Environ. Water Eng., 2022, 8(1), 192-204 DOI: 10.22034/JEWE.2021.292016.1587

EWE

Environment and Water Engineering

Homepage: www.jewe.ir

ISSN: 2476-3683

Research Paper

Effect of Irrigation Water on Water Productivity and Yield of Winter Wheat under Surface and Subsurface Drip Irrigation

Mansour Saeedi[1], Parviz Fathi[2*] and Mehdi Kouchakzadeh[3]

[1]M.Sc. Alumni, Department of Irrigation and Drainage, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
[2]Assoc. Professor, Department of Irrigation and Drainage Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran
[3]Assoc. Professor, Department of Irrigation and Drainage, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Article information

Received: June 30, 2021
Revised: August 17, 2021
Accepted: August 22, 2021

Keywords:
Deficit Irrigation
Micro Irrigation
Water Use Efficiency
Wheat

*Corresponding author**:**
p.fathi@uok.ac.ir

Abstract

Today, the use of subsurface drip irrigation systems for row crops such as wheat is increasing due to its higher productivity than other irrigation methods. The purpose of this study was to investigate the effect of irrigation water depth and displacement depths of subsurface drip irrigation lateral on winter wheat yield and water use efficiency in Sanandaj city. For this purpose, wheat crop (Pishgam cultivar) was cultivated in the fall of 2017 and an experiment was implemented in the form of split plot design based on a completely randomized block design in Sanandaj County. The main and sub plots of the present study included four levels of irrigation water (60, 80, 100, 120% of water requirement) and four lateral irrigation displacement depths (30, 40, and 50 cm) in three replications, respectively. The results showed that, the subsurface drip irrigation system had higher water productivity compared to the surface drip irrigation system. The results also showed that highest irrigation water use efficiency in treatment with lateral displacement depth of 40 cm and irrigation water depth equal 80% water requirement obtained.

© Authors, Published by **Environment and Water Engineering** journal. This is an open access article distributed under the CC BY) license http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Introduction

Ever-decreasing quantity and quality of water resources and increasing population have made the water supply and consumption for various uses a very important issue in semi-arid regions. The agricultural sector, as the major consumer of water, is competing with the growing demand of the industrial and urban sectors. Therefore, proper on-farm water management for optimization of irrigation water consumption is an inevitable necessity in the agricultural sector. Utilization of modern irrigation systems and application of the best management practices such as deficit irrigation are the main approach in improving the water productivity and water use efficiency. Winter wheat (*Triticum aestivum* L) cultivation is vital in terms of food security, improvement of rural livelihoods and reducing rural-to-urban migration. The area under irrigated and rainfed wheat cultivation in Kurdistan province is almost 560,000 ha, ranked second in Iran. Nowadays, the tendency to use drip irrigation systems for row crops such as wheat is very high due to the low efficiency of other irrigation methods. Subsurface drip irrigation system is a new and very efficient method of drip irrigation system in which Trickle tubes with in line emitter pipes are buried at a suitable depth beneath the soil surface. This system has a high potential to achieve higher water use efficiency due to direct delivery of water to the crop root zone and reduced evaporation from the soil surface. Determining the suitable displacement depth of irrigation laterals and the appropriate spacing of dripper on the lateral is an inevitable necessity for efficient design and management of this system. Considering the recent droughts and the importance of wheat cultivation as the strategic and dominant crops in Kurdistan province, the main objective of this study was to investigate the effect of different amounts of irrigation water on yield and water productivity of wheat under subsurface drip irrigation systems with different displacement depths of irrigation laterals in Sanandaj county.

Materials and Methods

This research was conducted in 2017-2018 at the Agricultural Research Station of Greyzeh (locate at Sanandaj City) affiliated to the Agricultural and Natural Resources Research Center of Kurdistan Province. According to Demarton classification, the area has a semi-arid climate. In this study, before sowing wheat seeds, soil samples were taken from different depths of the field and analyzed for their physical and chemical properties. In this study Winter wheat (*Pishgam cultivar*) with a density of 400 plants per square meter and planting depth of 5 to 7 cm were sown. The experiment was conducted as split plot in a completely randomized block design. The main and sub plots of the present study included four levels of irrigation water (60, 80, 100, 120 of water requirement percentage) and four irrigation lateral displacement depths (0, 30, 40, and 50 cm) in three replications. the dimensions of subplots were considered equal to 2×5 meter. To eliminate the marginal effects, the distance between the sub and main plots was selected to be 1.5 and 2 meters, respectively. In the present study, surface and subsurface drip irrigation system was used for irrigation. Before planting wheat, Trickle tubes with in line emitter were installed in all subplots according to the experimental design map. Trickle tubes with in line emitter with anti-suction mechanism, pressure regulator, with operating pressure range of 0.5 to 3.5 bar, flow rate of 1.6 lit per hour and trickle spacing equal to 60 cm used. The irrigation interval was considered equal to 7 days. Soil moisture balance method was used to determine the depth of irrigation water. Fertilization was applied based on soil test analysis and applied in all subplots. In this research, nitrogen fertilizer was dissolved in water and injected into the system through a manifold tube using fertilizer tank in each subplot. At the end of the growing season, yield, yield components and morphological traits of the crop were measured.

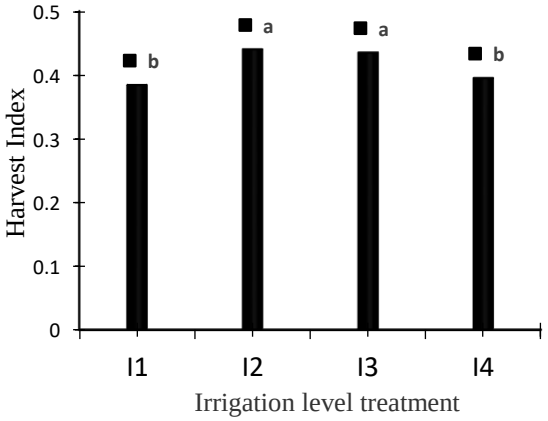


Fig. 1 Results of mean comparison related to the effect of irrigation levels on the harvest index

Results

Fig. (1) shows that the harvest index in I2 low irrigation treatment (equal to 80% of water requirement) and full irrigation treatment (equal to 100% of water requirement) was not significantly different. Also, the lowest value of this index was obtained in the treatment with 60% water requirement. The results of variance analysis related to the effect of the treatments on wheat grain yield, water productivity, irrigation water use efficiency and harvest index are shown in Table 1. It shows that the effect of irrigation water depth and the lateral displacement depth and their interaction on Grain yield and water productivity are statistically significant at the probability level of 1%. However, the effect of lateral displacement depth and interaction effects of treatments on harvest index was not significant. But the effect of irrigation water depths on harvest index was statistically significant at the probability level of 1%.

Table 1 Analysis of variance related to the effect of the treatments on wheat yield, water productivity, irrigation water use efficiency and harvest index

Source of variation	DF	Means of Squares			
		Grain yield	Water| productivity	Irrigation Water Use Efficiency	Harvest Index
Repetition	2	0.01	0.0002	0.003	0.00008
Irrigation Water Depth (A)	3	21.40*	0.610*	48.6*	0.009*
Error (A)	3	0.080	0.009	0.02	0.0002
Depth of lateral displacement(B)	6	4.6*	0.740*	1.05*	0.0002ns
Interactions(A×B)	9	1.4*	0.060*	0.28*	0.00004ns
Error (B)	24	0.24	0.010	1.61	0.0015
CV	-	5.80	5.600	6.1	3.86

*Significant at the probability level of 1%

Conclusions

Studies, data and observations showed that the subsurface drip irrigation system with lateral displacement depth of 40 cm has the highest water productivity for wheat fields in Sanandaj county. The results also showed that the yield and water productivity of winter wheat crop under subsurface drip irrigation system is higher than surface drip irrigation system.

Acknowledgment

We would like to thank Dr. Mohammad Hosein Sedri, Managing Director of Agricultural and Natural Resources Research Center of Kurdistan province for the cordially support for implementation of this research.

Data availability

In the final report, the research project with the same title will be presented in the Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO) and will be made available to readers.

Conflict of interests

The authors of this paper declare no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.

دوره ۸، شماره ۱، بهار ۱۴۰۱ DOI: 10.22034/JEWE.2021.292016.1587

محیط‌زیست و مهندسی آب

Homepage: www.jewe.ir

ISSN: 2476-3683

مقاله پژوهشی

اثر آب آبیاری بر بهره‌وری آب و عملکرد گندم تحت آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی

منصور سعیدی[۱]، پرویز فتحی[۲*] و مهدی کوچک‌زاده[۳]

[۱]دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

[۲]دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

[۳]دانشیار، گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

چکیده

امروزه استفاده از سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی برای محصولات ردیفی مانند گندم به‌دلیل بهره‌وری بالاتر آن نسبت به سایر روش‌های آبیاری در حال افزایش است. پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر مقدار آب آبیاری و عمق جایگذاری لاترال‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بر عملکرد و کارایی مصرف آب محصول گندم در شهرستان سنندج انجام شد. برای این منظور، گندم رقم پیشگام در پاییز سال ۱۳۹۶ در شهر سنندج کشت و طرح آزمایشی در قالب طرح کرت‌های خردشده بر پایه طرح بلوک کاملاً تصادفی اجرا شد. کرت‌های اصلی و فرعی پژوهش حاضر به ترتیب شامل چهار سطح آب آبیاری برحسب درصد نیاز آبی (۶۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰٪) و چهار عمق جایگذاری لاترال آبیاری (صفر، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ cm) و در سه تکرار بود. نتایج نشان داد استفاده از سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نسبت به سیستم قطره‌ای سطحی دارای کارایی مصرف آب آبیاری و بهره‌وری آب مصرفی بالاتری می‌باشد. نتایج هم‌چنین نشان داد که بیش‌ترین کارایی مصرف آب آبیاری در تیمار با عمق جایگذاری لاترال برابر ۴۰ cm و عمق آب آبیاری برابر ۸۰٪ نیاز آبی به‌دست آمد.

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: [۱۴۰۰/۰۴/۰۹]

تاریخ بازنگری: [۱۴۰۰/۰۵/۲۶]

تاریخ پذیرش: [۱۴۰۰/۰۵/۳۱]

واژه‌های کلیدی:

آبیاری میکرو

کارایی مصرف آب

کم‌آبیاری

گندم

***نویسنده مسئول:**

p.fathi@uok.ac.ir

۱- مقدمه

افزایش جمعیت و کاهش کمی و کیفیت منابع آبی باعث شده است مسائل مربوط به تأمین و مصرف آب جهت مصارف مختلف در مناطق نیمه‌خشک و خشک از اهمیت بالایی برخوردار باشد. بخش کشاورزی به‌عنوان عمده‌ترین مصرف‌کننده آب، در رقابت با تقاضای رو به رشد بخش‌های صنعتی و شهری قرار دارد (Zwart et al. 2004). بنابراین مدیریت صحیح و بهینه‌سازی مصرف آب در مزرعه ضرورتی اجتناب‌ناپذیر در بخش کشاورزی به شمار می‌آید. از جمله فنون مناسب جهت بهبود بهره‌وری و کارایی مصرف آب، سامانه‌های نوین آبیاری و اعمال سناریوهای مدیریتی نظیر کم‌آبیاری می‌باشد.

گندم زمستانه (*Triticum aestivum L*) یکی از مهم‌ترین محصولات تشکیل‌دهنده سبد غذایی در بسیاری از مناطق

دنیا با آب‌وهوای متنوع می‌باشد. سهم محصول گندم در تأمین مواد غذایی مردم در کشورهای توسعه‌یافته و درحال‌توسعه به ترتیب ۵۳ و ۸۵٪ می‌باشد (Dencic et al. 2014). گندم جزو کالاهای اساسی و استراتژیک بخش کشاورزی ایران محسوب می‌شود که در فصل برداشت با قیمت تضمینی توسط دولت از گندم‌کاران خریداری می‌شود. کشت گندم به لحاظ ایجاد امنیت غذایی، توسعه و بهبود معیشت روستاییان و کاهش مهاجرت فرستی روستا به شهر، از اهمیت خاصی برخوردار است (Fazel 2009). لذا افزایش عملکرد دانه، کاه و کلش گندم و بهبود کیفیت آن برای تأمین غذای موردنیاز انسان و دام دارای اهمیت زیادی می‌باشد.

گندم در میان غلات بیش‌ترین سطح زیرکشت و تولید را دارد. مساحت سطح زیرکشت و مقدار تولید گندم در جهان در سال ۲۰۱۳ به‌ترتیب حدود ۲۱۹ Mha و ۷۱۵ Mton بود (Fao 2013). مساحت سطح اراضی زیرکشت محصول گندم در ایران حدود ۶ Mha (حدود ۶۰٪)، که میزان تولید گندم در این اراضی برابر ۱۱ Mton (۱۴٪ کل تولید محصولات زراعی) می‌باشد. مساحت اراضی زیرکشت گندم آبی و دیم در استان کردستان برابر ۵۶۰۰۰۰ ha است و از این نظر دارای رتبه دوم کشور می‌باشد (Anonymous 2014). محصول گندم به‌عنوان کشت غالب با داشتن ۷۵ هزار بهره‌بردار، نقش عمده‌ای در درآمد اقتصادی و اشتغال‌زایی مردم استان ایفا نموده است (Anonymous 2014). یکی از راهبردهای مدیریت تقاضا و کنترل مصرف آب در کشاورزی، به‌کارگیری فناوری‌های نوین آبیاری و برنامه‌ریزی‌های کارآمد آبیاری برای استفاده مؤثرتر از منابع آب محدود است. حداکثر سازی بهره‌وری آب آبیاری یکی از مهم‌ترین سیاست‌های مدیران و برنامه‌ریزان بخش کشاورزی کشور در سالیان اخیر می‌باشد. مدیریت بهینه زراعی (افزایش تولید با حفظ منابع آبی موجود) و آبیاری (حفظ تولید موجود با مصرف آب کمتر) دو رویکرد اساسی جهت ارتقاء بهره‌وری آب به‌شمار می‌آید (Muneer et al. 2018). سیستم آبیاری قطره‌ای به دلیل پتانسیل بالای صرفه‌جویی در مصرف آب و سهمی که در پایداری محیط‌زیستی ایفا می‌کند، جایگاه و نقش ویژه‌ای در حفاظت از منابع آب‌وخاک فراهم می‌کند (Patel and Rajput 2007). امروزه تمایل به کاربرد سیستم آبیاری قطره‌ای برای محصولات ردیفی مانند گندم بسیار زیاد است که دلیل آن بهره‌وری بسیار پایین سایر روش‌های آبیاری در این نوع محصول است (Rao et al. 2016; Kara et al. 2007).

یکی از مهم‌ترین پیشرفت‌ها در سیستم آبیاری قطره‌ای، ابداع سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی است که در آن لوله‌های قطره‌چکان‌دار در عمق مناسبی زیر سطح خاک دفن می‌شوند (Alama and Broner 2000). ورود مستقیم آب به ناحیه توسعه ریشه موجب حداقل شدن تبخیر از سطح خاک شده و بدین طریق پتانسیل دستیابی به کارایی مصرف آب بالاتر را فراهم می‌کند (Suarez-Rey et al. 2000). انتخاب بهینه عمق جایگذاری لاترال‌های آبیاری قطره‌ای و فاصله مناسب قطره‌چکان‌ها روی لاترال ضرورتی اجتناب‌ناپذیر در جهت مدیریت کارآمد و بهره‌برداری کارای این سیستم محسوب می‌گردد (Enciso et al. 2007; Elmaloglou and Diamantopoulos 2009). عمق جایگذاری لاترال آبیاری قطره‌ای زیرسطحی تحت تأثیر ساختمان و بافت خاک و الگو پخش ریشه گیاه در خاک می‌باشد (Patel and Rajput 2007). Bryla et al. (2003) با بررسی اثر عمق‌های مختلف جایگذاری لاترال‌های قطره‌ای بر عملکرد محصول لوبیا به این نتیجه رسیدند که لاترال‌های جایگذاری شده در محدوده عمق ۰/۲۵ تا ۰/۴۵ m موجب رشد بهتر محصول شده است. Gao et al. (2014) طی پژوهشی در شمال چین، مقدار نیاز آبی محصول گندم تحت سیستم قطره‌ای زیرسطحی با لاترال جایگذاری شده در عمق ۴۰cm خاک را برابر ۳۹۳ الی ۴۴۹ mm گزارش نمودند، در این پژوهش همچنین مقدار عملکرد دانه و کارایی مصرف آب در شرایط برنامه‌ریزی بهینه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به ترتیب برابر ۷۷۸۰kg/ha و ۱/۸۳ kg/m^3 به‌دست آمد. نتایج مطالعه Jolaini (2011) بر روی محصول گوجه‌فرنگی نشان داد که سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نسبت به قطره‌ای سطحی دارای عملکرد محصول بالاتری می‌باشد. Patel and Rajput (2009) بامطالعه اثر عمق جایگذاری لاترال و سطوح مختلف آبیاری بر عملکرد پیاز تحت سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به این نتیجه رسیدند عمق جایگذاری لاترال اثر معنی‌داری بر عملکرد پیاز داشت و حداکثر عملکرد و کارایی مصرف آب محصول برای عمق جایگذاری لاترال برابر ۱۰cm و عمق آب آبیاری ۶۰/۷ cm به دست آمد. Nagfi (2007) طی پژوهشی اثر آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بر افزایش کارایی مصرفی آب آبیاری در برخی محصولات کشاورزی بررسی نمودند و به این نتیجه رسیدند آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در

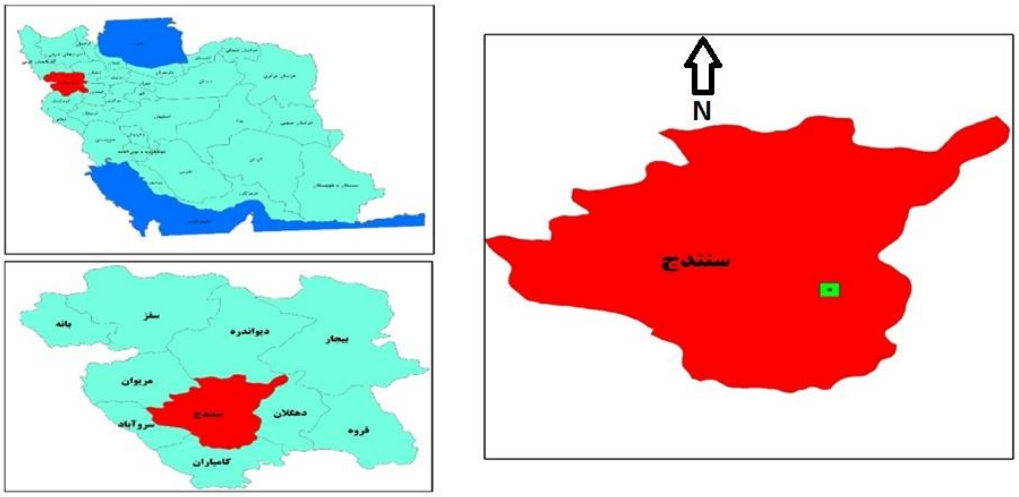
عمق cm ۱۵ برای محصولات گوجه‌فرنگی و بادمجان و دو رقم سیب‌زمینی منجر به افزایش معنی‌دار کارایی مصرف آب می‌شود. کم‌آبیاری تنظیم‌شده یک راهبردی کارآمد برای مدیریت بهینه زراعت گندم آبی در شرایط تنش آبی می‌باشد که ضمن کاهش میزان آب مصرفی، اثرات آن بر کاهش عملکرد را به حداقل می‌رساند (Peake et al. 2016; Alizada et al. 2010).

کارایی مصرف آب گندم را در شهرستان کرج تحت سطوح مختلف کم‌آبیاری با دور آبیاری هفت‌روزه را برابر ۱/۹ الی ۲/۵ kg/m^3 گزارش کردند. با توجه به خشک‌سالی‌های اخیر و همچنین غالب بودن زراعت و کشت گندم و اهمیت آن به‌عنوان یکی از محصولات راهبردی بخش کشاورزی استان کردستان، هدف از پژوهش حاضر بررسی اثر سطوح مختلف آب آبیاری بر عملکرد و کارایی مصرف آب آبیاری و بهره‌وری آب مصرفی گندم تحت آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی با عمق‌های جایگذاری مختلف لاترال‌های آبیاری در شهرستان سنندج می‌باشد. بررسی منابع و مقالات موجود و در دسترس نشان داد که در زمینه بررسی اثر مقادیر آب آبیاری و عمق جایگذاری لاترال‌های سامانه‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بر عملکرد و کارایی مصرف آب محصول گندم زمستان در شهرستان سنندج پژوهش مشابهی صورت نگرفته است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه موردمطالعه

پژوهش حاضر در پاییز ۱۳۹۶ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی گریزه وابسته به مرکز تحقیقات کشاورزی استان کردستان واقع در حومه شهر سنندج اجرا شد. این ایستگاه در عرض جغرافیایی °۳۵ و ′۱۶ شمالی، طول جغرافیایی °۴۷ و ′۱ شرقی و ارتفاع m ۱۳۸۶ از سطح دریا قرار دارد. متوسط بارندگی و دمای هوای سالیانه در شهرستان سنندج به‌ترتیب mm ۴۷۱ و °C ۱۴ بود. پهنه موردمطالعه دارای اقلیم نیمه-خشک و مدیترانه‌ای می‌باشد (Hanafi and hatami 2013). موقعیت جغرافیایی محل اجرای طرح و تصویر ماهواره‌ای مربوطه به‌صورت شکل (۱) نمایش داده شده است.



شکل ۱- موقعیت مکانی مزرعه تحقیقات

Fig. 1 Location of the research field

۲-۲-مشخصات آب‌وخاک مزرعه

در این پژوهش قبل از کشت بذر گندم، از اعماق مختلف خاک مزرعه نمونه‌گیری و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه اندازه‌گیری گردید. خصوصیات فیزیکی و مشخصات شیمیایی خاک از جمله میزان شوری، اسیدیته، پتاسیم قابل‌دسترس، فسفر قابل‌دسترس، درصد کربن آلی و درصد آهک در اعماق مختلف خاک در جدول (۱) ارائه شده است.

خصوصیات کیفی منبع آب آبیاری طرح (یک حلقه چاه) در جدول (۲) نمایش داده شده است. مشاهده جدول (۲) نشان می‌دهد، مطابق با دستورالعمل تعیین کیفیت آب آبیاری در سیستم آبیاری میکرو Rogers et al. (2003) آب آبیاری مورداستفاده به لحاظ پتانسیل گرفتگی قطره‌چکان‌ها دارای سطح نگرانی پایین و به لحاظ اثر کیفیت آب روی عملکرد محصول، ایجاد مسمومیت یونی و تأثیرات متفرقه بدون مشکل ارزیابی شد.

جدول ۱- برخی مشخصات خاک

Table1 Some properties of the soil

Physical Properties	Soil depth (mm)	0-30	30-60
	Soil texture	Clay	clay loam
	sand (%)	19.5	25.5
	Silt (%)	34.5	36.7
	Clay (%)	46	37.8
	(%)θ_s	45	42.6
	FC (%)	34	33
	(gr/cm)ρ_b	1.2	1.39
	(cm/day)K_s	16	23
chemical properties	EC (ds/m)	0.7	0.81
	PH	7.75	7.78
	(ppm)K_{av}	296	285
	(ppm)P_{av}	8	10
	Organic carbon (%)	1.18	1.25
	Lime (%)	1	1.2

جدول ۲- برخی مشخصات کیفی آب آبیاری

Table 2 Some quality properties of irrigation water

					Cations(meq/lit)			Anions (meq/lit)			
Class	EC (ds/m)	pH	TDS	SAR_{adj}	Na	Ca	Mg	SO4	Cl	CO 3	HCO3
C2S1	0.41	7.3	314.14	0.895	0.63	3.2	1.5	0.08	0.7	0	4.35

۲-۳- طرح آزمایش‌ها

آزمایش‌های این پژوهش در قالب طرح کرت‌های خردشده بر پایه طرح پایه بلوک کامل تصادفی و در سه تکرار انجام شد. کرت‌های اصلی طرح شامل چهار سطح آبیاری (I_1، I_2، I_3 و I_4) به ترتیب معادل ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰٪ نیاز آبی و کرت‌های فرعی شامل چهار عمق جایگذاری لوله قطره‌چکان‌دار (D_1، D_2، D_3 و D_4) به ترتیب برابر ۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ cm داخل خاک بود. در این پژوهش ابعاد کرت‌های فرعی برابر ۲×۵ m در نظر گرفته شد. فاصله کرت‌های فرعی و اصلی جهت حذف اثرات حاشیه‌ای به ترتیب برابر ۱/۵ و ۲ m انتخاب شد. پس از آماده‌سازی بستر کشت، ۲۲۰ kg/ha بذر گندم رقم پیشگام با تراکم ۴۰۰ بوته در مترمربع و عمق کشت ۵ تا ۷ cm توسط ردیف‌کار خطی کشت شد. مقادیر کودی نیز براساس آنالیز آزمون خاک تعیین و در تمامی کرت‌ها اعمال گردید.

۲-۴- مشخصات سامانه آبیاری

در پژوهش حاضر از سیستم آبیاری قطره‌ای برای آبیاری مزرعه گندم استفاده شد. قبل از کشت گندم، لوله‌های قطره‌چکان‌دار با توجه به نقشه طرح آزمایشی در تمامی کرت‌های فرعی نصب شد. لوله‌های قطره‌چکان‌دار به‌کاررفته دارای مکانیسم ضدمکش، تنظیم‌شونده فشار FPC1، دارای دامنه فشار کارکرد ۰/۵ تا ۳/۵ bar، آبدهی به میزان ۱/۶ lit/hr و فاصله قطره‌چکان روی لوله نیز برابر ۶۰ cm بود. در این پژوهش دور آبیاری ثابت و برابر ۷ روز در نظر گرفته شد. برای اندازه‌گیری نیاز آبی گیاه و عمق آب آبیاری از روش بیلان رطوبتی خاک استفاده شد. یک روز قبل از آبیاری پایش رطوبتی ناحیه توسعه ریشه گیاه در کرت شاهد (کرت فرعی با آبیاری کامل (برابر ۱۰۰٪ نیاز آبی) و عمق جایگذاری لوله قطره‌چکان‌دار برابر (آبیاری قطره‌ای سطحی) صورت پذیرفت و عمق آب آبیاری کرت مذکور از رابطهٔ (۱) محاسبه شد.

$$I_g = \frac{R_{eff} + (\theta_{FC} - \theta_I) \times D_r}{\eta} \quad (۱)$$

که، R_{eff} = بارندگی مؤثر در حدفاصل دو آبیاری (mm)، Ig = عمق ناخالص آبیاری در هر بار آبیاری (mm)، θ_{Fc} = رطوبت حجمی خاک در حد ظرفیت زراعی (٪)، θ_I = رطوبت حجمی خاک قبل از آبیاری (٪)، D_r = عمق توسعه ریشه (mm)، و η = راندمان سیستم آبیاری قطره‌ای (سطحی و زیرسطحی) که برابر ۹۰٪ در نظر گرفته شد. در این پژوهش عمق آب آبیاری مؤثر ناحیه ریشه گیاه از طریق کسر مقدار تلفات نفوذ عمقی از عمق ناخالص آب آبیاری محاسبه گردید. مقدار بارندگی مؤثر نیز از روش اداره حفاظت خاک آمریکا به‌دست آمد (جدول۳). برای اندازه‌گیری حجم آب آبیاری از کنتور حجمی تعبیه‌شده روی لوله اصلی

[1]Flat Pressure Compensated

استفاده گردید. علاوه بر این برای کنترل و تنظیم مقدار آب آبیاری ورودی به هر کرت، از شیرهای قطع و وصل در ابتدای لوله لاترال بهره گرفته شد.

جدول ۳- عمق آب آبیاری مؤثر و عمق آب مصرفی در انتهای فصل زراعی گندم

Table 3 The effective irrigation water and consumed water depth at the end of the wheat growing season

Treatment	Irrigation water (mm)	Deep Percolation (%)	Effective irrigation water (mm)	Effective rainfall (mm)	Water consumed (mm)
I_1D_I	183	0	183	274	457
I_1D_2	183	19	158	274	432
I_1D_3	183	30	144	274	418
I_1D_4	183	55	112	274	386
I_2D_1	227	0	227	274	501
I_2D_2	227	24	185	274	559
I_2D_3	227	34	168	274	442
I_2D_4	227	54	134	274	408
I_3D_1	270	0	270	274	544
I_3D_2	270	17	233	274	507
I_3D_3	270	39	186	274	460
I_3D_4	270	56	149	274	423
I_4D_1	313	0	313	274	587
I_4D_2	313	24	251	274	457
I_4D_3	313	40	209	274	432
I_4D_4	313	58	163	274	418

۲-۵- نمونه‌برداری و اندازه‌گیری متغیرها

برای اندازه‌گیری اجزاء و پارامترهای عملکرد و صفات ریخت-شناسی در انتهای فصل رشد، به‌صورت تصادفی از سطح یک مترمربع برای هر کرت نمونه‌گیری صورت گرفت. مقدار شاخص بهره‌وری آب مصرفی (W_P) منتج شده از مجموع بارندگی مؤثر و آب آبیاری مؤثر، کارایی مصرف آب آبیاری (IWUE) و شاخص برداشت (HI) به ترتیب از رابطه‌های (۲)، (۳) و (۴) محاسبه شد (James 1998; Kirda 2002)

$$W_P = \frac{Y}{p_e + iw_e} \quad (۲)$$

$$IWUE = \frac{Y}{iw} \quad (۳)$$

$$HI = \frac{GY}{BY} \quad (۴)$$

که، W_P = بهره‌وری آب مصرفی برحسب kg/m^3، Y = عملکرد برحسب kg/ha، p_e = بارش مؤثر برحسب m^3/ha، iw_e = مقدار آب آبیاری مؤثر فصل رشد گندم برحسب m^3/ha، IWUE = کارایی مصرف آب آبیاری برحسب kg/m^3، Y = عملکرد بر حسب Kg/ha، iw = مقدار کل آب آبیاری در فصل رشد گندم برحسب (m^3)، HI = شاخص برداشت، GY = عملکرد اقتصادی (وزن دانه) برحسب kg/ha و BY = عملکرد بیولوژیک (وزن خشک کل) برحسب g/ha می‌باشد.

۲-۶- تحلیل داده‌ها

برای تحلیل آماری داده‌ها از نرم‌افزار SAS بهره گرفته شد. همچنین از روش مدل خطی تعمیم‌یافته (GLM)[1] برای تحلیل داده‌ها استفاده گردید. مقایسه میانگین تیمارها با آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD)[2] در سطح احتمال ۵٪ انجام و نمودارها نیز به کمک نرم‌افزار صفحه گسترده Excel ترسیم شد.

۳- یافته‌ها و بحث

نتایج تحلیل واریانس اثر تیمارهای طرح آزمایشی بر عملکرد دانه گندم، شاخص بهره‌وری آب مصرفی، کارایی مصرف آب آبیاری و شاخص برداشت در جدول (۴) نمایش داده شده است. مشاهده جدول مذکور بیانگر آن است که اثر سطوح آب آبیاری (فاکتور اصلی) و عمق جایگذاری لوله‌های قطره‌چکان‌دار آبیاری قطره‌ای (فاکتور فرعی) و اثر متقابل تیمارها (برهم‌کنش فاکتور اصلی و فاکتور فرعی) بر عملکرد دانه و بهره‌وری آب مصرفی در سطح آماری یک درصد معنی‌دار می‌باشد. همچنین اثر عمق جایگذاری لاترال و اثر متقابل تیمارها بر شاخص برداشت معنی‌دار نشد. اما اثر سطوح آب آبیاری بر شاخص برداشت در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود.

[1]Generalized Linear Model

[2]Least Significance Difference

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارها بر عملکرد دانه، شاخص بهره‌وری آب مصرفی، کارایی مصرف آب آبیاری و شاخص برداشت

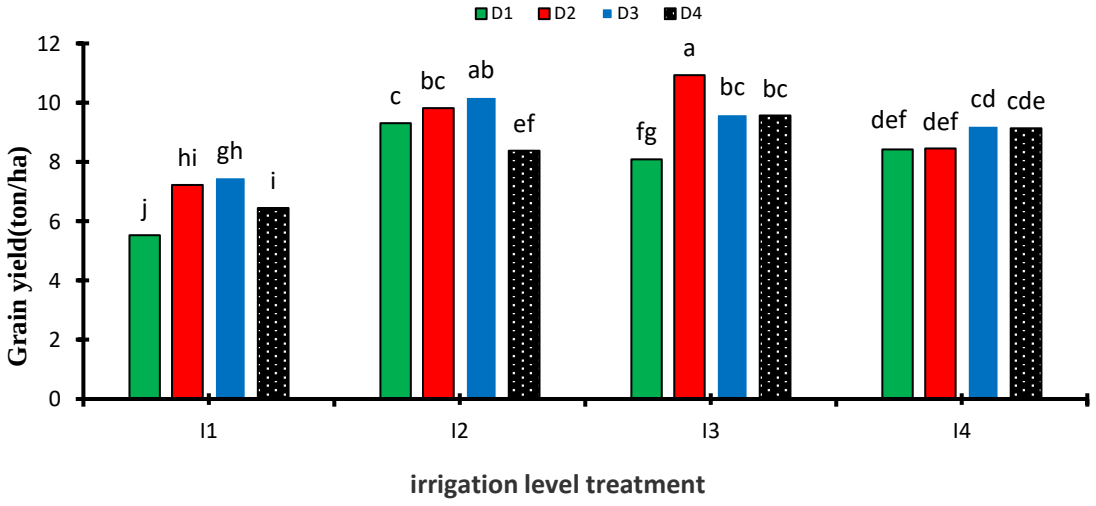
Table 4 Analysis of variance related to the effect of the treatments on wheat yield, water productivity, irrigation water use efficiency and harvest index

Means of squares					
Harvest Index	Irrigation Water Use Efficiency	Water| Productivity	Grain Yield	DF	Source of Variation
0.00008	0.003	0.0002	0.01	2	Repetition
0.009**	48.6*	0.61*	21.4*	3	Irrigation water depth (A)
0.0002	0.02	0.009	0.08	3	Error (A)
0.0002ns	1.05*	0.74*	4.6*	6	Depth of lateral Displacement (B)
0.00004ns	0.28*	0.06*	1.4*	9	Interactions (A×B)
0.0015	1.61	0.01	0.24	24	Error (B)
3.86	6.1	5.6	5.8	-	CV

* معنی‌دار در سطح ۱٪

۳-۱- عملکرد دانه

نتایج مقایسه میانگین مربوط به اثر متقابل سطوح مختلف آب آبیاری و عمق جایگذاری لاترال بر عملکرد دانه به‌عنوان مهم‌ترین جزء عملکرد اقتصادی محصول گندم در شکل (۵) ارائه شده است. ستون‌های با حروف مشترک، در سطح آماری ۵٪ فاقد تفاوت معنی‌دار می‌باشند. مشاهده شکل مذکور نشان می‌دهد که با افزایش عمق آب آبیاری تا یک عمق خاص (معادل ۱۰۰٪ نیاز آبی گیاه) عملکرد دانه محصول گندم افزایش یافت اما آبیاری بیش‌تر از این عمق (بیش‌آبیاری) موجب افزایش تلفات آب و کود شد. نتایج حاکی از برتری تیمار I_3D_2 (تیمار آبیاری کامل برابر ۱۰۰٪ نیاز آبی با سیستم قطره‌ای زیرسطحی و عمق جایگذاری لاترال برابر ۳۰cm) به میزان ۱۰/۹ ton/ha داشت که با عملکرد ۱۰/۲ ton/ha تیمار I2D3 (تیمار کم‌آبیاری برابر ۸۰٪ نیاز آبی با سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و لاترال جایگذاری شده در عمق ۴۰ cm) اختلاف معنی‌دار نداشت. کم‌ترین عملکرد دانه نیز از تیمار آبیاری قطره‌ای سطحی و کم‌آبیاری برابر ۶۰٪ نیاز آبی به دست آمد. این یافته در تطابق با نتایج سایر محققین مبنی بر بهبود عملکرد محصول سیستم قطره‌ای زیرسطحی نسبت به سیستم قطره‌ای سطحی می‌باشد (Sedaghati et al. 2012). این امر به علت اثربخشی سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در حفظ رطوبت خاک در منطقه توسعه ریشه بود که باعث گردید در طول دوره رشد، به‌طور مداوم آب در دسترس گیاه قرار گیرد و گیاه کمتر دچار تنش آبی شود. هم‌چنین استفاده از سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی سبب کاهش تلفات نفوذ عمقی، کنترل شوری و افزایش عملکرد کمی و کیفی گیاهان زراعی گردید (Karimi et al. 2016).

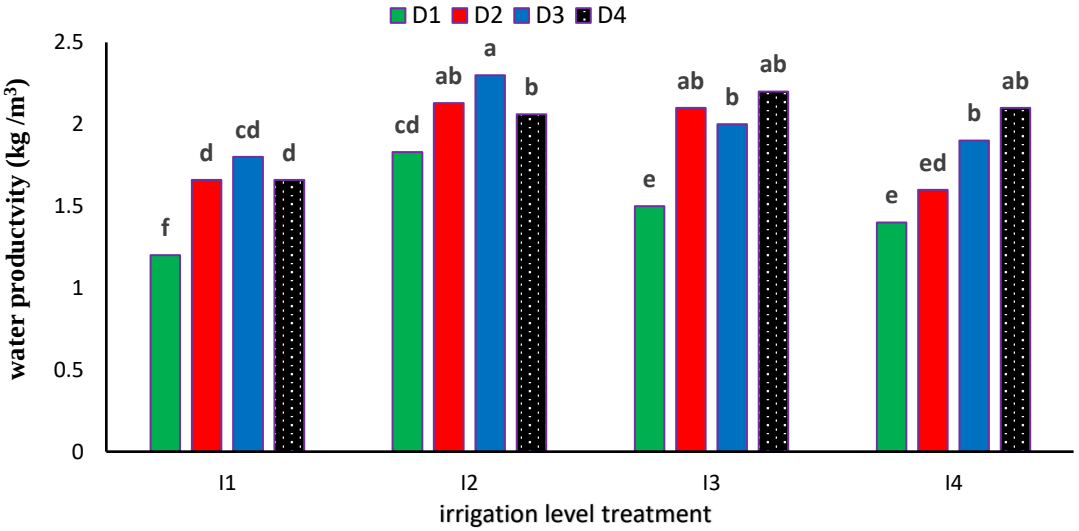


شکل ۵- نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارها بر عملکرد دانه گندم

Fig. 5 Results of mean comparison related to the interaction of treatments on the wheat grain yield

۳-۲- شاخص بهره‌وری آب مصرفی

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف آب آبیاری و عمق جایگذاری لاترال بر شاخص بهره‌وری آب مصرفی در شکل (۶) ارائه شده است. مشاهده شکل مذکور بیانگر این مطلب است که اثر متقابل سطوح مختلف آب آبیاری و عمق جایگذاری لاترال آبیاری قطره‌ای بر بهره‌وری آب مصرفی در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود. در تمام سطوح آب آبیاری، بیش‌ترین بهره‌وری آب مصرفی محصول گندم برای تیمارهای آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به‌دست آمد. در تیمارهای قطره‌ای زیرسطحی به دلیل افزایش تلفات نفوذ عمقی، عمق آب آبیاری مؤثر جهت تأمین نیاز آبی گیاهی کاهش یافت. در نتیجه مقدار آب مصرفی گیاه در تیمارهای قطره‌ای زیرسطحی کمتر از تیمارهای قطره‌ای سطحی بود. نتایج سایر پژوهش‌های صورت گرفته حاکی از بالا بودن بهره‌وری آب مصرفی در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در مقایسه با سامانه‌های آبیاری قطره‌ای سطحی می‌باشد (Sanchez Gutierrez et al. 2017). Haidari (2011) نشان دادند که حداکثر بهره‌وری مصرف آب محصول گندم، برای عمق آب آبیاری در محدوده ۲۰۰ تا ۴۰۰ mm به‌دست آمد.



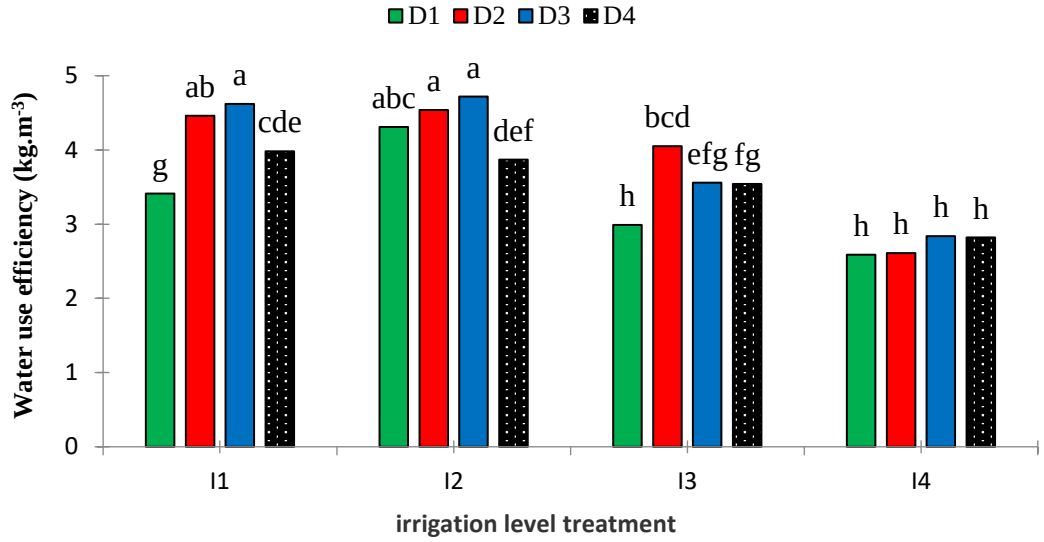
شکل ۶- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل اثر تیمارها بر بهره‌وری آب مصرفی

Fig. 6 Results of mean comparison related to the Interaction of treatments on the Water productivity

۳-۳- شاخص کارایی مصرف آب آبیاری

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف آب آبیاری و عمق جایگذاری لاترال بر شاخص کارایی مصرف آب آبیاری در شکل (۷) ارائه شده است. مشاهده شکل مذکور بیانگر این است که اثر متقابل تیمارهای طرح آزمایشی بر کارایی مصرف آب آبیاری در سطح آماری ۵٪ معنی‌دار شد. هم‌چنین مشاهده می‌شود، در مقایسه اثر سطوح مختلف آب آبیاری، بیشترین کارایی مصرف آب آبیاری برای سطوح کم‌آبیاری (I_1 و I2) محصول گندم به دست آمد. نتایج سایر پژوهش‌ها نیز نشان می‌دهد که کم‌آبیاری منجر به بهبود کارایی مصرف آب آبیاری گردید (Nagfi 2007؛ Alizada et al. 2010). کم‌آبیاری محصول گندم در شرایط محدودیت آب، منجر به افزایش ۱۰ تا ۵۰٪ بهره‌وری فیزیکی آب شد (Rao et al. 2016). مشاهده شکل (۷) هم‌چنین نشان می‌دهد که در سطح آبیاری برابر ۱۲۰٪ نیاز آبی به دلیل اشباع شدن ناحیه ریشه گیاه، تفاوت معنی‌داری مابین کارایی مصرف آب آبیاری در سامانه‌های آبیاری با عمق‌های جایگذاری لاترال مختلف مشاهده نمی‌شود. بیش‌آبیاری در سایر سامانه‌های آبیاری باعث ایجاد رواناب سطحی می‌شود اما اثرات سوء بیش‌آبیاری در سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به دلیل اشباع شدن منطقه توسعه ریشه و کاهش اکسیژن در دسترس می‌باشد که باعث کاهش عملکرد و کارایی مصرف آب در محصول گندم می‌گردد. همچنین با توجه به شکل (۷) می‌توان دریافت که در تیمارهای کم‌آبیاری، تفاوت معنی‌داری مابین عمق‌های جایگذاری ۳۰ و ۴۰cm وجود نداشت و بیش‌ترین کارایی مصرف آب آبیاری تیمار با عمق جایگذاری لاترال برابر ۴۰cm به دست آمد. هم‌چنین مقدار شاخص کارایی مصرف آب آبیاری تیمارهای آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (عمق جایگذاری لاترال ۳۰، ۴۰ و ۵۰cm) در تمامی سطوح آب آبیاری بیشتر از تیمار آبیاری

قطره‌ای سطحی بود. کاهش تبخیر از سطح خاک و نفوذ عمقی، افزایش نیتروژن قابل‌دسترس در منطقه توسعه ریشه همراه با نصب و طراحی و مدیریت صحیح سیستم قطره‌ای زیرسطحی، دلیل افزایش کارایی مصرف آب آبیاری در این سیستم بود (Djaman and Irmak 2012).

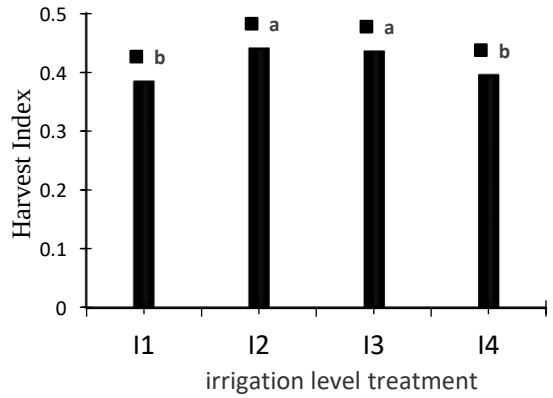


شکل ۷- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارها بر کارایی مصرف آب آبیاری

Fig. 7 Results of mean comparison related to the interaction of treatments on the water use efficiency

۳-۴- شاخص برداشت

نتایج مقایسه میانگین مربوط به اثر سطوح مختلف آب آبیاری بر شاخص برداشت گندم در شکل (۸) ارائه شده است. بررسی شکل (۸) نشان می‌دهد که شاخص برداشت در تیمار کم‌آبیاری I2 (برابر ۸۰٪ نیاز آبی) با تیمار آبیاری کامل (برابر ۱۰۰٪ نیاز آبی) اختلاف معنی‌دار نداشت. هم‌چنین کم‌ترین مقدار این شاخص در تیمار با ۶۰٪ نیاز آبی حاصل شد. بیش‌آبیاری باعث رشد و گسترش پنجه‌های ثانویه شد که نقشی در افزایش عملکرد دانه نداشته و صرفاً موجب افزایش عملکرد بیولوژیک گردید. صفت شاخص برداشت نشان‌دهنده چگونگی توزیع مواد پرورده بین اندام‌های رویشی و دانه گیاه می‌باشد، بنابراین هر عاملی که مقادیر این توزیع را تغییر دهد، باعث تغییر در شاخص برداشت می‌شود. این روند در نهایت موجب می‌شود که وزن کل بوته نسبت به وزن دانه رشد بیش‌تر دارد و موجب کاهش شاخص برداشت شود (Djaman and Irmak 2012). بیش‌آبیاری باعث رشد و به وجود آمدن پنجه‌های ثانویه در محصول شد. که نقشی در افزایش عملکرد دانه ندارد و صرفاً موجب افزایش عملکرد بیولوژیک گردید. Vafapour et al. (2011) به این نتیجه رسیدند که اگرچه رشد محسوس گیاه قبل از گرده‌افشانی، بیوماس را به حداکثر رساند اما باعث کاهش شاخص برداشت شد.



شکل ۸- نتایج مقایسه میانگین اثر سطوح آب آبیاری بر شاخص برداشت

Fig. 8 Results of mean comparison related to the effect of irrigation levels on the harvest index

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش تأثیر میزان آب آبیاری بر بهره‌وری آب و عملکرد گندم تحت آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی به‌صورت مطالعه موردی در شهر سنندج موردبررسی قرار گرفت مهم‌ترین نتایج پژوهش به‌شرح ذیل می‌باشد

۱- عملکرد و بهره‌وری آب محصول گندم آبی در سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بیش‌تر از آبیاری قطره‌ای سطحی بود.

۲- عمق جایگذاری لاترال آبیاری قطره‌ای برابر ۴۰ cm با دارا بودن بیش‌ترین بهره‌وری آب مصرفی بهترین عمق جایگذاری لاترال در شرایط استفاده از سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی برای مزارع گندم در شهرستان سنندج می‌باشد.

۳- اعمال عمق آب آبیاری برابر ۸۰٪ نیاز آبی منجر به حداکثرسازی بهره‌وری آب نصرفی محصول گندم شد.

در شرایط محدودیت آب، سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با عمق جایگذاری لاترال ۴۰cm با اعمال سناریو مدیریتی کم‌آبیاری با سطح آب آبیاری برابر ۸۰٪ نیاز آبی با در نظر گرفتن ملاحظات طراحی و بهره‌برداری برای آبیاری اراضی زیرکشت گندم آبی شهرستان سنندج پیشنهاد می‌گردد.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از جناب آقای دکتر محمدحسین سدری، ریاست محترم مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان کردستان جهت حمایت از اجرای پژوهش تشکر و قدردانی می‌شود.

دسترسی به داده‌ها

داده‌های تولیدشده در این پژوهش در متن مقاله ارائه شده است.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می دارند که هیچ تضاد منافعی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

References

Alama, M. and Broner, I. (2000). Subsurface drip SDI, Colorado state university cooperative extension fact sheet no. 4. Accessed on December 19, 2017. Available at: http://www.ext.colostate.edu/pubs/crops/04716.html

Alizada, H. A., Nazari B., Parsinejad M., Ramezani Eetedali H. and Janbaz H. R. (2010). Evaluation of aqua crop model on wheat deficit irrigation in Karaj area. J. Irrig. Drain., 4(2), 273-283. [in Persian]

Anonymous. (2014). Agricultural statistics of Iran, ministry of agriculture department of statistics and information. Accessed on January 18, 2018. Available at: https://www.amar.org.ir.

Bryla, D. R. Banuelos, G. S. and Mitchell, J. P. (2003). Water requirements of subsurface drip-irrigated faba bean in California. J. Irrig. Sci., 22(1), 31-37.

Dencic, S. Mladenov, N. and Kobiljski, B. (2014). Effects of genotype and environment on bread making quality in wheat. Int. J. Plant Product., 5, 71-82.

Djaman, K. and Irmak, S. (2012). Soil water extraction patterns and crop, irrigation, and vapor transpiration water use efficiency of maize under full and limited irrigation and rain fed settings. Trans. ASABE., 55(2), 1223-1238.

Elmaloglou, S. and Diamantopoulos, E. (2009). Simulation of soil water dynamics under subsurface drip irrigation from line sources. J. Agrico. Water Manage., 96(11), 1587-1595.

Enciso, J., Jifon, J. and Wiedenfeld, B. (2007). Subsurface drip irrigation of onions: Effects of drip tape emitter spacing on yield and quality. J. Agrico. Water Manage., 92(3), 126-130.

FAO. 2013. http://faostat.fao.org/ Food and agriculture organization of the United Nations, Rome, Italy

Fazel, M. (2009). A look at the topic of sensitive, special and strategic goods in Iran. J. World Trade., 12, 9-39 [in Persian]

Gao, Y., Yang, L., Shen, X., Li, X., Sun, J. and Duane, A. (2014). Winter wheat with subsurface drip irrigation (SDI): crop coefficients, water use estimates, and effects of SDI on grain yield and water use efficiency. J. Agrico. Water Manage., 146,1–10.

Hanafi, A. and Hatami, I. (2013). Preparation of climate map of Kurdistan province using geographical information system. Sepehr Geogr. Inform. Quart., 22 (87), 24-28.

Haidari, N. (2011), Determination and evaluation of water use efficiency of some major crops under farmer's management in Iran. J. Water and Irr. Manage., 1(2), 43-57 [in Persian]

James, L. G. (1988). Principles of farm irrigation system design. Jone Willey & Sons, New York.

Jolaini, M. (2011). Investigation the effect of different water and plastic mulch levels on yield and water use efficiency of tomato in surface and subsurface drip irrigation method. J. Water Soil, 25(5), 1025-1032 [In Persian]

Kar, G., Kumar, A. and Martha, M. (2007). Water use efficiency and crop coefficients of dry season oilseed crops. J. Agri. Water Manage., 87(1), 73–82.

Karimi, B., Sohrabi, T., Mirzaei, F. and Ababaei, B. (2016). Assessment of moisture- nitrate distribution and lateral installation depths in surface and subsurface drip irrigation. J. Water Res., 9(3), 67-77 [in Persian]

Kirda, C. (2002). Deficit irrigation scheduling based on plant growth stages showing water stress tolerance. Food and agricultural organization of the United Nations, deficit irrigation practices. Water Reports., 22,102.

Muneer, S., Xia, W. Y., Ming, Y. J., Faiz, M. A., Hao, J., Michel T., Yi, Z., Chen, R. and Xiang, H. J. (2018). Regulated deficit irrigation impact at various growth stages and productivity of soybean. J. Nat. Sci. Res., 8(12), 18-23.

Nagfi, P. (2007). The effect of subsurface drip irrigation on WUE increase in irrigation of some crops. Pajouh Sazand, 73, 156-162 [In Persian].

Patel, N. and Rajput, T. B. S. (2009). Effect of subsurface drip irrigation on onion yield. J. Irrig. Sci., 27, 97–108.

Patel, N. and Rajput, T. B. S. (2007). Effect of drip tape placement depth and irrigation level on yield of potato. J. Agri. Water Manage., 88, 209-223.

Peake, A. S., Carberry, P. S., Raine, S. R., Gett, V. and Smith R. J. (2016). An alternative approach to whole-farm deficit irrigation analysis: Evaluating the risk-efficiency of wheat irrigation strategies in sub-tropical Australia. J. Agri. Water Manage., 169, 61–76.

Rao, K. V. R., Bajpai, A., Gangwar, S., Chourasia, L. and Soni, K. (2016). Maximizing water productivity of wheat crop by adopting drip irrigation. J. Res. Crop., 17(1), 163-168.

Rogers D. H., Lamm, F. R. and Alam M. (2003). Subsurface drip irrigation systems (SDI) water quality assessment guidelines. K-State Research and Extension., MF-2575.

Sanchez Gutierrez, R. A., Servin Palestrina, M. S., Banuelos, H. G. and Serna Perez, A. (2017). Water use efficiency of alfalfa varieties (Medic ago sativa) with subsurface irrigation system. Rev. Mex. Cienc. Pecu., 8, 429–435.

Sedaghati, N., Hosseinifard, S. J. and Mohammadi Mohammadabad, A. (2012). Comparing effects of surface and subsurface drip irrigation systems on growth and yield on mature pistachio trees. J. Water Soil., 26(3), 575-583 [in Persian]

Suarez-Rey, E., Choi, C. Y., Waller, P. M. and Kopec, D. M. (2000). Comparison of subsurface drip irrigation and sprinkler irrigation for Bermuda grass turf in Arizona. Trans. Am. Soc. Agri. Eng., 43(3), 631-645.

Vafapour, M. M., Jahanbeen, S., Yadavi, A. and Fallah Heki, M. H. (2011). Effect of foliar application of phosphorus and water deficit on yield and yield components of winter wheat (cultivar eland), Crop Prod. Proc., 1(1), 67-80.

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