, and**: significant at 1% probability level

جدول ٥- نتایج تجزیه واریانس بهره‌وری آب تیمارهای آبیاری

Table 5- Analysis of variance of water productivity of irrigation treatments

Sources of changes	Degrees of freedom	Average of squares	
		Water productivity of fresh forage	Water productivity of dry forage
Replication	2	0.154 ns	0.245 ns
Treatment	3	3.631*	0.470**
Error	6	0.384	0.072
Coefficient of variation (%)		7.70	8.49

ns: non-significant, *: significant at 5% probability level, and**: significant at 1% probability level

DOI: 10.22055/JISE.2019.30759.1871

تأثیر مدیریت‌های مختلف آبیاری بر برخی صفات ذرت علوفه‌ای

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر رژیم‌های مختلف آبیاری بر قطر ساقه، مساحت سطح برگ و ارتفاع بوته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار می‌باشد (جدول ۶). این در حالی است که اثر تکرار در هیچ‌یک از صفات مورد بررسی معنی‌دار نبود.

به‌منظور بررسی دقیق‌تر تأثیر مدیریت‌های مختلف آبیاری بر عملکرد نهایی، بهره‌وری آب آبیاری و صفات مورد بررسی ذرت علوفه‌ای در انتهای فصل، مقایسه میانگین با استفاده از آزمون آماری دانکن روی وزن تر و خشک علوفه صورت گرفت (جدول ۷).

عملکرد نهایی علوفه تر

با توجه به جدول (۷) عملکرد علوفه تر با اعمال کم‌آبیاری کاهش یافت، به‌طوری‌که بیشترین عملکرد توده زنده مربوط به تیمار I_{100} با میانگین ۶۵۱۳۳ کیلوگرم در هکتار بود، سپس تیمارهای DI_{80}، PRD و DI_{60} به‌ترتیب با میانگین ۴۵۰۳۴، ۳۵۵۳۶ و ۳۱۷۲۲ کیلوگرم در هکتار قرار دارند. نتایج نشان داد از لحاظ آماری بین تیمار I_{100} و بقیه تیمارها تفاوت معنی‌داری وجود دارد. Sincik et al. (2008) نیز تیمار آبیاری کامل را بهترین تیمار برای دستیابی به بالاترین عملکرد معرفی کردند. تیمارهای PRD و DI_{80} در یک سطح معنی‌داری قرار دارند با این تفاوت که تیمار PRD ۳۰ درصد آب کمتری در طول اعمال تیمار نسبت به تیمار DI_{80} مصرف کرده است و ۲۱ درصد کاهش محصول داشته است. هم‌چنین تیمار PRD و تیمار DI_{60} در یک سطح معنی‌داری قرار دارند با این تفاوت که تیمار PRD در طول اعمال تیمار، ده درصد آب کمتری مصرف کرده ولی ده درصد افزایش عملکرد محصول داشته است. عملکرد تیمار DI_{80} و تیمار DI_{60} نسبت به تیمار I_{100} به‌ترتیب ۳۰ و ۵۰ کاهش یافت.

تنش کم‌آبی، علاوه بر کاهش سطح برگ، فتوسنتز را در برگ‌های در حال توسعه کاهش می‌دهد از سوی دیگر، انتقال شیره از آوند آبکش وابسته به پتانسیل فشار است که در طی تنش کم‌آبی، پتانسیل آب در آوند آبکش کاهش می‌یابد و کاهش در پتانسیل آماس نیز از انتقال مواد فتوسنتزی می‌کاهد (Kafi and Mahdavi Damghani, 2002).

جدول ٦- نتایج تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده تیمارهای آبیاری

Table 6- Analysis of variance of the measured characteristics of irrigation treatments

Sources of changes	Degrees of freedom	Average of squares		
		Stem diameter	Leaf area of shrub	Shrub height
Replication	2	0.723 ^{ns}	17697.739 ^{ns}	23.896 ^{ns}
Treatment	3	13.507**	1229305.033**	1636.722**
Error	6	1.056	42149.779	74.035
Coefficient of variation (%)		5.12	7.21	4.51

ns: non-significant, *: significant at 5% probability level, and**: significant at 1% probability level

جدول ۷- مقایسه میانگین‌های عملکرد نهایی، بهره‌وری آب و صفات مورد بررسی ذرت علوفه‌ای

Table 7- Comparison of mean traits, water productivity and final yield of forage corn

	Treatment			
	I_{100}	DI_{80}	DI_{60}	PRD
Biomass yield (kg/ha)	65133a	45034b	31722c	35536bc
Dried yield (kg/ha)	21560a	19509a	12560b	14868b
Water productivity for biomass yield (kg/m3)	9.239a	7.651bc	6.718c	8.584ab
Water productivity for dried yield (kg/m3)	3.058b	3.315ab	2.660c	3.59a
Stem diameter (mm)	22.97a	19.89ab	17.87b	19.57b
Leaf area of shrub (cm^2)	3769a	2731b	2304c	2579b
Shrub height (cm)	216.7a	201.5ab	163.2c	181.3bc

عملکرد نهایی توده خشک

نتایج مقایسه میانگین وزن علوفه نهایی یا همان وزن خشک علوفه نشان داد که بیشترین عملکرد علوفه در تیمار آبیاری کامل (I_{100}) با میزان ۲۱۵۶۰ کیلوگرم در هکتار و کمترین عملکرد مربوط به تیمار کم‌آبیاری تنظیم‌شده به میزان ۶۰ درصد نیاز آبی (DI_{60}) می‌باشد که معادل ۱۲۵۶۲ کیلوگرم در هکتار است. در مدیریت کم-آبیاری با تأمین ۸۰ درصد نیاز آبی (DI_{80}) نیز عملکرد نهایی علوفه معادل ۱۹۵۰۹ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد که نسبت به تیمار آبیاری کامل حدود ده درصد کاهش عملکرد مشاهده شد. عملکرد علوفه در تیمار مدیریت آبیاری یک در میان (PRD)، ۱۴۸۶۸ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد که نسبت به تیمار آبیاری کامل ۳۱ درصد کاهش یافته است. این در حالی است که در تیمار مدیریت آبیاری یک در میان با وجود مصرف آب کمتر نسبت به تیمار DI_{60} حدود دو تن افزایش عملکرد مشاهده می‌شود.

آزمایش‌های Tollenaar و Dwyer (1999) نشان داد که تجمع ماده خشک در ذرت به کل تابش ورودی و توزیع آن، شاخص سطح برگ، ساختار پو شش گیاهی و سرعت فتو سنتز وابسته است. Pandey et al. (2000) نیز تأثیر کم‌آبیاری بر کاهش سطح برگ و کاهش ر شد و ماده خ شک گیاه در اثر آن را گزارش کردند.

توقف ر شد و کاهش اندازه برگ و سطح فتو سنتز که موجب کم شدن رشد و در نهایت کاهش عملکرد در اثر کم‌آبیاری می‌شود، با نتایج تحقیقات Oktem et al. (2003) و Karimi et al. (2009) مبنی بر اینکه عملکرد ماده خشک ذرت در اثر کمبود آب به‌طور معنی‌دار کاهش می‌یابد، مطابقت دارد.

بهره‌وری آب آبیاری برای عملکرد توده زنده گیاه

نتایج مقایسه میانگین بهره‌وری آب آبیاری برای عملکرد توده زنده گیاه ذرت علوفه‌ای (جدول ۷) نشان داد که حداکثر بهره‌وری آب آبیاری برای عملکرد توده زنده گیاه مربوط به تیمار آبیاری I_{100} با میانگین ۹/۲۴ کیلوگرم بر مترمکعب که با تیمار مدیریت آبیاری یک در میان با مقدار ۸/۵۸ کیلوگرم بر مترمکعب در یک سطح آماری قرار داشته و تفاوت معنی‌دار ندارند. حداقل بهره‌وری آب آبیاری برای این حالت مربوط به تیمار DI_{60} به‌دست آمد که معادل ۶/۷۲ کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشد. براساس نتایج مقایسه میانگین، بهره‌وری آب آبیاری در تیمار DI_{80}، ۷/۶۵ کیلوگرم بر مترمکعب محاسبه شد که نسبت به تیمار I_{100}، ۱۷ درصد کاهش و نسبت به تیمار DI_{60}، ۱۴ درصد افزایش یافته است.

افزایش بهره‌وری آب در اثر کم‌آبیاری در نتایج بسیاری از مطالعات گزارش شده است. یکی از مهمترین دلایل برتری PRD نسبت به باقی روش‌ها، تغییر سیستم ریشه تحت این مدیریت آبیاری گزارش شده است (Sadranasab et al., 2014). کم‌آبیاری به روش PRD سبب می شود که ریشه‌ها خشکی خاک را حس کنند، این موجب می‌شود که اسید آبسیزیک (ABA) توسعه برگ و هدایت روزنه‌ای را کاهش دهد، به‌طور همزمان ریشه‌ها در قسمت خیس خاک آب کافی جذب می‌کنند تا مقدار آب را در اندام هوایی بالا نگه دارند (Zegbe et al., 2004).

بهره‌وری آب آبیاری توده خشک گیاه ذرت

بررسی مقایسه میانگین نشان می‌دهد که بیشترین بهره‌وری آب آبیاری توده خشک گیاه ذرت مربوط به تیمار آبیاری مدیریت یک در میان (PRD) با میانگین ۳/۵۹ کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشد که با تیمار DI_{80} با مقدار ۳/۳۲ کیلوگرم بر مترمکعب در یک سطح آماری قرار دارند. هرچند در تیمارهای PRD و DI_{80} تفاوت بهره‌وری معنی‌دار نیست اما انتخاب تیمار مناسب بستگی به اهداف مدیریت مزرعه دارد به‌طوری‌که اگر هدف عملکرد بیشتر باشد، تیمار DI_{80} و در شرایطی که هدف مصرف آب کمتر باشد، تیمار PRD توصیه می‌شود. این نتایج با نتایج تحقیقات Hanks (1974) و Karimi et al. (2009) مطابقت دارد. کمترین میزان بهره‌وری آب آبیاری در تیمار DI_{60} به‌میزان ۲/۶۶ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمد که با بقیه تیمارها اختلاف معنی‌دار داشته و نسبت به تیمارهای PRD و DI_{80} به‌ترتیب ۳۵ درصد و ۱۹ درصد کاهش‌یافته است. در تیمار مدیریت آبیاری کامل (I_{100}) بهره‌وری آب آبیاری ۳/۰۶ کیلوگرم بر مترمکعب به‌دست آمد که با تیمارهای PRD و DI_{60} تفاوت معنی‌دار داشت، به‌طوری‌که نسبت به تیمار مدیریت یک در میان PRD حدود ۱۵ درصد کاهش یافته است و نسبت به تیمار DI_{60} حدود ۱۲ درصد افزایش یافته است. در واقع کاهش ۱۶ و ۴۱ درصدی آب مصرفی در تیمارهای DI_{80} و PRD نسبت به آبیاری کامل در طول فصل کشت ذرت علوفه‌ای، موجب افزایش بهره‌وری آب آبیاری گردید.

قطر ساقه

طبق جدول (۷) قطر ساقه با کم‌آبیاری کاهش یافت. بیشترین قطر ساقه مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی با ۲۲/۹۷ میلی‌متر و کوچک‌ترین آن مربوط به تیمار ۶۰ درصد نیاز آبی با ۱۷/۸۷ میلی‌متر می‌باشد. قطر ساقه در تیمار ۸۰ درصد نیاز آبی (DI_{80}) ۱۹/۸۹ میلی‌متر و در تیمار آبیاری مدیریت یک در میان (PRD) ۱۹/۵۷ میلی‌متر به‌دست آمد. نتایج تجزیه واریانس دانکن نشان داد که تیمارهای ۱۰۰ در صد نیاز آبی (I_{100}) و DI_{80} در یک سطح آماری قرار دارند و هم‌چنین تیمار آبیاری مدیریت یک در میان متغیر (PRD) با تیمار DI_{60} در یک سطح معنی‌داری قرار دارند. تیمار DI_{80} با روش جویچه یک در میان متغیر کمتر از دو درصد اختلاف عددی دارند با این تفاوت که تیمار ۸۰ درصد نیاز آبی آب بیشتری نسبت به روش آبیاری مدیریت یک در میان متغیر (PRD) در طول اعمال تیمار داشته است.

دلیل افزایش قطر ساقه را می‌توان به تولید و تجمع بالاتر مواد در گیاه نسبت داد (Ehteshami et al., 2013). لازم به توضیح می‌باشد که قطر ساقه از جمله صفاتی است که افزایش آن

DOI: 10.22055/JISE.2019.30759.1871

همواره تولید محصـولات علوفه‌ای را با چالش مواجه کرده اسـت. برای تولید گیاه با ارتفاع مناسب که در فصل رشد با مشکل مواجه نشود، وجود ساقه قوی و مستحکم امری اجتناب‌ناپذیر است؛ اما در مقابل، عوامل ایجاد اسـتحکام در سـاقه با کیفیت علوفه رابطه معکوس دار ند؛ زیرا این با فت ها اغ لب لیگنینی بوده و مو جب کاهش کیفیت علوفه می‌شـوند. سـاقه علاوه بر وظیفه‌ای که در مورد حفظ موقعیت فضـایی اندام‌هایی مانند برگ‌ها و گل‌آذین و هم‌چنین انجام نقل و انتقال مواد غذایی دارد به‌عنوان ذخیره مواد غذایی عمل می‌نماید.

Jafarzadeh Kenarsari و Pustini (1998) معت قد ند ارتفاع گیاه و تا حدی قطر سـاقه را می‌توان معرف میزان رشـد رویشـی دانسـت. Kamara et al. (2003)، Plaut (1995) و Pendy et al. (2000) در مطالعه اثر تنش رطوبتی در مراحل مختلف رشد ذرت گزارش کردند که تنش آب و کاهش مصرف آن منجر به کاهش ارتفاع و قطر ساقه می‌شود.

مساحت سطح برگ

در این تحقیق با توجه به نتایج جدول (۷)، بیشترین مساحت برگ‌ها مربوط به تیمار آبیاری کامل (DI_{100}) با مقدار ۳۷۶۹ سانتی‌متر و کمترین آن‌ها مربوط به تیمار DI_{60}، ۲۳۰۴ سانتی‌متر می‌باشد. به نظر می‌آید تنش رطوبتی موجب کاهش در تعداد برگ و سطح برگ گیاه ذرت می‌شود که اثر این دو باعث کاهش فتوسنتز و پایین آمدن عملکرد می‌گردد مساحت سطح برگ تیمار DI_{80}، ۲۷۳۱ سانتی‌متر و تیمار آبیاری مدیریت یک در میان (PRD) ۲۵۷۹ میلی‌متر به‌دست آمد. محاسبات آماری نشان داد که بین تیمارهای مختلف آبیاری از نظر مساحت برگ‌ها در سطح احتمال یک‌درصد معنی‌دار گردید. بین تیمارهای ۸۰ درصد نیاز آبی و آبیاری به روش جویچه یک در میان متغیر تفاوت معنی‌داری وجود ندارد. Rawson و Turne (1982) طی آزمایشی نتیجه گرفتند سطح برگ با افزایش مقدار آب مصرفی بزرگ‌تر می‌گردد. نشانه اصلی تنش خشکی در مرحله رویشی کاهش تعداد و اندازه برگ‌هاست. اگر کمبود آب ادامه یابد برگ‌های پایینی ریخته و ارتفاع گیاه به میزان قابل‌توجهی کمتر از حد طبیعی خواهد بود. محققان دیگری نیز نظیر Pandey et al.(2000) نیز کاهش معنی‌دار سطح برگ را در اثر تنش خشکی تأیید می‌کنند. Ritchie (1973) نیز گزارش کرد که سطح برگ در بوته‌های تحت شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی در تمام فصل رشد تفاوت قابل‌ملاحظه‌ای با هم نداشتند اما تنها تفاوتی که در سطح برگ بین تیمارهای آبیاری مطلوب و تنش خشکی مشاهده شد، مربوط به انتهای دوره رشد بوده که در آن بوته‌های تحت شرایط تنش سطح برگ خود را زودتر از دست دادند.

ارتفاع بوته

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که کم‌آبیاری سبب کاهش ارتفاع بوته می‌شود (جدول ۷). با توجه به مصرف آب بیشتر و تأثیر این عامل بر رشد رویشی و افزایش فاصله بین گره‌ها، حداکثر ارتفاع بوته با میانگین ۲۱۶ سانتی‌متر مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی بود و کمترین ارتفاع بوته با میانگین ۱۶۳ سانتی‌متر در تیمار DI_{60} مشاهده شد. ارتفاع بوته تیمار DI_{80}، ۲۰۱ سانتی‌متر و تیمار آبیاری مدیریت یک در میان (PRD) ۱۸۱ سانتی‌متر به‌دست آمد. بین تیمار آبیاری ۸۰ درصد نیاز آبی و تیمار آبیاری مدیریت یک در میان (PRD) اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. هم‌چنین بین تیمار آبیاری یک جویچه در میان (PRD) و تیمار DI_{60} نیز اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. داشتن ساقه طویل‌تر به معنی داشتن سطح فتوسنتزکننده بیشتر و تولید مواد متابولیک بیشتر می‌باشد که باعث عملکرد بیشتر گیاه می‌شود(Ehteshami et al., 2013) . البته بایستی توجه داشت که افزایش بیش‌ازحد ارتفاع نیز مناسب نیست. El Neomani et al. (1990) نیز گزارش کرده‌اند که تنش در ابتدای رشد سریع، ارتفاع ذرت را به طرز چشم‌گیری کاهش می‌دهد هرچند تولید ماده خشک وابسته به اندازه سطوح تولیدکننده مواد فتوسنتزی است. نتایج تحقیق Goksoy et al. (2004) حاکی از آن است که کاربرد رژیم‌های آبیاری کامل به‌طور معنی‌داری صفت ارتفاع گیاه را افزایش می‌دهد. کاهش ارتفاع، در نهایت باعث کاهش میزان مواد فتوسنتزی تولیدی در زمان پر شدن دانه در بلال می‌گردد. Hoogenboom et al. (1987) نیز به اثر کم‌آبی بر ارتفاع بوته از طریق کاهش مقدار فتوسنتز و در نتیجه کاهش طول میان گره‌ها اشاره داشته‌اند. نتایج این تحقیق با بررسی‌های Karimi et al. (2009)، Shoae Hosseini et al. (2008)، Pandey et al. (2000)، Ranjbar (2001)، Traore et al. (2000) و Yazar et al. (2000) مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری

بیشترین عملکرد توده زنده و علوفه خشک مربوط بـه تیمـار آبیاری کامل به‌ترتیب با میانگین ۶۵/۱ و ۲۱/۶ تن در هکتار و کمترین عملکرد توده زنده و علوفه خشک مربـوط بـه تیمـار تأمین ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه (DI_{60}) به‌ترتیب با میانگین ۳۱/۷ و ۱۲/۶ تن در هکتار بود. عملکرد توده زنده و علوفه خشک در تیمار PRD، به ترتیب ۳۵/۵ و ۱۴/۹ تن در هکتار به‌دست آمد که با وجود مصرف آب کمتر، عملکرد توده زنده و علوفه خشک نسبت به تیمـار تأمین ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه، به ترتیب ۳/۸ و ۲/۳ تن در هکتار بیشتر بود.

بیشترین بهره‌وری آب آبیاری برای علوفه خشک در تیمار PRD به مقدار ۳/۶ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمد که نسبت به تیمارهای I_{100}، DI_{80} و DI_{60} به ترتیب ۱۷/۴ و ۸/۳ و ۳۵/۰ درصد بیشتر بود. ولی برای علوفه تازه (تَر) بیشترین بهره‌وری آب آبیاری برای تیمار آبیاری کامل به دست آمد که نسبت به تیمارهای PRD، DI_{80} و DI_{60} به ترتیب ۷/۶ و ۲۰/۸ و ۳۷/۵ درصد بیشتر بود.

به‌نظر می‌رسد که اعمال کم‌آبیاری شدید نه تنها عملکرد را کاهش می‌دهد که به افزایش بهره‌وری نیز کمکی نمی‌کند. چنان‌چه

هدف به حداکثر رساندن درآمد و تولید در واحد سطح باشد، آبیاری کامل محصول ذرت علوفه‌ای روش بهتری خواهد بود. حتی بهره‌وری مصرف آب برای تولید علوفه تر نیز در این روش بیشتر خواهد بود. چنان‌چه هدف از زراعت، تولید ماده خشک بیشتر با بهره‌وری بالاتر مصرف آب باشد، آبیاری یک جویچه در میان روش مناسب‌تری به نظر می‌رسد، که البته این هدف معمولاً برای کشاورزان اولویت ندارد.

تشکر و قدردانی

این تحقیق با کمک مالی از محل پژوهانه نویسنده دوم تأمین شده است که بدینوسیله از معاون پژوهشی و فناوری دانشگاه لرستان برای تأمین مالی این تحقیق تشکر و قدردانی می‌شود. همچنین از خانم دکتر محبوبه جلالی، عضو محترم هیأت علمی گروه خاکشناسی دانشگاه لرستان، برای راهنمایی‌هایشان در بحث توصیه کودی تشکر و قدردانی می‌شود.

References

1- Akbarinodehi, D., 2015. The effect of furrow irrigation and deficit irrigation on yield and water use efficiency of forage maize in Mazandaran. *Journal of Water and Soil Science (Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources)*, 18(70), pp. 245-254. (In Persian).

2- Alinezhadian, A., Joruni, A., Barzegar, A. and Maleki, A., 2016. Effect of different levels of irrigation on water use efficiency based on corn seed and soil moisture changes. *Journal of Water and Irrigation Management (Journal of Agriculture)*, 1(6), pp. 47-59. (In Persian).

3- Anonymous, 2017a. World Population Projected to Reach 9.8 Billion in 2050, and 11.2 Billion in 2010. United Nations.

4- Anonymou 2017b. *Iranian Agricultural Statistics*. Ministry of Jihad-e-Agriculture, Deputy of Planning(In Persian).

5- Chai, Q., Gan, Y., Turner, N.C., Zhang, R.Z., Yang, C., Niu, Y. and Siddique, K.H., 2014. Water-saving innovations in Chinese agriculture. *Advances in Agronomy* (126, pp. 149-201).

6- Chai, Q., Gan, Y., Zhao, C., Xu, H.L., Waskom, R.M., Niu, Y. and Siddique, K.H., 2016. Regulated deficit irrigation for crop production under drought stress. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, *36*(1), p.3.

7- Ehteshami, S.M.R., Ebrahimi, P. and Zand, B., 2013. Investigation of quantitative and qualitative characteristics of silage corn genotypes in Varamin region. *Electronic Journal of Crop Production*, 4(5), pp. 19-38. (In Persian).

8- El-Noemani, A.A., El-Halim, A.A. and El-Zeiny, H.A., 1990. Response of maize (*Zea mays L.*) to irrigation intervals under different levels of nitrogen fertilization. *Egyptian Journal of Agronomy*, *15*(1-2), pp.147-158.

9- Falkenmark, M. and Rockstrom, J., 2004. *Balancing water for humans and nature: the new approach in ecohydrology*. Earthscan.

10- Goksoy, A.T., Demir, A.O., Turan, Z.M. and Dagustu, N., 2004. Responses of sunflower (*Helianthus annuus L.*) to full and limited irrigation at different growth stages. *Field Crops Research*, *2*(87), pp.167-178.

11- Hanks, R.J., 1974. Model for predicting plant yield as influenced by water use 1. *Agronomy Journal*, *66*(5), pp.660-665.

12- Hoogenboom, G., Peterson, C.M. and Huck, M.G., 1987. Shoot growth rate of soybean as affected by drought stress 1. *Agronomy Journal*, *79*(4), pp.598-607.

13- Howell, T.A., Tolk, J.A., Evett, S.R., Copeland, K.S., Dusek, D.A. and Clemmens, A.J., 2007. Evapotranspiration of deficit irrigated sorghum and winter wheat. In *Proceedings of the USCID Fourth International Conference on Irrigation and Drainage. The Role of Irrigation and Drainage in a Sustainable Future, Sacramento, CA, USA*.

DOI: 10.22055/JISE.2019.30759.1871

14- Jafarzadeh Kenarsari, M. and Pustini, K., 1998. Effect of drought stress in various stages of growth on morphological parameters and yield components of sunflower (*Helianthus annuus L.*). *Journal of Iranian Agricultural Sciences*, 29(2), pp. 353-361. (In Persian).

15- Jensen, M.E., Rangeley, W.R. and Dieleman, P.J., 1990. Irrigation trends in world agriculture. *Agronomy*, (30), pp.31-67.

16- Kafi, M. and Mahdavi Damghani, A. 2002. *Mechanisms of resistance to environmental stress in plants*. Mashhad: Ferdowsi university of Mashhad. (In Persian)

17- Kamara, A.Y., Menkir, A., Badu-Apraku, B. and Ibikunle, O., 2003. The influence of drought stress on growth, yield and yield components of selected maize genotypes. *The journal of agricultural science*, *141*(1), pp.43-50.

18- Kang, S. and Zhang, J. 2004. Controlled alternate partial root-zone irrigation: its physiological consequences and impact on water use efficiency. *Journal of experimental botany*, *55*(407), 2437-2446.

19- Karimi, M., Esfahani, M., Bigluei, M.H., Rabiee, B. and Kafi Ghasemi, A., 2009. Effect of deficit irrigation treatments on morphological traits and growth indices of corn forage in the Rasht climate. *Electronic Journal of Crop Production*. 2 (2), pp. 99-109. (In Persian).

20- Naderi, N., Fazl Oula, R., Tabar Ahmadi, M.K.Z., Shahnazari, A. and Khavari Khorasani, S., 2015. Evaluating the effect of different methods of deficit irrigation on yield, yield components and irrigation water productivity of forage maize. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 9(3), pp.522-530. (In Persian).

21- Noormohamadi, Gh., Siadat, A. and Kashani, A., 2009. *Cultivation volume one (Cereals)*. Shahid Chamran University of Ahvaz Publications, Ninth Edition. (In Persian).

22- Oktem, A., Simsek, M. and Oktem, A.G., 2003. Deficit irrigation effects on sweet corn (Zea mays saccharata Sturt) with drip irrigation system in a semi-arid region: I. Water-yield relationship. *Agricultural Water Management*, *61*(1), pp.63-74.

23- Pandey, R.K., Maranville, J.W. and Admou, A., 2000. Deficit irrigation and nitrogen effects on maize in a Sahelian environment: I. Grain yield and yield components. *Agricultural Water Management*, *46*(1), pp.1-13.

24- Pimentel, D., Berger, B., Filiberto, D., Newton, M., Wolfe, B., Karabinakis, E., Clark, S., Poon, E., Abbett, E. and Nandagopal, S., 2004. Water resources: agricultural and environmental issues. *BioScience*, *54*(10), pp.909-918.

25- Plaut, Z., 1995. Sensitivity of crop plants to water stress at specific developmental stages: reevaluation of experimental findings. *Israel Journal of Plant Sciences*, *43*(2), pp.99-111.

26- Rafiee, M. and Shakarami, G., 2010. Water use efficiency of corn as affected by every other furrow irrigation and planting density. *World Applied Sciences Journal*, *11*(7), pp.826-829.

27- Ranjbar, Gh. H. 2001. Effect of drought stress and thinning at different growth stages on morphological, and physiological characteristics, grain yield and yield components of maize, hybride SC704. M.Sc Thesis, Faculty of Agriculture, *Shiraz University*. (In Persian).

28- Rawson, H.M. and Turner, N.C., 1982. Recovery from water stress in five sunflower (*Helianthus annuus L.*) cultivars. I. Effects of the timing of water application on leaf area and seed production. *Functional Plant Biology*, *9*(4), pp.437-448.

29- Ritchie, J.T., 1973. Influence of soil water status and meteorological conditions on evaporation from a corn canopy. *Agronomy Journal*, *65*(6), pp.893-897.

30- Sadranasab, Z., Shahnazari, A., Ziatabar Ahmadi, M. and Karandish, F., 2014. Investigating maize root growth pattern under partial root zone drying (prd) and regulated deficit irrigation (RDI). *Journal of Water Research in Agriculture*, 28.2(2), pp. 409-418. (In Persian).

31- Shoae Hosseini, S.M., Farsi, M. and Khavari Khorasani, S., 2008. Investigation of water deficit stress effects on yield comonents using path analysis in some corn hybrids. *Journal of Agricultural Knowledge*, 92(1), pp. 71-85. (In Persian).

32- Sincik, M., Candogan, B.N., Demirtas, C., Büyükcangaz, H., Yazgan, S. and Göksoy, A.T., 2008. Deficit irrigation of soya bean [Glycine max (L.) Merr.] in a sub-humid climate. *Journal of Agronomy and Crop Science*, *194*(3), pp.200-205.

33- Stikic, R., Popovic, S., Srdic, M., Savic, D., Jovanovic, Z., Prokic, L.J. and Zdravkovic, J., 2003. Partial root drying (PRD): a new technique for growing plants that saves water and improves the quality of fruit. *Bulgarian Journal of Plant Physiology*, *29*(3-4), pp.164-171.

34- Stoll, M., Loveys, B. and Dry, P., 2000. Improving water use efficiency of irrigated horticultural crops. *Journal of Experimental Botany*, *51*, pp.1627-1634.

35- Tollenaar, M. and Dwyer, L.M., 1999. Physiology of maize. In *Crop yield*. Springer.

36- Traore, S.B., Carlson, R.E., Pilcher, C.D. and Rice, M.E., 2000. Bt and non-Bt maize growth and development as affected by temperature and drought stress. *Agronomy Journal*, *92*(5), pp.1027-1035.

37- Yazar, A., Sezen, S.M. and Gencel, B., 2002. Drip irrigation of corn in the Southeast Anatolia Project (GAP) area in Turkey. *Irrigation and Drainage: The journal of the International Commission on Irrigation and Drainage*, *51*(4), pp.293-300.

38- Zegbe, J.A., Behboudian, M.H. and Clothier, B.E., 2004. Partial rootzone drying is a feasible option for irrigating processing tomatoes. *Agricultural Water Management*, *68*(3), pp.195-206.

39- Zwart, S.J. and Bastiaanssen, W.G., 2004. Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton and maize. *Agricultural Water Management*, *69*(2), pp.115-133.