

EXTENDED ABSTRACT

Investigation the Effect of New Deficit Irrigation Strategies on Growth Indices of Two Corn Cultivars

M. Mokari^{1*}, M. Majidi² and H. Falahati³

*1**- Corresponding Author, Assistant Professor, Department of Water Engineering, Kashmar Higher Education Institute, Kashmar, Iran. (mehdimokari@gmail.com)

2- Assistant Professor, Department of Water Engineering, Kashmar Higher Education Institute, Kashmar, Iran.

3- Technical Expert, Agricultural Research & Natural Resources Center, Razavi Khorasan Province, Iran.

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 19 February 2020

Revised: 25 December 2020

Accepted: 27 December 2020

Keywords:

Crop growth rate, Relative growth rate,

Leaf area index, Dry biomass.

TO CITE THIS ARTICLE :

Mokari, M., Majidi, M., Falahati, H. (2021). 'Investigation the Effect of New Deficit Irrigation Strategies on Growth Indices of Two Corn Cultivars', *Irrigation Sciences and Engineering*, 44(4), pp. 75-91. doi: 10.22055/jise.2020.32531.1909.

Introduction

Deficit irrigation is a suitable method for obtaining the economic and acceptable yield with the minimum amount of water (Zegbe et al., 2004). Although the yield in unit area is decreased in this irrigation method, the amount of consumption water, water harvesting, delivery and distribution costs of water decreased, which results in more benefit (Yazar et al., 2009).

Partial root drying (PRD) is the modified method of deficit irrigation which some part of plant roots is irrigated and another part of them are placed in dry soil. For the first time, the concept of PRD was applied by Grimes et al. (1968) in the United States. In this method, water uptaking from the wet zoning of plant roots holds the water status in plant in a favorable condition (Davies et al., 2002), and the other part of roots placed in dry soil results in increasing abscisic acid hormone production.

The most important growth indices which are used frequently in plants include leaf area index (LAI), crop growth rate (CGR) and relative growth rate (RGR) so that plant production dry matter can be investigated using these indices (Modarresi et al., 2004). Investigation of variations of growth indices of five maize hybrids under two different irrigation regimes indicated that interrelationship between leaf area index and grain yield was significant (Nori Azhar and Ehsanzadeh, 2007).

Water scarcity is one of the most important factors that decrease the maize yield and yield reduction depending on corn cultivars and growth stages that are affected by water stresses. With regard to desirable features of leafy and commercial hybrids of maize and also different effect of stresses in different stages of vegetative and reproductive growth, the objective of this study was to investigate the effect of water stress and new deficit irrigation strategies on growth indices of two corn cultivars in Kashmar climate.

Materials and Methods

This research was conducted in Natural Resources and Agricultural Research Center of Kashmar. In this research, a split plot experiment based on completely randomized design with three replications was

utilized. The irrigation treatments employed in this research include full irrigation treatment (FI), static deficit irrigation (SDI), dynamic deficit irrigation (DDI), static partial root zone drying irrigation (SPRD) dynamic partial root zone drying irrigation (DPRD) as main factors (Ahmadi et al., 2014) and two forage corn cultivars include 704 and 606Sc as sub-main factors. Physical characteristics of study soil were shown in table (1).

Table 1- Physical characteristics of study soil

Soil depth (cm)	Clay (%)	Silt (%)	Sand (%)	Soil texture	Bulk density (gr/cm ³)
0-30	31.5	43.5	25	Clay-loam	1.36
30-60	45	38	17	Clay	1.41
60-90	45	50	5	Silt-Clay	1.35

In order to evaluate growth indices, plant total dry matter weight, leaf dry weight and leaf area variations on growth period length were used. Crop growth rate (CGR), relative growth rate (RGR) and leaf area index (LAI) for each stage of sampling was calculated from the below equations:

$$CGR = \frac{(W_2 - W_1)}{P(t_2 - t_1)} \quad (1)$$

$$RGR = \frac{(\ln W_2 - \ln W_1)}{t_2 - t_1} \quad (2)$$

$$LAI = \frac{LA}{P} \quad (3)$$

Where, LA is leaf area in each stage of growth, P is ground area that is occupied by plant, t is time in terms of day after planting and w is total weight of plant. Morphologic traits which were measured include leaf dry matter, ear wet weight, stem and total dry matter. Variance analysis of data and drawing of graphs were done by SPSS and Excel Software, respectively.

Results and discussion

The results of variance analysis in different growth stages indicated that LAI was affected by different irrigation treatments. FI and SDI irrigation treatments had higher LAI than the others. The quantities of LAI in SDI, DDI, SPRD and DPRD treatments compared with witness treatment had 10.52, 20.61, 31.14 and 41.22 percent decreased, respectively. Leaf dry weight for DDI, SPRD and DPRD treatments compared with witness treatment (FI) decreased by quantities of 19.8, 20.8 and 25.3 percent, respectively, in the end of growing season. Different treatments of deficit irrigation had significant effect ($P < 0.01$) on decreasing leaf dry weight while cultivar effect and interaction of deficit irrigation strategies and cultivar was not significant on leaf dry weight decreasing. Crop growth rate for DDI, SPRD and DPRD treatments compared with witness treatment (FI) decreased by quantities of 31.7, 39 and 58.5 percent respectively, and leaf area index in these treatments compared with witness treatment (FI) decreased by quantities of 18.1, 22.7 and 31.8 percent, respectively. Evaluation of variations related to ear wet weight showed that accumulation of ear wet matter by passing of time increased with positive and too fast slop around the specific time (60-80 days after plant) and then decreased, similarly by approaching to harvesting time decreased. The least accumulation of stem dry weight existed in SPRD and DPRD treatments (36.5 and 47.81 percent decreasing rather than full irrigation). In this study, LAI and crop growth rate had similar trend in SDI and FI irrigation treatments. The maximum crop growth rate was 37.28 and 19.03 (gr/m²) in FI and SDI treatment irrigation, respectively. Also, the results of this study showed that relative growth rate decreased by applying the new deficit irrigation strategies.

Conclusion

According to the results obtained from this research, it is revealed that applying the new deficit irrigation strategies was significant on total dry matter weight, leaf dry weight, stem dry weight and ear wet weight in all of the growth stages. The quantities of total dry mass weight, leaf dry weight, stem dry weight and ear wet weight were higher in FI and SDI irrigation treatments than the others. The results of variance analysis table indicated that total dry matter weight, leaf dry weight, stem dry weight, ear wet weight and leaf area index did not have significant difference in FI and SDI irrigation treatments. With regard to water consumption is less in SDI treatment than the FI treatment by quantities of 22 percent and water productivity is more than 18 percent for this treatment rather than FI, therefore, using SDI irrigation method for watering the forage corn is recommended in Kashmar region.

Acknowledgment

The authors would like to thank the staff of Natural Resources and Agricultural Research Center of Kashmar for their contribution to the implementation of this research.

References

- 1- Ahmadi, S. H., Agharezaee, M., Kamgar-Haghighi, A. A. and Sepaskhah, A. R. 2014. Effects of dynamic and static deficit and partial root zone drying irrigation strategies on yield, tuber sizes distribution, and water productivity of two field grown potato cultivars. *Agricultural Water Management*. 134, pp.126-136.
- 2- Davies, W. J., Wilkinson, S. and Loveys, B. 2002. Stomatal control by chemical signaling and the exploitation of this mechanism to increase water use efficiency in agriculture. *New Phytologist*. 153, pp.449-460.
- 3- Grimes, D.W., Walhood, V.T. and Dickens, W.L. 1968. Alternate- furrow irrigation for San Joaquin Valley cotton. *California Agriculture*. 22(5), pp.4-6.
- 4- Modarresi, M., Kheradnam, M. and Assad, M. T. 2004. Selection Indices as Indirect Selection in Corn Hybrids (*Zea mays* L.) for Increasing Grain Yield. *Iranian Journal of Agriculture Science*. 35(1), pp.115-127. (In Persian).
- 5- Nori Azhar, J. and Ehsanzadeh, P. 2007. Evaluation of Interrelationship of Growth Indices and Grain Yield of Five Maize Hybrids under Two Irrigation Regimes in Isfahan. *Journal of Water and Soil Science*. 11(41), pp.261-273. (In Persian).
- 6- Yazar, A., Gokcel, F. and Sezen, M. 2009. Corn yield response to partial root zone drying and deficit irrigation strategies applied with drip system. *Plant, Soil & Environment*. 55(11), pp.494-503.
- 7- Zegbe, J., Behboudian, M. and Clothier, B. 2004. Partial root zone drying is a feasible option for irrigation processing tomatoes. *Agricultural Water Management*. 68(3), pp.195-206.



بررسی تأثیر روش‌های جدید کم‌آبیاری بر مؤلفه‌های رشدی دو رقم ذرت

مهدی مکاری^{۱*}، میثم مجیدی^۲ و حسن فلاحی^۳

*- نویسنده مسئول، استادیار گروه مهندسی آب مرکز آموزش عالی کاشمر، کاشمر، ایران. mehdimokari@gmail.com

۲- استادیار گروه مهندسی آب مرکز آموزش عالی کاشمر، کاشمر، ایران.

۳- کارشناس مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی.

پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۷

بازنگری: ۱۳۹۹/۱۰/۵

دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۳۰

چکیده

این پژوهش در قالب طرح کامل تصادفی به صورت کرت‌های یک بار خرد شده با سه تکرار انجام شد. تیمارها شامل پنج تیمار آبیاری به‌عنوان عامل اصلی و دو رقم ذرت علوفه‌ای شامل سینگل کراس ۷۰۴ و ۶۰۶ به‌عنوان عامل فرعی بودند. تیمارهای آبیاری عبارت بودند از: (۱) آبیاری کامل (FI)، (۲) کم‌آبیاری به صورت استاتیک (SDI)، (۳) کم‌آبیاری به صورت پویا (DDI)، (۴) آبیاری بخشی از ریشه به صورت پویا (DPRD) و (۵) آبیاری بخشی از ریشه به صورت استاتیک (SPRD). نتایج نشان داد که تیمارهای کم‌آبیاری DDI، SPRD و DPRD باعث کاهش معنی‌دار ماده خشک برگ، سرعت رشد گیاه و شاخص سطح برگ شدند. در انتهای فصل رشد، ماده خشک برگ در تیمارهای DDI، SPRD و DPRD نسبت به تیمار شاهد (FI) به ترتیب به اندازه ۱۹/۸، ۲۰/۸ و ۲۵/۳ درصد کاهش نشان داد. بیش‌ترین سرعت رشد گیاه و رشد نسبی به ترتیب با مقادیر ۴۱/۰۶ گرم بر مترمربع در روز و ۰/۱۳ گرم بر روز مربوط به تیمار آبیاری کامل بود. در ۷۰ روز بعد از کاشت، سرعت رشد گیاه در تیمارهای DDI، SPRD و DPRD نسبت به تیمار شاهد (FI) به ترتیب به اندازه ۳۱/۷، ۳۹ و ۵۸/۵ درصد و شاخص سطح برگ در این تیمارها نسبت به تیمار شاهد به ترتیب به اندازه ۱۸/۱، ۲۲/۷ و ۳۱/۸ درصد کاهش نشان دادند. با توجه به مصرف کمتر آب در تیمار SDI نسبت به تیمار شاهد و همچنین محدودیت منابع آبی در منطقه مورد مطالعه، می‌توان تیمار SDI را به‌عنوان روش کم‌آبیاری مناسب برای این منطقه پیشنهاد نمود.

کلید واژه‌ها: سرعت رشد گیاه، سرعت رشد نسبی، شاخص سطح برگ، زی توده خشک.

مقدمه

کم‌آبیاری راهکاری مناسب برای کسب عملکرد قابل قبول و اقتصادی با مصرف حداقل آب می‌باشد (Zegbe et al., 2004). در کم‌آبیاری با وجود این که عملکرد در واحد سطح کاهش پیدا می‌کند، ولی کاهش در مقدار آب مصرفی، هزینه‌های استحصال، انتقال و توزیع آب موجب کسب سود بیش‌تر خواهد شد (Yazar et al., 2009).

آبیاری بخشی از ریشه (PRD) شکل اصلاح شده‌ای از کم‌آبیاری است که در آن بخشی از سیستم ریشه‌ای گیاه آبیاری می‌گردد و بخشی دیگر در خاک خشک قرار دارد. مفهوم PRD برای اولین بار در آمریکا توسط Grimes et al. (1968) به کار گرفته شد. بعد از آن این روش آبیاری برای محصولات مختلف زراعی و درختان میوه در سراسر جهان استفاده شد. از جمله این محصولات می‌توان به لوبیا، چغندرقتد، درختان انگور، ذرت، لوبیا سبز، سیب، هلو، سیب زمینی و گوجه فرنگی اشاره نمود. روش PRD بر این فرض استوار است که

بخشی از ریشه که تحت تنش واقع شده است، ریشه‌های نابه‌جا تولید نموده و با خشک و تر نمودن متناوب، سیستم ریشه‌ای خود را توسعه می‌بخشد؛ لذا گیاهان در روش کم‌آبیاری ناقص ریشه می‌توانند سیستم ریشه‌ای متفاوتی در مقایسه با گیاهانی که تحت آبیاری کامل و یا کم‌آبیاری تنظیم شده قرار دارند، داشته باشند (Dry and Loveys, 1998). در این روش با جذب آب از قسمت تر ریشه وضعیت آب گیاه در یک حالت مطلوب نگه داشته می‌شود (Davies et al., 2002) و قسمتی از ریشه که در ناحیه خشک قرار دارد سبب افزایش تولید هورمون آبسسیسیک اسید می‌شود. افزایش این هورمون باعث کاهش هدایت روزنه‌ای شده و در نتیجه کارایی مصرف آب افزایش می‌یابد (Davies and Zhang, 1991). مهم‌ترین شاخص‌های رشد که در گیاهان کاربرد فراوانی دارند شاخص سطح برگ (LAI)، میزان رشد گیاه زراعی (CGR) و سرعت رشد نسبی (RGR) می‌باشند به طوری که می‌توان ماده خشک تولیدی گیاه را به وسیله شاخص‌هایی از قبیل میزان رشد محصول و سرعت رشد

رشدی دو رقم ذرت در شرایط آب و هوایی کاشمر مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

محل مورد مطالعه

این پژوهش در سال زراعی ۱۳۹۷ در مزرعه پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی شهرستان کاشمر انجام شد. ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی شهرستان کاشمر در فاصله دو کیلومتر از مرکز شهرستان و در طول جغرافیایی ۵۸ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۵۸ درجه و ۵۰ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۱۲ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۲۴ دقیقه شمالی قرار دارد. ارتفاع این مرکز ۱۱۰۹/۷ متر از سطح دریا می‌باشد. میانگین بلند مدت دمای سالانه ۱۹۲/۱ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارش سالانه ۱۹۲/۱ میلی‌متر می‌باشد. اقلیم منطقه بر اساس طبقه‌بندی دو مارتن، خشک می‌باشد. خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک زراعی محل آزمایش به ترتیب در جدول‌های (۱) و (۲) و خصوصیات شیمیایی آب آبیاری مزرعه تحقیقاتی که از چاه عمیق تأمین می‌شود در جدول (۳) ارائه شده است. با توجه به خصوصیات شیمیایی ارائه شده برای آب آبیاری و براساس نمودار ویلکاکس، آب آبیاری در کلاس C2S1 قرار می‌گیرد. این پژوهش به صورت کرت‌های یک بار خرد شده در قالب طرح کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارها شامل پنج تیمار آبیاری به‌عنوان عامل اصلی و دو رقم ذرت علوفه‌ای شامل سینگل کراس ۷۰۴ و ۶۰۶ به‌عنوان عامل فرعی بودند. تیمارهای آبیاری عبارت بودند از: (۱) آبیاری کامل (FI) که در آن صد در صد نیاز آبی گیاه در طول دوره رشد تأمین شد و هیچ گونه تنش به گیاه اعمال نگردید، (۲) کم‌آبیاری به‌صورت استاتیک که در آن ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه به‌طور ثابت و در تمام طول دوره رشد به کل سیستم ریشه‌ای آن اعمال شد (SDI)، (۳) کم‌آبیاری به‌صورت پویا که در آن در یک سوم ابتدای دوره رشد ۹۰ درصد نیاز آبی گیاه، در یک سوم بعدی دوره رشد ۷۵ درصد نیاز آبی و در یک سوم انتهایی دوره رشد ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه، به کل سیستم ریشه‌ای گیاه اعمال گردید (DDI)، (۴) کم‌آبیاری به‌صورت پویا که در آن در یک سوم ابتدای دوره رشد ۹۰ درصد نیاز آبی گیاه، در یک سوم بعدی دوره رشد ۷۵ درصد و در یک سوم انتهایی دوره رشد ۵۰ درصد نیاز آبی برای بخشی از سیستم ریشه‌ای گیاه، تأمین گردید (DPRD) و (۵) کم‌آبیاری به‌صورت استاتیک که در آن ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه به‌طور ثابت و در تمام طول دوره رشد برای بخشی از سیستم ریشه‌ای تأمین گردید (SPRD) (Ahmadi et al., 2014). بنابراین برای اجرای طرح ۳۰ پلات ایجاد گردید. ابعاد هر پلات ۳×۵ متر و فاصله بین آن‌ها ۱/۵ متر منظور گردید. در شکل (۱) شمایی از طرح استفاده شده در این پژوهش نشان داده شده است.

نسبی که هر دو از مهم‌ترین شاخص‌های رشدی می‌باشند مورد بررسی قرار داد (Modarresi et al., 2004). در پژوهشی که در کرج انجام شد اعمال تیمارهای کم‌آبیاری در مراحل مختلف رشد ذرت علوفه‌ای نشان داد که تنش رطوبتی در مراحل رشد روی شی و گلدهی به‌ترتیب باعث کاهش ۲۸ و ۲۹ درصدی عملکرد نسبت به تیمار آبیاری متداول گردید (Rezaverdi Nejad et al., 2006). بررسی تغییرات شاخص‌های رشد پنج هیبرید ذرت در دو رژیم مختلف آبیاری نشان داد که همبستگی مثبت معنی‌داری بین شاخص سطح برگ و عملکرد دانه وجود دارد (Nori Azhar and Ehsanzadeh, 2007). در پژوهشی گزارش گردید که کم‌آبیاری در اوایل رشد رویشی، شاخص سطح برگ، ارتفاع بوته و سرعت رشد گیاه و ماده خشک را در گیاه ذرت به مقدار کمی کاهش می‌دهد و مرحله رشد زایشی باعث کاهش شدید این شاخص‌ها می‌شود (Pandey et al., 2000). نتایج پژوهشی دیگر نشان داد که مقدار شاخص سطح برگ ذرت در مرحله ابریشم‌دهی به حداکثر می‌رسد و پس از آن به دلیل ریزش برگ‌ها، روند نزولی پیدا می‌کند (Saber Ali et al., 2007). تأثیر تیمارهای کم‌آبیاری بر صفات مورفولوژیک و شاخص‌های رشد ذرت علوفه‌ای را در شرایط آب و هوایی رشت نتایج نشان داد که آبیاری بر مبنای ۷۵ درصد تخلیه رطوبت قابل دسترس، باعث کاهش معنی‌دار ماده خشک برگ، سرعت رشد گیاه و شاخص سطح برگ شد (Karimi et al., 2009). تأثیر تنش کمبود آب در مراحل رشد رویشی و زایشی در هیبریدهای پربرگ و تجاری ذرت نیز نشان داد که کمبود رطوبت در مراحل رشد موجب کاهش چشم‌گیر عملکرد بیولوژی یک گردید (Kalamian et al., 2005). تنش در هر دو مرحله زایشی و رویشی بیش‌ترین تأثیر را بر روند تجمع ماده خشک داشت. کاهش عملکرد نه تنها به شدت تنش بلکه به مرحله رشد گیاه نیز بستگی دارد (Cakir, 2004). تأثیر کم‌آبیاری متناوب بر عملکرد و بهره‌وری آب در ذرت دانه‌ای سینگل کراس-۷۰۴ نشان داد که کم‌آبیاری متناوب بر صفات وزن خشک بوته، وزن بلال، عملکرد دانه و بهره‌وری آب اثر معنی‌داری داشت. همچنین برای رسیدن به بهره‌وری آب، ارتفاع بوته، عملکرد زیست توده، وزن بلال و عملکرد دانه بیش‌تر نیازی به آبیاری کامل (یعنی ۱۰۰ درصد) نیست و با اعمال کم‌آبیاری به‌صورت تأمین ۸۵ درصد نیاز آبی گیاه، می‌توان به مقدار عملکرد حداکثر رسید (Masomi et al., 2015).

با توجه به مطالب ارائه شده کمبود آب یکی از مهم‌ترین عوامل کاهش دهنده عملکرد ذرت بوده که میزان خسارت با توجه به مرحله رشدی ایجاد تنش و رقم متفاوت می‌باشد. نظر به خصوصیات مطلوب ارقام پربرگ ذرت و همچنین تفاوت تأثیر تنش در مراحل مختلف رشد، در این پژوهش اثر تنش رطوبتی و استراتژی‌های جدید کم‌آبیاری در حالت پویا و ثابت در مراحل مختلف رشد بر شاخص‌های

جدول ۱- خصوصیات شیمیایی خاک

Table 1- Chemical characteristics of soil

Soil depth (cm)	pH	EC (dS/m)	(mg/kg)						
			OC (%)	TNV (%)	N (%)	P	K	Zn	Mn
0-30	7.9	0.598	0.502	20.5	0.071	9.6	310	0.049	7.91
30-60	7.7	0.570	0.250	36	0.034	4	280	0.030	4.40

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی خاک

Table 2- Physical characteristics of soil

Soil depth (cm)	Clay (%)	Silt (%)	Sand (%)	Soil texture	Bulk density (gr cm ⁻³)
0-30	31.5	43.5	25	Clay-loam	1.36
30-60	45	38	17	Clay	1.41
60-90	45	50	5	Silt-Clay	1.35

جدول ۳- خصوصیات شیمیایی آب آبیاری

Table 3- Chemical characteristics of irrigation water

pH	EC (dS/m)	(meq/l)							
		Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	CO ₃ ²⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ³⁻	Cl ⁻
7.35	0.345	0.21	0.42	3.11	1.27	0	0.03	4.3	0.51

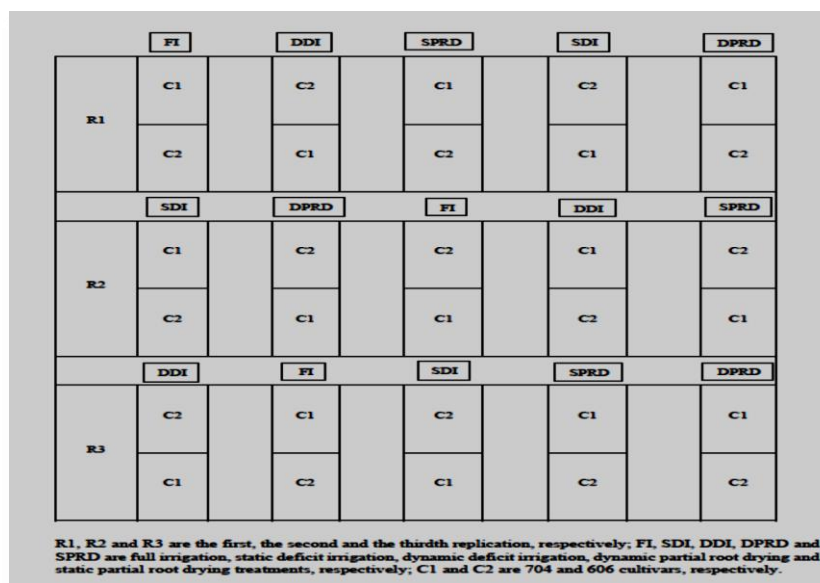


Fig. 1- Schematic of used design in this research

شکل ۱- شمایی از طرح استفاده شده در این پژوهش

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

در این رابطه، ET_0 تبخیر- تعرق مرجع (mm/day)، R_n تابش خالص در سطح پوشش گیاهی (MJm⁻²d⁻¹)، T متوسط دمای هوا در ارتفاع دو متری از سطح زمین (OC)، U_2 متوسط سرعت باد در ارتفاع

محاسبات نیاز آب آبیاری

با استفاده از داده‌های هواشناسی بلند مدت که از ایستگاه هم‌مدیدی شهر ستان کاشمر دریافت گردید مقدار تبخیر- تعرق مرجع در فاصله بین دو آبیاری (یعنی پنج روز) با استفاده از روش فائو- پنمن - مونتیث محاسبه گردید (رابطه ۱):

اندازه‌گیری می‌شد. لازم به ذکر است که دقت کنتورهای استفاده شده در این پژوهش در حد لیتر بود. به‌منظور کاهش رقابت برای جذب آب، حذف علف‌های هرز در طول دوره داشت به صورت دستی انجام شد. از آنجایی که بافت خاک مزرعه لومی رسی بود بعد از انجام چند آبیاری سطح خاک سله بسته و نیاز به سله شکنی و ترمیم پشته‌ها داشت تا هم نفوذ آب بهبود یابد و هم تبادل هوا بهتر صورت گیرد. بنابراین دو ماه پس از کاشت، نزدیک به دوره گلدهی، سله‌شکنی به صورت دستی، توسط بیل انجام شد. هم‌زمان با سله شکنی ۳۰ کیلوگرم کود نیترات آمونیوم ۴۶ درصد به زمین داده شد. آخرین آبیاری در تاریخ ۱۵ مهرماه انجام شد. برداشت محصول به‌صورت دستی و توسط قیچی باغبانی، ۹۰ روز بعد از کاشت در تاریخ ۲۵ مهرماه انجام شد. برای اندازه‌گیری شاخص‌های رشد، هر ۱۰ روز یک بار از مزرعه نمونه‌برداری شد. در هر مرحله از نمونه‌برداری سه بوته به‌صورت تصادفی از هر کرت انتخاب و پس از انتقال به آزمایشگاه به چهار قسمت ساقه، برگ، بلال و گل‌آذین (پس از رشد زایشی) تفکیک شدند. برای بررسی شاخص‌های رشد از شاخص‌های وزن خشک کل گیاه، وزن خشک برگ و تغییرات سطح برگ در طول دوره ر شد استفاده شد. برای برآورد مقادیر سرعت رشد محصول (CGR) بر حسب گرم بر مترمربع در روز، سرعت رشد نسبی (RGR) بر حسب گرم بر گرم در روز و شاخص سطح برگ (LAI) برای هر مرحله نمونه‌برداری از رابطه‌های (۵) تا (۷) استفاده گردید.

$$CGR = \frac{(W_2 - W_1)}{P(t_2 - t_1)} \quad (5)$$

$$RGR = \frac{(\ln W_2 - \ln W_1)}{t_2 - t_1} \quad (6)$$

$$LAI = \frac{LA}{P} \quad (7)$$

در رابطه‌های فوق LA سطح برگ هر مرحله، P سطح زمینی که توسط گیاه اشغال شده، t زمان بر حسب روز پس از کاشت و W وزن کل گیاه می‌باشد. مقادیر مختلف عمق آب آبیاری برای تیمارهای مختلف آبیاری در جدول (۴) ارائه گردیده است.

صفات مورفولوژیک اندازه‌گیری شده شامل ماده خشک برگ، وزن تر بلال، ماده خشک ساقه و ماده خشک کل بودند. برای اندازه‌گیری وزن تر و خشک از ترازوی با دقت ۰/۰۱ گرم استفاده شد، لازم به ذکر است برای اندازه‌گیری وزن خشک، نمونه‌ها درون پاکت‌های مربوط به هر یک از تیمارها قرار داده شد و با قرار گرفتن در درون آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شدند. تجزیه واریانس و تحلیل آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS 16، مقایسه‌ی میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن و ترسیم نمودارها توسط نرم‌افزار Excel 2013 انجام گردید.

دو متری از سطح زمین (m/s)، (es-ea) کمبود فشار بخار در ارتفاع دو متری (Kpa)، Δ شیب منحنی فشار بخار (Kpa/0°C)، γ ضریب رطوبتی (Kpa/0°C) و G شمار گرما به دا خل خاک (MJm⁻²d⁻¹) می‌باشند.

سپس تبخیر- تعرق گیاه از حاصل ضرب ضرایب گیاهی (Kc) در مراحل مختلف رشد در تبخیر- تعرق مرجع به دست آمد (رابطه ۲):

$$ET_c = K_c \times ET_0 \quad (2)$$

در این رابطه، ET_c تبخیر- تعرق گیاه (mm/day) و K_c ضریب گیاهی که در مراحل چهارگانه رشد به ترتیب ۰/۴۵، ۰/۹، ۱/۱۳ و ۰/۷ در نظر گرفته شد، می‌باشد (Gheysari et al., 2006). بعد از آن مقدار عمق خالص آبیاری با استفاده از رابطه (۳) محاسبه گردید:

$$d_n = \sum_{i=1}^5 ET_c \quad (3)$$

در این رابطه، d_n عمق خالص آبیاری بر حسب میلی‌متر می‌باشد. در نهایت با قرار دادن عمق ناخالص آب آبیاری در معادله زیر حجم آب آبیاری محاسبه و با استفاده از کنتور اندازه‌گیری و با استفاده از لوله پلی‌اتیلن و شیرهای تعبیه شده روی آن به هر پلات منتقل شد (رابطه ۴).

$$V = \frac{d_n \times A_p \times 1000}{1000} \quad (4)$$

در این رابطه، V حجم آب آبیاری بر حسب لیتر و A_p مساحت هر کرت بر حسب مترمربع می‌باشد.

در تاریخ ۲۴ تیر ماه ۱۳۹۷، بذر دو رقم ذرت علوفه‌ای یعنی سینگل کراس ۷۰۴ و ۶۰۶، در چهار ردیف با فاصله ردیف‌های ۶۰ سانتی‌متر کاشته شدند. فاصله بذرها روی پشته در ابتدا پنج سانتی‌متر در نظر گرفته شد ولی ۲۱ روز پس از کاشت و جین صورت گرفت و فاصله بین دو گیاه بین هفت تا ۱۰ سانتی‌متر تنظیم شد. آبیاری اول در تاریخ ۲۸ تیرماه، آبیاری دوم در تاریخ دوم مردادماه و آبیاری سوم در تاریخ هفتم مردادماه انجام شد. تا ۲۰ روز بعد از کاشت ذرت تمام تیمارها به‌طور یکسان و به صورت آبیاری سطحی جویچه‌ای (فارو) و با دور آبیاری ثابت (یعنی پنج روز) آبیاری شدند. تیمارهای کم‌آبیاری مورد نظر ۲۳ روز پس از کاشت بذر و در مرحله شش تا هشت برگی شدن گیاه اعمال گردید. برای اعمال تیمارهای کم‌آبیاری و اندازه‌گیری میزان آب ورودی به کرت‌های آزمایشی، از یک لوله پلی اتیلن به‌عنوان نهر بالاسری استفاده شد. با استفاده از شیرهای تعبیه شده روی این لوله که در ابتدای هر فارو قرار داشت، آب به درون هر فارو هدایت می‌شد و همچنین توسط حجم سنج (کنتور) که برای هر کرت در نظر گرفته شده بود، میزان آب ورودی به هر کرت

نتایج و بحث

شاخص سطح برگ

در این پژوهش شاخص سطح برگ برای تمامی تیمارهای مورد مطالعه از روند تغییرات مشابهی برخوردار بود، به طوری که با افزایش سطح برگ در ابتدای فصل رشد، در زمان کاکل‌دهی به حداکثر مقدار ممکن رسید و از این زمان به بعد به دلیل پیری و خشک شدن برگ‌ها کاهش چشم‌گیری در شاخص سطح برگ مشاهده شد. این پژوهش نشان داد که بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار شاخص سطح برگ

برای رقم سینگل کراس ۷۰۴ در زمان ظهور گل تاجی به‌ترتیب با مقادیر ۵/۳۶ و ۲/۷۶ مربوط به تیمارهای آبیاری کامل و DPRD بود (شکل ۲-الف). این موضوع بیان‌گر آن است که در شرایط محیطی منا سب اعم از طول روز و درجه حرارت کافی، کمبود آب باعث شده است تا گیاه نتواند با توسعه اندام هوایی از حداکثر مقدار شاخص سطح برگ برخوردار گردد. با توجه به شکل‌های (۲-الف) و (۲-ب) مشخص می‌شود که در ابتدای دوره رشد، مقدار شاخص سطح برگ در همه تیمارها یکسان بود و لی با گذشت زمان (۷۰ روز بعد از کاشت) تأثیر تیمارها به تدریج آشکارتر شد.

جدول ۴- تاریخ و عمق آب آبیاری (میلی‌متر) برای تیمارهای مختلف آبیاری در سال زراعی ۱۳۹۷

Table 4- Date and depth of irrigation water (mm) for different irrigation treatments in 2018

	FI	SDI	DDI	SPRD	DPRD
19 July	25	25	25	25	25
24 July	25	25	25	25	25
29 July	33	33	33	33	33
3 August	40	40	40	40	40
8 August (applying of deficit irrigation)	61	46	55	23	28
13 August	76	57	68	28	34
18 August	92	69	83	34	41
23 August	108	81	97	40	49
28 August	112	85	99	42	50
2 September	111	83	84	41	42
7 September	131	98	98	49	49
12 September	63	47	47	23	23
17 September	47	35	35	18	18
22 September	29	22	14	11	7
27 September	17	13	8	6	4
2 October	30	22	15	11	7
7 October	24	18	12	9	6
Total depth of irrigation water (mm)	1024	799	838	458	481

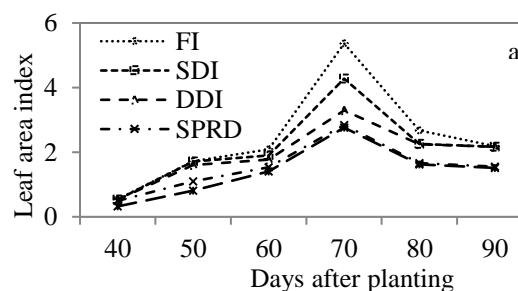
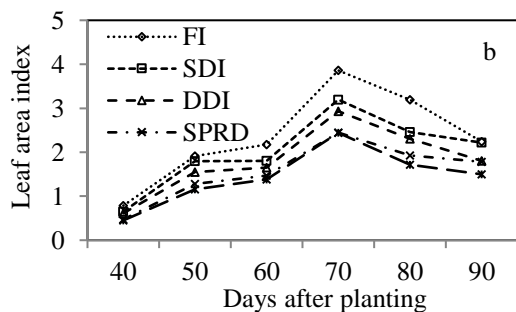


Fig. 2- Effect of different deficit irrigation strategies on leaf area index at days after planting, a) 704 cultivar and b) 606 cultivar

شکل ۲- تأثیر استراتژی‌های مختلف کم‌آبیاری بر شاخص سطح برگ در روزهای بعد از کاشت، الف) رقم ۷۰۴ و ب) رقم ۶۰۶

جدول ۵- تجزیه واریانس شاخص‌های مختلف رشد در مراحل پیدایش گل آذین نر، ظهور ابریشم‌ها، تشکیل دانه و رسیدگی گیاه دو رقم ذرت علوفه‌ای ۷۰۴ و ۶۰۶ سینگل کراس تحت استراتژی‌های مختلف آبیاری

Table 5- Variance analysis of different growth indices during the male florescence and tassel emergence stages, grain fill and maturity of two forage corn cultivars under different irrigation strategies

	Sources of variation	df	Mean squares						
			Leaf area index (Decimal)	Leaf dry weight (gr m ⁻²)	Ear wet weight (gr m ⁻²)	Stem dry weight (gr m ⁻²)	Total dry matter weight (gr m ⁻²)	Crop growth rate (gr m ⁻² d ⁻¹)	Relative growth rate (gr d ⁻¹)
Male florescence emergence stage	Irrigation strategies	4	6.621 **	26372.014 **	-	25596.852 **	95725.394 **	1215.102 **	0.008 **
	Cultivar	1	0.986 ns	3384.382 ns	-	3501.792 ns	12262.217 ns	122.857 **	0.002 *
	Cultivar × Irrigation strategies	4	0.144 ns	165.291 ns	-	120.193 ns	376.218 ns	11.817 ns	5 × 10 ⁻⁴ ns
	Error	20	0.846 × 10 ⁻³	138.898	-	22.085	125.726	0.145	1.08 × 10 ⁻⁶
	C.V	-	0.89	4.85	-	2.41	2.56	1.49	1.49
Tassel emergence stage	Irrigation strategies	4	1.321 **	21661.720 **	251745.028 **	335041.472 **	483714.004 **	1255.823 **	0.005 **
	Cultivar	1	0.136 ns	1305.612 ns	40028.844 ns	89927.970 ns	100429.376 *	222.170 *	0.001 ns
	Cultivar × Irrigation strategies	4	0.007 ns	690.936 ns	3190.988 ns	9248.584 ns	10577.689 ns	19.291 ns	3.833 × 10 ⁻⁵ ns
	Error	20	0.318 × 10 ⁻²	545.324	661.486	178.062	1435.815	1.300	4.87 × 10 ⁻⁶
	C.V	-	3.07	6.21	10.76	2.25	3.91	5.73	5.61
Grain fill stage	Irrigation strategies	4	0.912 **	40579.796 **	2070116.330 **	529070.412 **	800678.153 **	1437.682 **	0.006 **
	Cultivar	1	0.212	4322.400 ns	186046.875 ns	83031.206 ns	85911.775 ns	163.287 ns	0.001 *
	Cultivar × Irrigation strategies	4	0.010 ns	303.620 ns	14302.420 ns	7983.909 ns	10613.603 ns	5.935 ns	9.167 × 10 ⁻⁵ ns
	Error	20	0.015	375.435	4388.429	798.265	2296.816	0.371	1.79 × 10 ⁻⁶
	C.V	-	7.31	5.14	3.18	2.66	3.33	2.97	3.54
Maturity stage	Irrigation strategies	4	0.836 **	43977.313 **	3525037.692 **	379922.749 **	433785.052 **	937.666 **	0.002 **
	Cultivar	1	0.178 ns	5145.418 ns	331933.357 ns	90732.401 ns	1404.663 ns	152.596 *	3.333 × 10 ⁻⁶ ns
	Cultivar × Irrigation strategies	4	0.003 ns	400.161 ns	18995.950 ns	3495.271 ns	102013.017 ns	49.811 ns	4.500 × 10 ⁻⁵ ns
	Error	20	0.021	199.050	3091.911	1210.294	1163.617	1.059	5.02 × 10 ⁻⁶
	C.V	-	8.15	3.52	2.40	3.47	2.43	6.18	9.37

ns: is not significant, **: is significant at 1%, *: is significant at 5%.

۱۰ برگی، رشد گیاه ذرت شدت می‌یابد و این فرآیند تا ورود به مرحله زایشی ادامه دارد. بنابراین هر گونه تنش در این مرحله باعث کاهش رشد و کوچک شدن برگ‌ها می‌شود. محققان دیگر نیز کاهش وزن برگ در اثر کاهش آب مورد نیاز را گزارش کرده‌اند (Boyer, 1970; Eck, 1984). نتایج گزارش شده توسط این محققان با نتایج به‌دست آمده در این پژوهش مطابقت داشت. نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که تیمارهای مختلف کم‌آبیاری بر کاهش وزن خشک برگ در سطح احتمال یک درصد ($P < 0.01$) اثر معنی‌دار داشتند در حالی که اثر رقم و اثر متقابل استراتژی‌های کم‌آبیاری و رقم بر کاهش وزن خشک برگ معنی‌دار نبود.

وزن تر بلال

کاهش وزن تر بلال در مراحل مختلف رشد (به جز زمان ظهور گل‌آذین نر)، در بین تیمارهای مختلف دارای تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد بود (جدول ۵). بررسی تغییرات مربوط به وزن تر بلال نشان داد که تجمع ماده تر بلال با گذشت زمان، با شیب مثبت و بسیار تند، تا یک محدوده زمانی خاص (۸۰-۶۰ روز بعد از کاشت)، (شکل‌های ۴-الف و ۴-ب). از دست دادن رطوبت و عبور از مرحله شیرینی می‌تواند دلایل مربوط به کاهش تجمع ماده تر بلال در نزدیکی مرحله برداشت باشد. Eck (1984) با اعمال تنش رطوبتی در ۴۱ روز بعد از کاشت در ذرت بیان کرد که کمبود آب باعث کاهش عملکرد برگ، ساقه و بلال شد، در حالی که اعمال تنش در ۵۵ روز بعد از کاشت تنها باعث کاهش عملکرد ساقه و بلال گردید. این نتیجه نیز با نتایج به‌دست آمده در این پژوهش هم‌خوانی داشت. با توجه به نتایج ارائه شده در جدول (۶) مشخص گردید که وزن تر بلال در تیمارهای آبیاری کامل (FI) و SDI نسبت به سایر تیمارها بیش تر بود.

وزن خشک ساقه

نتایج ارائه شده در جدول (۶) نشان داد که کم‌ترین تجمع وزن خشک ساقه در تیمارهای SPRD و DPRD وجود داشت (۳۶/۵) و ۴۷/۸۱ درصد کاهش نسبت به آبیاری کامل. Boyer (1970) گزارش نمود که کمبود رطوبت سبب کاهش وزن ساقه ذرت می‌شود. Eck (1984) نیز بیان کرد که کمبود آب در طی دوره رشد رویشی باعث کاهش وزن ساقه می‌گردد. نتایج گزارش شده توسط این محققین با نتایج به‌دست آمده در این پژوهش مطابقت داشت. همچنین با توجه جدول (۶) مشخص گردید که تیمارهای FI و SDI وزن خشک ساقه بیش‌تری نسبت به سایر تیمارهای کم‌آبیاری داشتند. در شکل‌های (۵-الف) و (۵-ب) روند تغییرات وزن خشک ساقه در طول دوره رشد برای دو رقم ذرت نشان داده شده است. با توجه به شکل‌های (۵-الف) و (۵-ب) مشخص می‌شود که وزن خشک ساقه تا ۶۰ روز

نتایج جدول تجزیه واریانس در طی مراحل مختلف رشد نشان داد که شاخص سطح برگ گیاه به‌طور معنی‌داری در مراحل ظهور گل‌آذین نر، ظهور ابریشم‌ها، تشکیل دانه و برداشت تحت تأثیر تیمارهای مختلف آبیاری قرار گرفت (جدول ۵). همچنین مقایسه میانگین شاخص‌های رشد ذرت علوفه‌ای در جدول (۶) نشان داد که تیمارهای آبیاری کامل (FI) و SDI نسبت به تیمارهای دیگر شاخص سطح برگ بیش‌تری داشتند. مقادیر شاخص سطح برگ در تیمارهای DDI، SDI، SPRD و DPRD نسبت به تیمار شاهد (FI) به‌ترتیب ۱۰/۵۲، ۲۰/۶۱، ۳۱/۱۴ و ۴۱/۲۲ درصد کاهش داشت. به‌نظر می‌رسد بعد از مرحله ابریشم‌دهی (۷۰ روز بعد از کاشت) به دلیل سایه‌اندازی برگ‌ها روی یکدیگر، ریزش برگ‌های پایینی گیاه و کاهش تعداد برگ در تیمارهای تحت کمبود رطوبت، شاخص سطح برگ کاهش یافت (شکل‌های ۲-الف و ۲-ب). Cakir (2004) گزارش کرد که کمبود رطوبت از طریق کاهش تولید و رشد و افزایش پیری برگ‌ها، شاخص سطح برگ را کاهش می‌دهد. Wolfe et al. (1988) نیز عقیده دارند که وجود تنش‌های مختلف محیطی، پیری برگ‌ها را تشدید کرده و در نهایت به کاهش سطح برگ ذرت منجر می‌شود. این نتایج با نتایج به‌دست آمده در این پژوهش هم‌خوانی دارد.

وزن خشک برگ

بررسی تغییرات وزن برگ در تیمارهای مختلف کم‌آبیاری نشان داد که کاهش رطوبت مورد نیاز در طی رشد، باعث کاهش وزن خشک برگ گردید (شکل‌های ۳-الف و ۳-ب). وزن خشک برگ‌ها در تیمارهای SDI، DDI، SPRD و DPRD نسبت به تیمار شاهد (FI) به‌ترتیب ۹/۸۷، ۲۰/۶۶، ۳۴/۴۴ و ۴۰/۷۴ درصد کاهش داشت. مقدار کاهش وزن خشک برگ در تیمارهای SDI و DDI نسبت به تیمارهای SPRD و DPRD کم‌تر بود. با توجه به جدول (۶)، کم‌ترین کاهش وزن خشک برگ نسبت به تیمار شاهد در تیمار SDI مشاهده گردید. اثر تیمارهای کم‌آبیاری بر کاهش وزن خشک برگ در ابتدای رشد (۶۰ روز بعد از کاشت) بیش‌تر از روزهای پایانی رشد گیاه بود. زیرا در ابتدای فصل رشد به دلیل رشد رویشی گیاه برگ‌های بیش‌تری تولید می‌شوند. اما در انتهای فصل رشد که گیاه وارد مرحله زایشی و تولید بلال می‌گردد رشد برگ‌ها و همچنین تولید آن‌ها متوقف می‌گردد. از آن جایی که یکی از عوامل تأثیرگذار در رشد رویشی گیاه رطوبت قابل دسترس ریشه گیاه است در تیمارهای آبیاری که کمبود رطوبت بیش‌تری وجود دارد (تیمارهای SPRD و DPRD) کاهش وزن برگ خشک در ابتدای فصل رشد نسبت به تیمارهایی که کاهش رطوبت قابل دسترس ریشه‌ها در آن‌ها نسبت به تیمار شاهد کم‌تر است، بیش‌تر احساس می‌گردد (شکل‌های ۳-الف و ۳-ب). به نظر می‌رسد انبوه شدن برگ‌ها، سایه‌اندازی برگ‌ها روی یکدیگر باعث افزایش تلفات برگ می‌شود. Ritchie et al. (1992) گزارش کردند که در مرحله

داشتند (جدول ۵). کاهش وزن ماده خشک کل در تیمارهای SDI، DDI، SPRD و DPRD نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۶۳/۳۰، ۴۷/۱۰، ۲۶/۶۰ و ۳۹/۱۰ درصد بود. آزمایش‌های Tollenar و Dwyer (1999) نشان دادند که تجمع ماده خشک در ذرت به کل تابش ورودی و توزیع آن، شاخص سطح برگ، ساختار پوشش گیاهی و سرعت فتوسنتز وابسته می‌باشد.

بعد از کاشت افزایش قابل ملاحظه‌ای نداشت اما در فاصله زمانی ۶۰ تا ۸۰ روز بعد از کاشت، افزایش معنی‌داری در وزن خشک ساقه مشاهده گردید.

وزن ماده خشک کل

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که تیمارهای کم‌آبیاری، در مراحل مختلف رشد روی مقدار وزن ماده خشک کل تأثیر معنی‌داری

جدول ۶- مقایسه میانگین شاخص‌های رشد ذرت علوفه‌ای در مرحله رسیدگی با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن

Table 6- Comparison of mean growth indices on maturity stage using Duncan's multiple range tests

Irrigation strategies	Leaf area index (Decimal)	Leaf dry weight (gr m ⁻²)	Ear wet weight (gr m ⁻²)	Stem dry weight (gr m ⁻²)	Total dry matter weight (gr m ⁻²)	Crop growth rate (gr m ⁻² d ⁻¹)	Relative growth rate (gr d ⁻¹)
FI	2.28 ^a	508.53 ^a	3287.01 ^a	1326.07 ^a	1680.61 ^a	37.28 ^a	0.05 ^a
SDI	2.04 ^{ab}	458.33 ^{ab}	2800.93 ^{ab}	1165.73 ^{ab}	1574.74 ^{ab}	19.03 ^b	0.03 ^b
DDI	1.81 ^{bc}	403.77 ^{bc}	2357.31 ^{bc}	985.26 ^{bc}	1504.78 ^{ac}	11.78 ^{bc}	0.02 ^c
SPRD	1.57 ^{cd}	333.93 ^{cd}	1732.53 ^d	842.74 ^{cd}	1233.94 ^d	9.36 ^{cd}	0.01 ^{cd}
DPRD	1.34 ^{de}	301.19 ^{de}	1405.03 ^{de}	692.47 ^{de}	1023.94 ^{de}	5.83 ^{ce}	0.01 ^{ce}

Treatments with at least one common name do not differ with probability at 5% level.

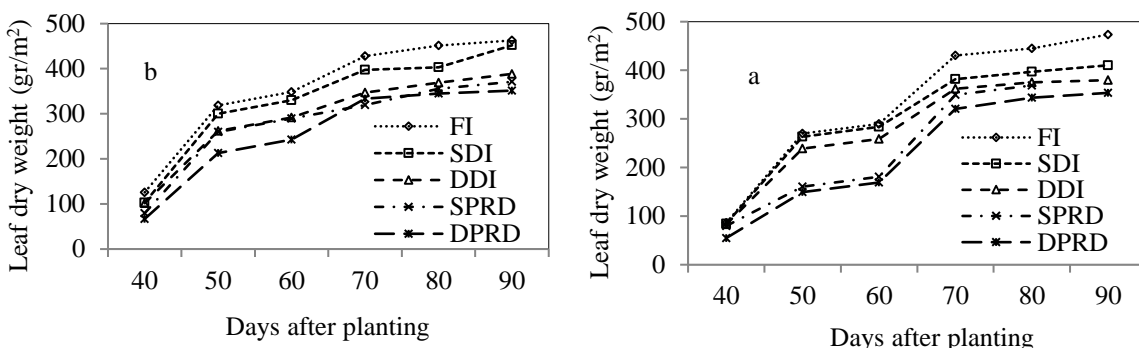


Fig. 3- Effect of different deficit irrigation strategies on leaf dry weight at days after planting, a) 704 cultivar and b) 606 cultivar

شکل ۳- تأثیر استراتژی‌های مختلف کم‌آبیاری بر وزن خشک برگ در روزهای بعد از کاشت، الف) رقم ۷۰۴ و ب) رقم ۶۰۶

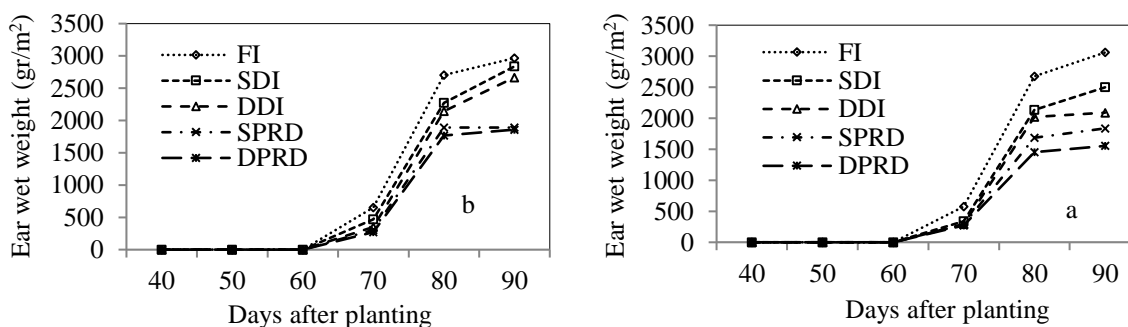


Fig. 4- Effect of different deficit irrigation strategies on ear wet weight at days after planting, a) 704 cultivar and b) 606 cultivar

شکل ۴- تأثیر استراتژی‌های مختلف کم‌آبیاری بر وزن تر بلال در روزهای بعد از کاشت، الف) رقم ۷۰۴ و ب) رقم ۶۰۶

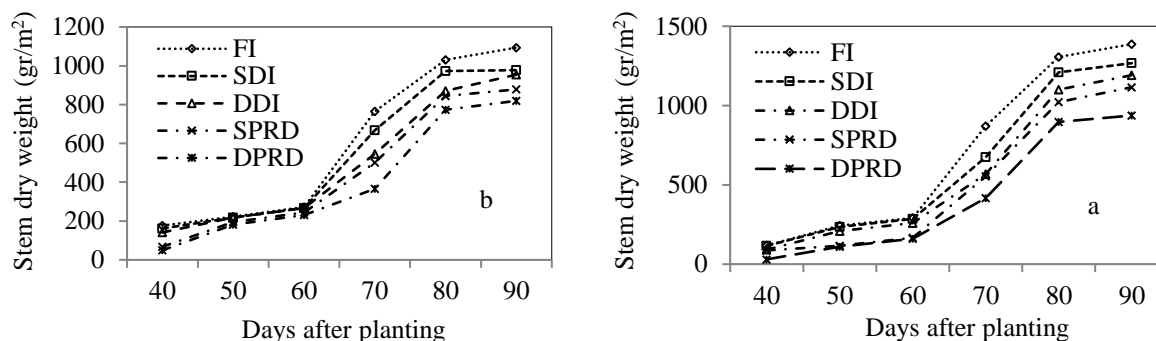


Fig. 5- Effect of different deficit irrigation strategies on stem dry weight at days after planting, a) 704 cultivar and b) 606 cultivar

شکل ۵- تأثیر استراتژی‌های مختلف کم‌آبیاری بر وزن خشک ساقه گیاه در روزهای بعد از کاشت، الف) رقم ۷۰۴ و ب) رقم ۶۰۶

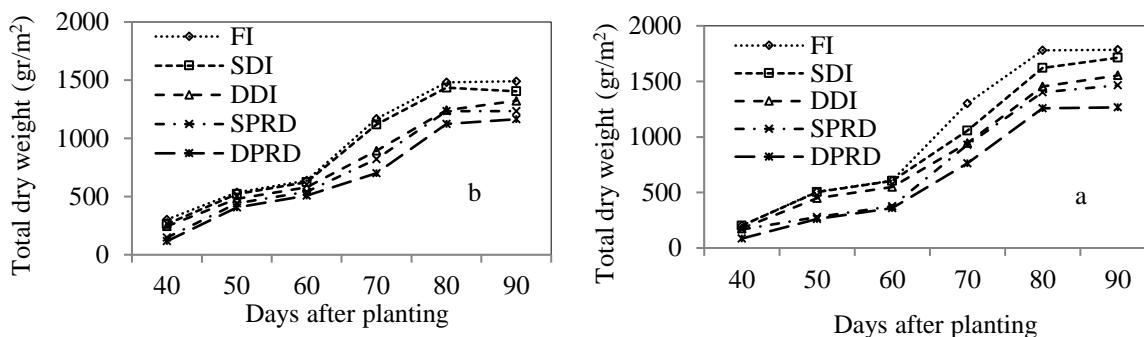


Fig. 6- Effect of different deficit irrigation strategies on total dry weight at days after planting, a) 704 cultivar and b) 606 cultivar

شکل ۶- تأثیر استراتژی‌های مختلف کم‌آبیاری بر وزن خشک کل گیاه در روزهای بعد از کاشت، الف) رقم ۷۰۴ و ب) رقم ۶۰۶

۶۰۶

همبستگی مثبت و معنی‌دار بین شاخص سطح برگ (Nori Azhar and Dwyer et al., 2007) و سرعت رشد (Ehsanzadeh, 1991) با وزن ماده خشک کل گزارش شده است. بنابراین در پژوهش حاضر با مقایسه شاخص سطح برگ و سرعت رشد گیاه با مقادیر وزن ماده خشک کل جدول (۶) مشاهده شد که گیاهانی که از شاخص سطح برگ و سرعت رشد بیش‌تری برخوردار بودند، وزن ماده خشک کل بیش‌تری داشتند.

سرعت رشد گیاه

کم‌آبیاری تأثیر معنی‌داری ($P < 0.01$) بر سرعت رشد گیاه در تمام مراحل رشد داشت (جدول ۵). بررسی تغییرات مربوط به سرعت رشد نشان داد در شرایطی که رطوبت لازم فراهم بود (تیمار آبیاری کامل و SDI) سرعت رشد در بالاترین مقدار خود بود و در سایر تیمارها کاهش یافت (شکل‌های ۷-الف و ۷-ب).

Pandey et al. (2000) کم‌آبیاری را در مراحل مختلف رشد ذرت اعمال و گزارش کردند که کمبود شدید آب منجر به کاهش سطح برگ و کاهش رشد و در نتیجه کاهش وزن ماده خشک کل گیاه می‌گردد که با نتایج به‌دست آمده در این پژوهش همخوانی داشت. آن‌ها اعتقاد دارند که کم‌آبیاری در اوایل رشد رویشی تولید وزن ماده خشک کل را به میزان کمی کاهش می‌دهد اما در اواخر رشد و در مرحله رشد زایشی، این شاخص رشد را به شدت کاهش می‌دهد. در مطالعه حاضر مشاهده شد که با کاهش رطوبت قابل دسترس، مراحل فنولوژیکی به تعویق افتاد (شکل‌های ۶-الف و ۶-ب). وزن ماده خشک کل در تیمارهای آبیاری کامل (FI)، SDI و DDI تفاوت معنی‌داری نداشتند ولی در تیمارهای SPRD و DPRD نسبت به تیمار آبیاری کامل، کاهش معنی‌داری داشتند (جدول ۶). در این پژوهش تیمارهای آبیاری کامل و SDI، در شاخص‌های سطح برگ و سرعت رشد دارای روند مشابهی بودند. در این راستا وجود

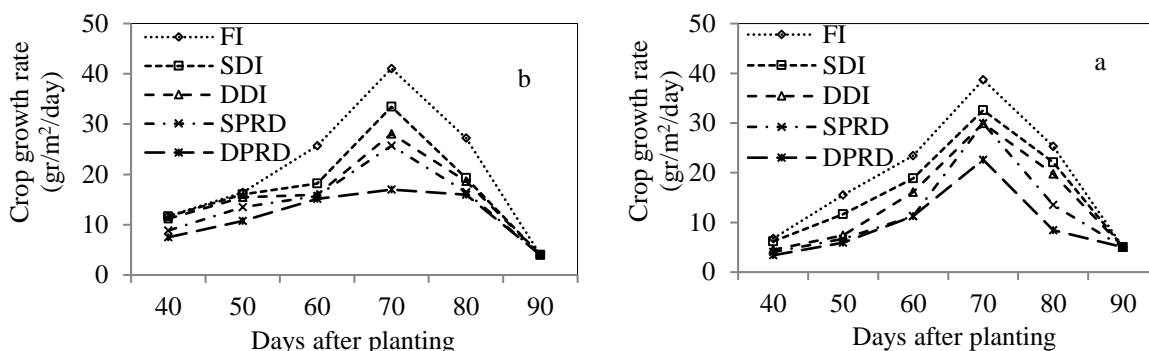


Fig. 7- Effect of different deficit irrigation strategies on crop growth rate at days after planting, a) 704 cultivar and b) 606 cultivar

شکل ۷- تأثیر استراتژی‌های مختلف کم آبیاری بر سرعت رشد گیاه در روزهای بعد از کاشت، الف) رقم ۷۰۴ و ب) رقم ۶۰۶

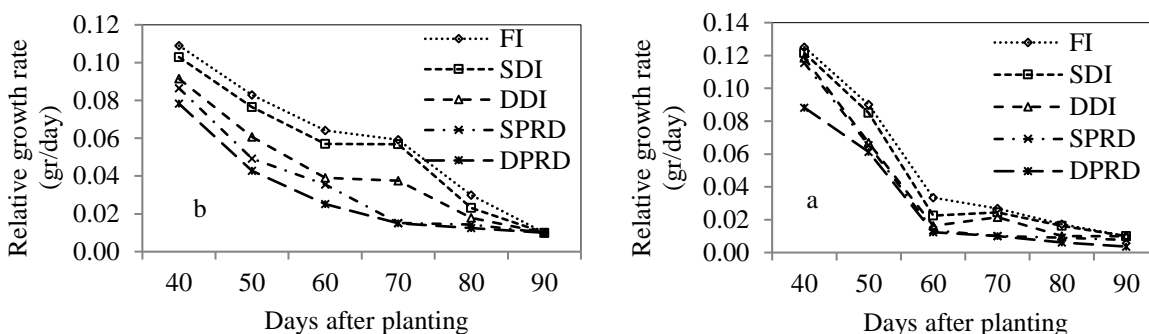


Fig. 8- Effect of different deficit irrigation strategies on relative growth rate at days after planting, a) 704 cultivar and b) 606 cultivar

شکل ۸- تأثیر استراتژی‌های مختلف کم آبیاری بر سرعت رشد نسبی گیاه در روزهای بعد از کاشت، الف) رقم ۷۰۴ و ب) رقم ۶۰۶

پایین بود. با افزایش شاخص سطح برگ، به دلیل دریافت بیش‌تر نور و در نتیجه فتوسنتز بیش‌تر، سرعت رشد محصول نیز افزایش یافت تا این که در زمان گل‌دهی به بیش‌ترین مقدار خود رسید، چون با توسعه سطح برگ در زمان گل‌دهی، قسمت بیش‌تری از نور جذب کانوپی می‌شود، با پیر شدن و ریزش برگ‌ها سرعت رشد محصول نیز کاهش یافت. اختلاف سرعت رشد محصول بین تیمارهای مختلف کم آبیاری در ابتدا و انتهای فصل رشد، به دلیل محدودیت سطح فتوسنتز کننده در ابتدای فصل رشد و ریزش برگ‌ها در انتهای فصل رشد قابل ملاحظه نبود، اما در زمان گل‌دهی اختلاف بین تیمارها بیش‌تر شد (شکل های ۷- الف و ۷- ب). نتایج از آمی‌ش گاهی (2011) Goldani et al. و Chaab et al. (2009) در رابطه با روند تغییرات سرعت رشد محصول با نتایج پژوهش حاضر مطابقت داشت.

در انتهای دوره رشد، تیمارهای SPRD و DPRD در مقایسه با سایر تیمارها کم‌ترین مقدار سرعت رشد را داشتند (به ترتیب ۹/۳۶ و ۵/۸۳ گرم بر مترمربع در روز). حداکثر سرعت رشد در تیمارهای آبیاری کامل (FI) و SDI به ترتیب ۳۷/۲۸ و ۱۹/۰۳ گرم بر مترمربع در روز بود. Pandey et al. (2000) نیز کاهش سرعت رشد محصول را در اثر تنش خشکی مشاهده کردند که با نتایج این پژوهش مطابقت داشت. مقایسه سرعت رشد محصول با شاخص سطح برگ مشخص نمود که تقریباً الگوی مشابهی در روند تغییرات این دو شاخص وجود داشت. سرعت رشد محصول نتیجه دریافت نور توسط برگ‌ها، کارایی مصرف نور و مدت زمان دریافت نور توسط برگ‌ها می‌باشد (Lack et al., 2010). سطح برگ عامل مهمی در جذب نور و دی اکسید کربن است بنابراین با تغییر سطح برگ، سرعت رشد محصول نیز دچار تغییر می‌شود. در ابتدای دوره رشد به دلیل کامل نبودن پوشش گیاهی و جذب نور کم‌تر، سرعت رشد محصول

جدول ۷- تجزیه واریانس شاخص بهره‌وری آب بر اساس وزن تر و خشک ماده تولیدی

Table 7- Variance analysis of water productivity based on wet and dry matter weight

Sources of variation	df	Mean squares	
		Water productivity based on wet matter weight	Water productivity based on dry matter weight
Irrigation strategies	4	932.201 **	24.143 **
Cultivar	1	85.585 ns	1.974 ns
Cultivar × Irrigation strategies	4	22.419 ns	0.548 ns
Error	20	153.472	2.850
C.V	-	36.2	34.03

ns: is not significant, **: is significant at 1%, *: is significant at 5%.

جدول ۸- حجم کل آب مصرفی در طول دوره رشد، عملکرد علوفه تر و مقایسه میانگین بهره‌وری آب بر اساس وزن تر و خشک ماده تولیدی برای تیمارهای مختلف آبیاری

Table 8- Total volume of consumption water during growth period, wet forage yield and mean comparison of water productivity based on wet and dry matter weight for different irrigation treatments

Treatment	Consumption of water volume (m ³ /ha)	Total wet of forage weight (kg/ha)	Water productivity based on wet matter weight (kg/m ³)	Water productivity based on dry matter weight (kg/m ³)
FI	10240	83630	8 ^a	2.05 ^a
SDI	7990	75900	9.5 ^b	2.64 ^b
DDI	8380	58611	7 ^c	1.90 ^{ac}
SPRD	4580	29770	6.5 ^c	1.81 ^{cd}
DPRD	4810	25010	5.2 ^d	1.65 ^d

Treatments with at least one common name do not differ with probability at 5% level.

تیمارهای FI و SDI از میزان سرعت رشد نسبی بیش‌تری برخوردار بودند.

بهره‌وری آب

تجزیه واریانس شاخص بهره‌وری آب بر اساس وزن تر و خشک ماده تولیدی در جدول (۷) ارائه گردیده است. با توجه به جدول (۷) مشخص می‌شود که اثر استراتژی‌های آبیاری بر شاخص بهره‌وری آب در سطح احتمال یک درصد ($P < 0.01$) معنی‌دار بود در حالی که اثر رقم و اثر متقابل رقم و استراتژی آبیاری بر این شاخص معنی‌دار نبود. مقایسه میانگین بهره‌وری آب بر اساس وزن تر و خشک ماده تولیدی (جدول ۸) نشان داد که بیش‌ترین بهره‌وری آب بر اساس وزن تر و خشک ماده تولیدی متعلق به تیمار SDI و به ترتیب ۹/۵ و ۲/۶۴ کیلوگرم بر مترمکعب و کم‌ترین مقدار آن متعلق به تیمار DPRD و به ترتیب ۵/۲ و ۱/۶۵ کیلوگرم بر مترمکعب بود. نتایج ارائه شده در جدول (۸) همچنین نشان داد که بهره‌وری آب بر اساس وزن تر و خشک ماده تولیدی در تیمارهای آبیاری DDI و SPRD

سرعت رشد نسبی

بررسی روند سرعت رشد نسبی نشان داد که این شاخص دارای روند نزولی می‌باشد و به دلیل توسعه سطح برگ گیاه زراعی و افزایش سایه‌اندازی برگ‌ها بر روی یکدیگر میزان این شاخص در طول فصل رشد کاهش یافته است. الگوی روند سرعت رشد نسبی با پژوهش سایر محققین در ذرت مطابقت دارد. در سایر پژوهش‌ها نیز نتیجه گرفته شده که سرعت رشد نسبی در ذرت تحت شرایط مختلف زراعی در ابتدای رشد حداکثر و بعد از آن به دلیل ریزش برگ‌ها روند نزولی را طی می‌کند (Madani, 1995). نتایج این پژوهش نیز نشان داد که اعمال استراتژی‌های جدید کم‌آبیاری باعث کاهش میزان سرعت رشد نسبی گیاه گردید. شکل‌های (۸-الف) و (۸-ب) تغییرات رشد نسبی با استفاده از اعمال استراتژی‌های مختلف کم‌آبیاری را نشان می‌دهند. بین تیمارهای مختلف کم‌آبیاری در مراحل اولیه رشد تا ۷۰ روز پس از کاشت اختلاف چشم‌گیری مشاهده نمی‌شود ولی با ادامه رشد گیاهان و افزایش فشار تنش،

نتیجه گیری

بررسی تغییرات سرعت رشد محصول در تیمارهای مورد مطالعه نشان داد که در ابتدای فصل رشد این تغییرات با روند کند ادامه داشته و تا مدتی پس از مرحله کاکل‌دهی با به حداکثر رسیدن آن، از روند نزولی پیروی کرده است. در مراحل اولیه رشد و تا پیش از ورود گیاه ذرت به فاز زایشی اختلاف چشم‌گیری بین تیمارهای مختلف آبیاری از لحاظ تأثیر بر سرعت رشد گیاه مشاهده نگردید. اما با ادامه فصل رشد و رسیدن گیاه به مرحله زایشی به خصوص در دوره پر شدن دانه‌ها اختلاف بین تیمارهای به کار رفته مشهود گردید. سرعت رشد محصول در تیمارهای آبیاری کامل (FI) و SDI در مقایسه با سایر تیمارها بیش تر بود. نتایج این پژوهش نیز نشان داد که کاهش مقدار آب مصرفی باعث کاهش میزان سرعت رشد نسبی گردید. در این پژوهش مشخص شد دوره گلدهی و دانه‌بندی برای عملکرد ذرت بحرانی بوده و تنش‌های محیطی و خصوصیات فیزیولوژیکی رقم در این مراحل می‌توانند نقش به‌سزایی در تغییرات عملکرد داشته باشند. با توجه به نتایج به دست آمده در این پژوهش مشخص شد که اعمال استراتژی‌های جدید کم‌آبیاری در تمام مراحل رشد گیاه بر وزن ماده خشک کل، وزن خشک برگ، وزن خشک ساقه و وزن تر بلال در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. مقدار وزن ماده خشک کل، وزن خشک برگ، وزن خشک ساقه و وزن تر بلال در تیمارهای آبیاری FI و SDI در مقایسه با سایر تیمارها بیش تر بود. نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که وزن ماده خشک کل، وزن خشک برگ، وزن خشک ساقه، وزن تر بلال و شاخص سطح برگ در تیمارهای آبیاری FI و SDI تفاوت معنی‌داری نداشتند. لذا با توجه به این که مصرف آب در تیمار SDI نسبت به تیمار FI به اندازه ۲۲ درصد کم تر است و بهره‌وری آب در این تیمار ۱۵/۸ درصد بیش تر از تیمار آبیاری کامل است، بنابراین استفاده از روش آبیاری SDI برای آبیاری ذرت علوفه‌ای در شرایط آب و هوایی کاشمر قابل توصیه می‌باشد.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله تشکر ویژه خود را از پرسنل مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی شهرستان کاشمر برای همکاری در اجرای این پژوهش اعلام می‌دارند.

سطح احتمال پنج در صد باهم تفاوت معنی‌داری نداشتند. کاهش ۲۲ درصدی حجم آب مصرفی در تیمار آبیاری SDI نسبت به تیمار آبیاری کامل (FI) و افزایش معنی‌دار ۱۸ درصدی بهره‌وری آب بر اساس وزن تر ماده تولیدی و ۲۸ درصدی بهره‌وری آب بر اساس وزن خشک ماده تولیدی در این تیمار در مقایسه با تیمار آبیاری کامل، نشان داد که استفاده از استراتژی کم‌آبیاری SDI توانسته است تا حد قابل قبولی بهره‌وری آب را بهبود بخشد. در این پژوهش بیش‌ترین بهره‌وری آب ذرت علوفه‌ای در شرایط مصرف تقریباً ۸۰ درصد حجم آب آبیاری نسبت به شرایط آبیاری کامل به دست آمد. Oktem (2008) نیز در مطالعه خود بیش‌ترین بهره‌وری آب ذرت علوفه‌ای را برای تیمار ۸۰ درصد آبیاری کامل گزارش نمود که با نتیجه به دست آمده در این پژوهش مطابقت داشت. از طرفی مقایسه میانگین بهره‌وری آب بر اساس وزن تر و خشک ماده تولیدی نشان داد که تیمارهای کم‌آبیاری در حالت استاتیک (یعنی SDI و SPRD) در مقایسه با تیمارهای کم‌آبیاری در حالت پویا (یعنی DDI و DPRD) نقش مؤثرتری در بهبود بهره‌وری آب داشته‌اند.

کاهش بهره‌وری آب بر اساس وزن تر ماده تولیدی در تیمارهای کم‌آبیاری DDI، SPRD و DPRD نسبت به تیمار شاهد به ترتیب به اندازه ۱۲/۵، ۱۸/۷ و ۳۵ درصد و کاهش حجم آب مصرفی در این تیمارها نسبت به تیمار شاهد به ترتیب به اندازه ۱۸/۱، ۵۵/۲ و ۵۳ درصد بود. نکته جالب توجه این است که کاهش حجم آب مصرفی در تیمارهای SPRD و DPRD نسبت به تیمار شاهد تقریباً مشابه هم بود در حالی که کاهش بهره‌وری آب نسبت به تیمار شاهد، در تیمار DPRD به مراتب بیش‌تر از تیمار SPRD بود. این نشان داد که کم‌آبیاری بخشی ریشه در شرایط پویا در مقایسه با کم‌آبیاری بخشی ریشه در شرایط استاتیک، اثر بسیار بیش‌تری در کاهش عملکرد و در نتیجه بهره‌وری آب نسبت به تیمار شاهد داشته است. بنابراین اعمال مدیریت کم‌آبیاری به منظور کاهش آب مصرفی و دست یافتن به عملکرد قابل قبول (یعنی رسیدن به بهره‌وری آب بالا) در شرایطی قابل توصیه می‌باشد که کم‌آبیاری به‌طور ثابت در تمام دوره رشد و به اندازه کاهش ۲۲ درصدی حجم آب مصرفی نسبت به شرایط آبیاری کامل صورت پذیرد.

References

- Ahmadi, S. H., Agharezaee, M., Kamgar-Haghighi, A. A. and Sepaskhah, A. R. 2014. Effects of dynamic and static deficit and partial root zone drying irrigation strategies on yield, tuber sizes distribution, and water productivity of two field grown potato cultivars.
- Boyer, J. S. 1970. Leaf enlargement and metabolic rates in corn soybean and sunflower at various leaf water potentials. *Plant Physiology*. 46(2), pp.233-235.

- 3- Cakir, R. 2004. Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. *Field Crops Research*. 89(1), pp.1-16
- 4- Chaab, A. N., Fathi, Gh. A., Siadat, S. A., Zand, E. and Anafjeh, Z. 2009. The interference effects of natural weed population on growth indices of corn (*Zea mays* L.) at different plant densities. *Iranian Journal of Field Crops Research*. 7(2), pp.391-400. (In Persian).
- 5- Davies, W. J. and Zhang, J. H. 1991. Root signals and the regulation of growth and development of plants in drying soil. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. 42, pp.55-76.
- 6- Davies, W. J., Wilkinson, S. and Loveys, B. 2002. Stomatal control by chemical signaling and the exploitation of this mechanism to increase water use efficiency in agriculture. *New Phytologist*. 153, pp.449-460.
- 7- Dry, P. and Loveys, B. R. 1998. Factors influencing grapevine and the potential for control with partial root zone drying. *Australian Journal of grape and wine research*. 4(3), pp.140-148.
- 8- Dwyer, L. M., Hamilton, R. I., Hayhoe, H. N. and Royds, W. 1991. Analysis of biological traits contributing to grain yield of short-to mead-season corn (*Zea mays* L.) hybrids. *Canadian Journal of Plant Science*. 71(2), pp.535-541.
- 9- Eck, H. V. (1984). Irrigated corn yield response to nitrogen and water. *Agronomy Journal*. 76(3), pp.421-428.
- 10- Gheysari, M., Mirlatifi, S. M., Homaei, M. and Asadi, M. E. 2006. Determination of Crop Water Use and Crop Coefficient of Corn Silage Based on Crop Growth Stages. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 7(26), pp.125-142.
- 11- Goldani, M., Rezvani Moghaddam, P., Nassiri Mahallati, M. and Kaffi, M. 2011. Radiation use efficiency and phenological and physiological characteristics in hybrids of maize (*Zea may* L.) on response to different densities. *Journal of Plant Production*. 18(1), pp.1-27. (In Persian).
- 12- Grimes, D.W., Walhood, V.T. and Dickens, W.L. 1968. Alternate- furrow irrigation for San Joaquin Valley cotton. *California Agriculture*. 22(5), pp.4-6.
- 13- Kalamian, S., Modares Sanavi, A. M. and Sepehri, A. 2005. Effect of water deficit at vegetative and reproductive growth stages in leafy and commercial hybrids of maize. *Agriculture Research, Soil, Water and Plant in Agriculture*. 5(3), pp.38-53. (In Persian).
- 14- 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. *Journal of Crop Production*. 2(2), pp.91-110. (In Persian).
- 15- Lack, Sh., Modhej, A., Alavi Fazel, M., Mojadam, M. and Gohari, M. 2010. Effect of Water Deficiency Stress, Levels of Nitrogen and Plant Density on Growth Indices of Grain Corn (*Zea Mays* L.) Hybrid Sc. 704 under Khozestan- Ramin Conditions. *Crop Physiology*. 2(2), pp.45-66. (In Persian).
- 16- Madani, H. 1995. Determination of Corn Growth Physiological Indices under Different Field Conditions. MSc thesis, *Islamic Azad University of Karaj*. Iran. (In Persian).
- 17- Masomi, T., Rahimikhoob, A., Ghorbanijavid, M. and Nazarifar, M. H. 2015. The Effect of Intermittent Deficit Irrigation on Yield, Yield Components and Water Productivity of Maize Sc-704. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*. 8(4), pp.810-816. (In Persian).

- 18-Modarresi, M., Kheradnam, M. and Assad, M. T. (2004). Selection Indices as Indirect Selection in Corn Hybrids (*Zea mays* L.) for Increasing Grain Yield. *Iranian Journal of Agriculture Science*. 35(1), pp.115-127. (In Persian).
- 19-Nori Azhar, J. and Ehsanzadeh, P. 2007. Evaluation of Interrelationship of Growth Indices and Grain Yield of Five Maize Hybrids under Two Irrigation Regimes in Isfahan. *Journal of Water and Soil Science*. 11(41), pp.261-273. (In Persian).
- 20-Oktem, A. 2008. Effect of water shortage on yield, and protein and mineral compositions of drip-irrigated sweet corn in sustainable agricultural systems. *Agricultural Water Management*. 95, pp.1003-1010.
- 21-Pandey, R. K., Maranville, J. W. and Chetima, M. M. 2000. Deficit irrigation and nitrogen effects on maize in a Sahelian environment. II. Shoot growth. *Agricultural Water Management*. 46(1), pp.15-27.
- 22-Rezaverdi Nejad, V., Sohrabi, T. and Liaghat, A. M. 2006. Investigation of Deficit Irrigation Effect on Forage Corn in Different Growth Stages. *The 1st Irrigation and Drainage Network Management National Conference, University of Shahid Chamran, Ahvaz, Iran*.
- 23-Ritchie, S. W., Hanway, J. J. and Benson, G.O. 1992. How a corn plant develops. *Special Report No.48. Iowa State University*. pp. 21.
- 24-Saber Ali, S. F., Sadatnoori, S. A., Hejazi, A., Zand, E. and Baghestani, M. A. 2007. Influence of plant density and planting pattern of corn on its growth and yield under competition with common Lambesquarters (*Chenopodium album* L.). *Pajouhesh & Sazandegi*. 20(1), pp.143-152. (In Persian).
- 25-Tollennar, M. and Dwyer, L. M. 1999. Physiology of maize. In: D.L. Smith and C. Hamel (eds.). *Crop Yield, Physiology and Processes*. pp. 169-204.
- 26-Wolfe, D. W., Henderson, D. W., Hsiao, T.C. and Alvins, A. 1988. Interactive water and nitrogen effects on senescence of maize. II. Photosynthetic decline and longevity of individual leaves. *Agronomy Journal*. 80(6), pp.865-870.
- 27-Yazar, A., Gokcel, F. and Sezen, M. 2009. Corn yield response to partial root zone drying and deficit irrigation strategies applied with drip system. *Plant, Soil & Environment*. 55(11), pp.494-503.
- 28-Zegbe, J., Behboudian, M. and Clothier, B. 2004. Partial root zone drying is a feasible option for irrigation processing tomatoes. *Agricultural Water Management*. 68(3), pp.195-206.