

Effect of Different Furrow Irrigation Management on Water Saving and Water Use Efficiency of Maize in Isfahan

MOHSEN DEHQANI^{1*}, MOHAMMADREZA NOORI EMAMZADEI¹, ALI SHAHNAZARI², MAHDI GHEYSARI³

1. Department of Water Engineering, College of Agriculture, University of Shahrekord, Shahrekord, Iran

2. Department of Water Engineering, Sari Agriculture Science and Natural Resource University, Sari, Iran

3. Department of Water Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

(Received: Oct. 16, 2018- Revised: Jan. 21, 2019- Accepted: May. 5, 2019)

ABSTRACT

Irrigation management is one of the most important factors affecting the maize growth. The purpose of this study was to investigate the impact of different furrow irrigation management on maize growth. This research was carried out as split plot in a randomized complete block design at Kabootarabad Research Station in Isfahan Province. The main factor included three levels of surface irrigation regime; I₁ (100%), I₂ (80%), I₃ (60%) and the sub-factor included conventional, alternative and constant irrigation methods. The studied parameters were plant height, fresh and dry yield, leaf area and leaf area index, which were measured at five stages of maize growth. The results showed that the effect of different irrigation regimes and different types of furrow irrigation was statistically significant on forage maize properties at 1% level. The highest impact on growth properties was corresponded to I₁ regime and conventional furrow irrigation and the lowest one was corresponded to I₃ regime and constant alternative furrow irrigation. plant height, fresh and dry yield in conventional and standard irrigation were equal to 190 cm, 63978 and 20830 kg ha⁻¹ respectively. The same traits in I₃ irrigation regime and constant alternative furrow irrigation were obtained 116 cm, 33635 and 8053 kg ha⁻¹ respectively. Changing the conventional furrow irrigation to constant alternate furrow irrigation until the harvesting stage led to save water consumption 39.3% and water use efficiency was increased 37%. Generally, by executing deficit irrigation up to 20% in conventional furrow irrigation or by using alternative furrow irrigation, in addition of saving water consumption and increasing irrigation water use efficiency, a reliable yield can be produced.

Keywords: Alternative furrow irrigation, water use efficiency, Water saving, Maize growth stages.

تأثیر مدیریت‌های مختلف آبیاری جویچه‌ای بر صرفه‌جویی و کارایی مصرف آب ذرت علوفه‌ای در اصفهان

محسن دهقانی^{*}، محمدرضا نوری امامزاده ای^۱، علی شاهنظری^۲، مهدی قیصری^۳

۱. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

۲. گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

۳. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۷/۲۴ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۱۱/۱ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۲/۱۵)

چکیده

مدیریت آبیاری یکی از عوامل بسیار مهم و تأثیرگذار بر روند رشد و نمو گیاه ذرت است. هدف از این پژوهش بررسی چگونگی رشد و نمو گیاه ذرت در مدیریت‌های مختلف آبیاری جویچه‌ای بود. این پژوهش به صورت کرت‌های یک بار خرد شده، در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در ایستگاه تحقیقاتی کبوترآباد اصفهان انجام شد. عامل اصلی شامل سه سطح رژیم آبیاری سطحی (I₁ (۱۰۰٪)، I₂ (۸۰٪)، I₃ (۶۰٪) و عامل فرعی شامل سه روش آبیاری جویچه‌ای مرسوم، یک در میان ثابت و متناوب بود. پارامترهای اندازه‌گیری شده شامل ارتفاع بوته، عملکرد تر و خشک اندام هوایی، سطح برگ و شاخص سطح برگ بود که در پنج مرحله از رشد گیاه ذرت علوفه‌ای انجام شد. نتایج نشان داد که تأثیر رژیم‌های مختلف آبیاری و نیز نوع روش آبیاری جویچه‌ای بر ویژگی‌های اندازه‌گیری شده اندام هوایی از نظر آماری در سطح یک درصد معنی‌دار بوده است. رژیم آبیاری I₁ در حضور آبیاری جویچه‌ای مرسوم و رژیم I₃ در روش آبیاری یک در میان ثابت به ترتیب بیشترین و کمترین تأثیر را بر صفات مختلف رشد اندام هوایی داشتند. ارتفاع بوته، عملکرد تر و خشک در آبیاری جویچه‌ای مرسوم و رژیم I₁ به ترتیب برابر ۱۹۰ سانتیمتر، ۶۳۹۷۸ و ۲۰۸۳۰ کیلوگرم در هکتار بود. همین صفات در رژیم آبیاری I₃ و در روش آبیاری یک در میان ثابت به ترتیب برابر با ۱۱۶ سانتیمتر، ۳۳۶۶۵ و ۸۰۵۳ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. با تغییر آبیاری جویچه‌ای مرسوم به آبیاری جویچه‌ای یک در میان تا مرحله برداشت ذرت علوفه‌ای، ۳۹/۱۲ درصد در آب کاربردی صرفه‌جویی شد و مقادیر کارایی مصرف آب آبیاری نیز ۳۷ درصد افزایش یافت. به طور کلی با اعمال شرایط کم آبیاری تا ۲۰ درصد در آبیاری جویچه‌ای مرسوم و یا با کاربرد آبیاری جویچه‌ای متناوب، می‌توان ضمن صرفه‌جویی در مصرف آب و افزایش کارایی مصرف آب به عملکرد قابل قبول نیز دست یافت.

واژه‌های کلیدی: آبیاری جویچه‌ای یک در میان، کارایی مصرف آب، صرفه‌جویی آب، مراحل رشد ذرت

مقدمه

با توجه به واقع شدن ایران در منطقه خشک و نیمه‌خشک کره زمین و احتمال فراوان وقوع خشکسالی‌ها و از طرفی منابع محدود آب در کشور، افزایش کارایی مصرف آب در بخش کشاورزی ضرورت دارد. مناطق نسبتاً زیادی از استان اصفهان نیز با وجود محدودیت منابع آب، به علت نیاز به تولید علوفه ذرت برای مصارف دام به کشت ذرت علوفه‌ای اختصاص یافته است. طبق آخرین آمار منتشر شده توسط وزارت جهاد کشاورزی، سطح زیر کشت ذرت در سال زراعی ۱۳۹۶-۱۳۹۵ در استان اصفهان برای تولید ذرت دانه‌ای ۲۰۰ هکتار و برای تولید ذرت علوفه‌ای ۱۷۵۶۸ هکتار می‌باشد (Ministry of Agricultural Jihad, 2017). یکی از راهکارهای عملی به منظور کاهش آب کاربردی استفاده از شیوه‌هایی چون کم آبیاری است که بتوان بدون کاهش

و یا با کاهش اندکی در تولید، میزان آب کاربردی در بخش کشاورزی را کاهش داد. آبیاری جویچه‌ای یک در میان متناوب روشی تعمیم یافته از کم آبیاری است که در آن در هر نوبت از آبیاری یک جویچه آبیاری می‌شود و در نوبت بعدی، برعکس نوبت قبلی در جویچه دیگر آبیاری انجام می‌گردد. کاربرد صحیح این نوع کم آبیاری برای محصولات زراعی نظیر ذرت که با سیستم آبیاری جویچه‌ای آبیاری می‌گردند، ضمن حفظ عملکرد و تولید قابل قبول و صرفه‌جویی زیاد در آب کاربردی، افزایش کارایی مصرف آب را نیز سبب می‌گردد. این مقدار افزایش کارایی مصرف آب بسته به نوع محصول و شیوه آبیاری توسط پژوهشگران در کشورهای مختلف گزارش شده است. مقدار افزایش کارایی مصرف آب آبیاری بر روی ذرت توسط Kang et al., (2000) حدود ۳۰ درصد، توسط Du et al. (2013) معادل ۳۴/۵ درصد و توسط

مصرف نسبتاً زیاد آب در کشت ذرت با روش های مرسوم در اغلب مناطق تحت کشت این گیاه، کاربرد روش های کم آبیاری از جمله آبیاری یک در میان جویچه ای برای این محصول قابل توصیه است (Aili et al. 2010). Kang et al. (2000) سه روش آبیاری جویچه ای به صورت یک در میان متناوب، آبیاری یک در میان و آبیاری مرسوم را مورد مقایسه قرار دادند و نتیجه گرفتند که کاربرد آبیاری یک در میان متناوب ذرت ضمن عملکرد بالای دانه، باعث ۵۰ درصد کاهش در میزان آب کاربردی می گردد. همچنین با کاربرد آبیاری یک در میان متناوب ذرت کارایی مصرف آب آبیاری حدود ۳۰ درصد افزایش یافت. به عقیده این پژوهشگران، روش آبیاری متناوب جویچه ها برای صرفه جویی و ذخیره کردن آب در نواحی خشک مناسب بوده و باعث افزایش کارایی مصرف آب تا ۳۰ درصد می شود. در پژوهش انجام گرفته توسط Panahi (2011)، آبیاری یک در میان جویچه ها ضمن کاهش ۳۰ تا ۵۰ درصد آب کاربردی، تنها ۱۵ الی ۲۰ درصد کاهش عملکرد نسبت به تیمار آبیاری تمام جویچه ها داشت. در این پژوهش مقدار افزایش کارایی مصرف آب آبیاری برای دانه های ۳۵-۳۰ درصد بسته به تیمارهای اعمال شده، بدست آمد. Liu et al. (2013) آبیاری یک در میان متناوب را در دو سطح کودی بر ذرت بررسی کرده و گزارش نمودند که مدیریت آبیاری یک در میان متناوب نسبت به آبیاری سنتی موجب کاهش آب کاربردی و افزایش کارایی مصرف آب و کود گردیده است. Kang et al. (1997) در آزمایش دیگری نشان دادند که استفاده از روش آبیاری متناوب در کشت ذرت، با ۳۵ درصد کاهش آب کاربردی، فقط باعث کاهش ۶ الی ۱۱ درصد در ماده خشک شد. Yonts et al. (2007) گزارش کردند که در روش آبیاری جویچه ای به صورت یک در میان متناوب جویچه ها، ضمن ۲۰ تا ۳۰ درصد صرفه جویی در آب کاربردی، کاهش قابل ملاحظه ای در عملکرد ذرت ایجاد نشد. Zegbe et al. (2004) و Cao et al. (2010) نیز با انجام پژوهش های جداگانه گزارش کردند که در روش آبیاری جویچه ای یک در میان متناوب جویچه ای نسبت به آبیاری جویچه ای مرسوم حدود ۴۰ درصد در مصرف آب صرفه جویی شد، بدون اینکه کاهش قابل ملاحظه ای در عملکرد ایجاد شود. Kashiani et al. (2011) گزارش کردند که با انجام آبیاری یک در میان متناوب تا مرحله زایشی و آبیاری کامل از آن مرحله به بعد برای ذرت، ۳۰ درصد در آب کاربردی صرفه جویی شد. Ebrahimian et al. (2012) راندمان آبیاری در کشت ذرت را در آبیاری جویچه ای مرسوم، یک در میان ثابت و متناوب، به ترتیب ۶۱/۳، ۷۱/۸ و ۷۷ درصد در اولین مرحله کود آبیاری و ۶۸/۴، ۵۸/۳ و ۶۰/۷ درصد برای دومین مرحله به دست آوردند.

Panahi (2011) برای ذرت دانه ای ۳۵-۳۰ درصد گزارش شده است. در دهه اخیر آبیاری جویچه ای یک در میان متناوب توسط پژوهشگران روی محصولات مختلفی مانند خیار، گوجه، پنبه، ذرت و سویا بررسی شده است (Zegbe et al., 2004; Liu et al., 2012; Zhang et al., 2013).

در پژوهش هایی که با این روش روی سویا، خیار، فلفل، گوجه و ذرت صورت گرفته است، میزان آب کاربردی نسبت به روش متداول جویچه ای ۲۵ تا ۵۰ درصد کاهش یافت و این در حالی بود که مقدار عملکرد کاهش اندکی نشان داد (Norwood, 2000; Kang et al., 2000, 2002; Zegbe et al., 2004; Shao et al., 2010; Cao et al., 2010). همچنین (Kaisi, 2011) مقدار آب صرفه جویی شده با استفاده از آبیاری متناوب جویچه ای را نسبت به آبیاری جویچه ای متداول ۲۳ درصد برای ذرت گزارش کردند.

استفاده از آبیاری جویچه ای یک در میان ثابت و یا متناوب به دلیل کاهش سطح آبیاری نقش مؤثری در کاهش میزان فرونشست عمقی و هرز آب سطحی در هر آبیاری خواهد داشت (Cao et al., 2010; Sepaskhah and Ahmadi, 2010). Tafteh and Sepaskhah (2012) تلفات نفوذ عمقی در

آبیاری یک در میان متناوب و ثابت را نسبت به آبیاری مرسوم، به ترتیب ۲۱ و ۴۲ درصد گزارش کردند. در این تحقیق مقدار آب خالص مورد نیاز در روش آبیاری یک در میان متناوب و ثابت نسبت به آبیاری مرسوم ۲۷ و ۲۵ درصد کاهش داشت که علت آن را به کاهش میزان تبخیر در این روش آبیاری نسبت به روش معمول نسبت دادند. نتایج پژوهش (Du et al. 2013) نیز نشان داد که کارایی مصرف آب بر مبنای تبخیر و تعرق و همچنین کارایی مصرف آب بر مبنای آب آبیاری، با انجام آبیاری یک در میان متناوب نسبت به آبیاری جویچه ای مرسوم، به ترتیب ۳۰ و ۳۴/۵ درصد افزایش یافت.

غلات از جمله محصولات زراعی هستند که امکان به کارگیری مدیریت کم آبیاری برای آن ها وجود دارد (Farre and Faci, 2009). عملکرد گیاه ذرت مانند بقیه محصولات کشاورزی در روش آبیاری کامل نسبت به روش آبیاری جویچه ای یک در میان بیشتر است؛ اما برای رسیدن به کارایی مصرف آب آبیاری بالا و یا استفاده بهینه از منابع آب و خاک و تولید بهینه (تولید متناسب با مصرف آب کمتر)، از این شیوه استفاده می شود (Kang and Zhang, 2004).

ذرت در تمام مناطق معتدل و حاره دنیا کشت می شود و در بین غلات مهم ترین محصول بعد از برنج و گندم بوده و از نظر میزان تولید بالاترین رتبه را دارد (FAO, 2011). با توجه به

رژیم‌های آبیاری سطحی (۱۰۰٪) I_1 ، (۸۰٪) I_2 ، (۶۰٪) I_3 و عامل فرعی شامل سه نوع سیستم آبیاری جویچه‌ای مرسوم، یک در میان ثابت و متناوب بود. در طول اجرای تحقیق و در فواصل بین آبیاری‌ها، رطوبت خاک در عمق‌های ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ سانتیمتری خاک و در فواصل ۱۰ سانتیمتری از وسط جویچه‌ها در سطح افقی با استفاده از دستگاه TDR (مدل Trase6050X1) اندازه‌گیری شد. زمان آبیاری پس از کاهش رطوبت خاک در روزهای بعد از هر آبیاری تا میزان ۵۰ درصد رطوبت قابل استفاده خاک و بر اساس تیمار شاهد (به کمک دستگاه TDR) در نظر گرفته شد (Doorenbos and Pruitt, 1977).

عمق آب آبیاری برای محاسبه حجم آب آبیاری تیمار شاهد و اعمال رژیم‌های آبیاری از روابط (۱ و ۲) محاسبه شده است (Alizadeh (1996).

$$I_n = \sum ((\theta FC_i - \theta BL_i) \times D_i) \quad (\text{رابطه ۱})$$

$$I_g = I_n \cdot E_a^{-1} \quad (\text{رابطه ۲})$$

در این رابطه I_n نیاز خالص آبیاری (mm)، θFC_i میزان رطوبت حجمی ظرفیت زراعی برای هر لایه، θBL_i میزان رطوبت حجمی خاک قبل از آبیاری برای هر لایه، D_i عمق توسعه ریشه (mm) و i شماره هر لایه خاک است. همچنین I_g نیاز ناخالص آبیاری (mm) و E_a راندمان کاربرد آب آبیاری (درصد) می‌باشد. راندمان آبیاری با انجام آزمایش‌ها نفوذ آب در عمق‌های خاک و در طول جویچه تا توسط دستگاه رطوبت‌سنج و پس از هر آبیاری انجام گردیده و سپس محاسبه شده و در آبیاری بعدی اعمال می‌گردید. البته از آبیاری سوم به بعد مقادیر راندمان تقریباً نزدیک به هم بدست آمد. در سه نوبت هم با استفاده از فلوم و دبی ورودی و خروجی راندمان آبیاری اندازه‌گیری گردید که نتایج مشابه بدست آمد. حجم آب آبیاری نیز با احتساب راندمان آبیاری و بر اساس رساندن رطوبت خاک تیمار شاهد به حد ظرفیت زراعی محاسبه و برای رژیم‌های آبیاری در سامانه‌های مرسوم و یک در میان با استفاده از سیفون اعمال گردید. برای هر جویچه دو عدد سیفون در نظر گرفته شده و سیفون‌ها در عمق مناسب نصب و کالیبره شدند. در زمان آبیاری با استفاده از کرنومتر و با ثابت نگه داشتن ارتفاع آب در کانال و سرریز اضافی آن به جوی دیگر، حجم آب آبیاری وارد هر جویچه گردیده و آبیاری تکمیل شد.

در این پژوهش برای هر کرت آزمایشی، شش ردیف کشت با طول ۶۰ متر در نظر گرفته شد. رقم مورد استفاده، سینگل کراس ۷۰۴ بود که از ارقام رایج و غالب در کشور است. فواصل ردیف‌ها طبق توصیه بخش تحقیقات نهال و بذر استان اصفهان برای تولید علوفه حداکثر در منطقه، ۷۵ سانتیمتر و فاصله بوته‌ها روی هر ردیف ۲۰ سانتیمتر در نظر گرفته شد. مقادیر مناسب کودهای مورد نیاز بر اساس آزمون خاک و طبق توصیه مؤسسه

(Naderi et al. (2015, 2016) تأثیر ۹ تیمار آبیاری شامل آبیاری کامل (FI)، کم آبیاری تنظیم‌شده (DI)، کم آبیاری ناقص ریشه در حالت متغیر (PRD) و کم آبیاری ناقص ریشه در حالت ثابت (FPRD) در سه سطح ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی را روی عملکرد و کارایی مصرف مصرف آب ذرت علوفه‌ای بررسی نمودند. نتایج نشان داد بیشترین عملکرد علوفه‌تر (میانگین ۷۵۰۹۵ کیلوگرم در هکتار) مربوط به تیمار آبیاری کامل بود. عملکرد کم آبیاری ناقص ریشه در حالت متغیر (PRD) و تأمین ۸۰ درصد نیاز آبی، ۶۸۸۳۷ کیلوگرم در هکتار بود که تفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد با تیمار آبیاری کامل نداشت. بیشترین کارایی مصرف آب با میانگین ۲/۲۷ کیلوگرم ماده خشک به ازای مصرف یک متر مکعب آب مربوط به تأمین ۸۰ درصد نیاز آبی در تیمار PRD متغیر بود.

با وجود اهمیت بررسی تنش رطوبتی بر گیاه ذرت علوفه‌ای در روش‌های آبیاری جویچه‌ای مرسوم و یک در میان و به منظور استفاده پژوهشگران در زمینه‌های زراعت، فیزیک خاک و به‌ویژه برآورد نیاز آبی گیاه در شرایط مختلف مدیریت آبیاری و از طرفی نیاز به اطلاعات واقعی مزرعه‌ای برای مدل کردن و واسنجی مدل‌های حاصله، تاکنون تحقیق جامع و کاملی در مزرعه بر توزیع رطوبت و روند توسعه رشد ذرت علوفه‌ای تحت تیمارهای مذکور در شرایط مناطق تحت کشت ذرت در اصفهان صورت نگرفته است. بنابراین در این پژوهش، به بررسی تأثیر اعمال تیمارهای کم آبیاری تحت مدیریت‌های مختلف آبیاری جویچه‌ای بر اندام هوایی گیاه ذرت علوفه‌ای پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش طی سال‌های ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۶ در ایستگاه تحقیقاتی کبوترآباد اصفهان اجرا گردید. این ایستگاه در ۲۵ کیلومتری شرق اصفهان با ارتفاع ۱۵۱۰ متر از سطح دریا، عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۳۱ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۵۱ دقیقه شرقی واقع شده و دارای آب‌وهوای گرم و خشک با میانگین بارندگی سالیانه ۱۱۰ میلی‌متر و دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد است. به منظور انجام این پژوهش زمین مورد نظر در پاییز سال قبل شخم خورده و چند روز قبل از اجرای آن، آماده‌سازی شامل تسطیح و مرزبندی انجام و جویچه‌ها با فواصل موردنظر آماده شدند. قبل از اجرای تحقیق از لایه‌های خاک تا عمق ۶۰ سانتیمتری با فواصل ۲۰ سانتیمتری نمونه‌برداری و جهت تعیین ویژگی‌های مختلف فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه ارسال گردید.

این پژوهش به صورت کرت‌های یک بار خرد شده و در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. عامل اصلی شامل

اندام هوایی به دست آید. کارآیی مصرف آب آبیاری (کیلوگرم بر متر مکعب) با استفاده از عملکرد و حجم آب مصرفی در هر تیمار، از رابطه (۲) به دست می آید.

$$W.U.E=Y.I^{-1} \quad (\text{رابطه } ۲)$$

W.U.E، کارآیی مصرف آب آبیاری (kg.m^{-3})، Y مقدار محصول (kg.ha^{-1}) و I حجم خالص آبیاری (m^3) است.

میانگین ویژگی های فیزیکی خاک محل آزمایش و همچنین ویژگی های شیمیایی قبل از کاشت و پس از برداشت، تا عمق ۶۰ سانتیمتری به ترتیب در جدول (۱) و (۲) آمده است. بر اساس درصد ذرات اندازه گیری شده در خاک، بافت خاک مورد نظر، لومی رسی تعیین گردید.

نتایج جدول (۲) نشان داد که در هر سه لایه خاک به علت انجام آبیاری در طول فصل رشد گیاه، شوری عصاره اشباع خاک در زمان برداشت کاهش یافته است. همچنین به علت افزودن کودهای شیمیایی درصد کربن آلی، فسفر و پتاسیم قابل جذب در انتهای فصل مقداری افزایش داشت. نتایج میانگین ویژگی های شیمیایی منبع آب آبیاری در جدول (۳) آمده است.

تحقیقات خاک و آب محاسبه و اعمال گردید. کودهای سوپر فسفات تریپل (۷۵ کیلوگرم در هکتار) و سولفات پتاسیم (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) به همراه یک سوم کود اوره (۴۰۰ کیلوگرم در هکتار) در هنگام کاشت و بقیه کود اوره در دو نوبت به صورت سرک داده شد. تاریخ کاشت نیمه دوم خرداد ماه و زمان برداشت ذرت علوفه ای نیمه دوم شهریورماه بود. از ابتدای کاشت تا استقرار گیاهچه ها یعنی مرحله ۴ برگی، تیمارها به طور یکسان آبیاری شده و پس از استقرار گیاهچه ها تیمارهای رژیم آبیاری اعمال گردید. در طول فصل زراعی یادداشت برداری های لازم از قبیل ارتفاع بوته و قطر ساقه انجام گردیده و سپس در زمان برداشت و در انتهای فصل عملکرد و اجزای عملکرد برای هر تیمار محاسبه گردید. به همین منظور از دو ردیف وسط هر تیمار با حذف دو متر از ابتدا و انتهای جویچه ها تعداد ۲۰ بوته انتخاب شد و پارامترهای عملکرد علوفه تر، وزن ماده خشک، آب کاربردی و کارآیی مصرف آب آبیاری محاسبه گردید. برای اندازه گیری وزن ماده خشک ذرت علوفه ای، نمونه های گیاهی را به مدت ۷۲ ساعت در آون (۷۵ درجه سلسیوس) قرار داده تا وزن خشک کل

جدول ۱- ویژگی های فیزیکی خاک محل آزمایش

عمق خاک	ظرفیت مزرعه	نقطه پژمردگی	جرم مخصوص ظاهری	شن	سیلت	رس	بافت
cm	درصد وزنی	gcm ⁻³	درصد				
۰-۲۰	۲۵/۴	۱۵/۲	۱/۴۸	۱۲	۴۳	۴۵	Silty Clay
۲۰-۴۰	۲۵/۶	۱۵/۳	۱/۴۶	۱۱	۴۲	۴۷	Silty Clay
۴۰-۶۰	۲۴/۸	۱۵/۱	۱/۴۷	۸	۴۴	۴۸	Silty Clay

جدول ۲- نتایج آزمون خاک زمین مورد آزمایش در دو مرحله قبل از کاشت و بعد از برداشت

عمق خاک	EC	pH	کربن آلی	فسفر قابل جذب	پتاسیم قابل جذب
cm	(dSm ⁻¹)		%	(mgkg ⁻¹)	
قبل از کاشت (۰-۲۰)	۷/۶	۷/۲	۰/۷۴	۱۷/۲	۲۵۰
قبل از کاشت (۲۰-۴۰)	۵/۲	۷/۴	۰/۷۵	۱۸/۵	۲۶۳
قبل از کاشت (۴۰-۶۰)	۴/۱	۷/۴	۰/۳۲	۱۳/۴	۲۱۸
زمان برداشت (۰-۲۰)	۵/۲	۷/۳	۰/۹۵	۲۳/۵	۲۸۷
زمان برداشت (۲۰-۴۰)	۴/۱	۷/۴	۰/۸۲	۲۱/۱	۲۷۴
زمان برداشت (۴۰-۶۰)	۳/۷	۷/۶	۰/۳۰	۱۴/۵	۲۱۵

جدول ۳- میانگین خواص شیمیایی منبع آب آبیاری

منبع	Ec	pH	Hco ₃ ⁻	Cl ⁻	So ₄ ²⁻	مجموع آنیون ها	Ca ²⁺ +mg ²⁺	Na ⁺	مجموع کاتیون ها
چاه	dS.m ⁻¹		meq.lit ⁻¹						
	۳/۶	۷/۴	۲/۸	۲۱/۲	۱۲/۸	۳۶/۸	۲۴/۸	۱۳	۳۷/۸

نتایج و بحث

آب کاربردی و صرفه جویی آب آبیاری

مقدار آب کاربردی گیاه ذرت در تیمارهای مختلف در جدول (۴) ارائه شده است. کل آب کاربردی در آبیاری جویچه ای مرسوم و

رژیم آبیاری معادل ۱۰۰ درصد نیاز آبی (I_i) تا مرحله برداشت علوفه برابر ۱۱۷۹۰ متر مکعب در هکتار اندازه گیری شد. همچنین با تغییر آبیاری جویچه ای مرسوم به یک در میان ثابت و یا متناوب تا مرحله برداشت علوفه ۳۹/۱۲ درصد در مصرف آب صرفه جویی شد. علت این موضوع مربوط به ماهیت آبیاری یک در میان است

رژیم آبیاری، روش آبیاری و مراحل رشد بر روی سطح برگ، شاخص سطح برگ، ارتفاع بوته، وزن تر و خشک، آب کاربردی و کارایی مصرف آب از نظر آماری در سطح یک درصد معنی دار بود. مراحل رشد مورد نظر در این پژوهش به علت افزایش رشد و نمو ذرت در هر مرحله نسبت به مرحله قبل از نظر آماری دارای اختلاف معنی دار در سطح یک درصد است. رژیم‌های آبیاری I₁ و I₃ به ترتیب بیشترین و کمترین تأثیر را بر روی صفات اندازه‌گیری شده داشتند و از نظر آماری باعث اختلاف معنی دار در سطح یک درصد گردیدند. این اختلاف ناشی از تأثیر مقدار آب کاربردی و رطوبت در دسترس ریشه برای تأمین آب و مواد غذایی به منظور فعالیت‌های فتوسنتز و متابولیسم گیاه و تولید محصول می‌باشد. روش‌های آبیاری جویچه‌ای مرسوم و یک در میان متناوب و ثابت نیز به ترتیب بیشترین و کمترین تأثیر را بر روی صفات اندازه‌گیری شده داشتند و از نظر آماری باعث اختلاف معنی دار در سطح یک درصد گردیدند. روش آبیاری یک در میان متناوب جویچه‌ای نسبت به روش آبیاری جویچه‌ای یک در میان ثابت به علت تر و خشک شدن متوالی محیط ریشه‌ها باعث جذب آب از قسمت مرطوب و تحریک روزه‌ها برای بسته شدن از طریق آنزیم آپسیسک اسید از قسمت خشک ریشه‌ها می‌گردد. به این ترتیب تولید ماده خشک گیاه کمتر دچار اختلال گردیده و مقدار کاهش عملکرد به کمترین مقدار ممکن می‌رسد. مشابه این نتایج در پژوهش Sepaskhah and Ahmadi (2010) گزارش شده است.

که حجم آب مصرفی در هر نوبت تقریباً معادل نیمی از حجم آب در آبیاری جویچه‌ای مرسوم است. این نتایج با نتایج Kang et al. (2000) و Panahi (2011) مطابقت دارد. گزارش کردند که کاربرد آبیاری یک در میان متناوب ذرت ضمن عملکرد بالای دانه، باعث ۵۰ درصد کاهش در میزان مصرف آب می‌گردد. در پژوهش انجام‌گرفته توسط Panahi (2011)، آبیاری یک در میان جویچه‌ها ضمن کاهش ۳۰ تا ۵۰ درصد آب مصرفی، تنها ۱۵ الی ۲۰ درصد کاهش عملکرد نسبت به تیمار آبیاری تمام جویچه‌ها داشت.

جدول ۴- مقدار آب کاربردی و میزان کاهش مصرف آب در مقایسه با آبیاری کامل در تیمارهای آبیاری جویچه‌ای مرسوم، یک در میان ثابت و متناوب

عامل آزمایشی	رژیم آبیاری	عمق آب کاربردی (m ³ .ha ⁻¹)	میزان کاهش مصرف آب در مقایسه با آبیاری کامل (%)
مرسوم	I ₁	۱۱۷۹۰ ^a	-
	I ₂	۹۹۵۱ ^b	۱۵/۵۹
	I ₃	۸۱۱۲ ^c	۳۱/۱۹
یک در میان ثابت و متناوب	I ₁	۶۶۹۷ ^d	۳۹/۱۲
	I ₂	۶۲۷۳ ^e	۴۳/۵۳
	I ₃	۵۳۵۳ ^f	۴۴/۵۲

در هر مرحله میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون، اختلاف معنی داری با یکدیگر ندارند.

در جدول (۵) نتایج تجزیه واریانس سطح برگ، شاخص سطح برگ، ارتفاع بوته، عملکرد تر و خشک، آب کاربردی، کارایی مصرف آب آبیاری ذرت علوفه‌ای آمده است. نتایج نشان داد اثر

جدول ۵- تجزیه واریانس سطح برگ، شاخص سطح برگ، ارتفاع بوته، عملکرد تر و خشک، آب کاربردی، کارایی مصرف آب آبیاری ذرت

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		سطح برگ	شاخص سطح برگ	ارتفاع بوته	وزن تر	وزن خشک	آب کاربردی مصرف آبیاری
تکرار	۲	۸۰۲۶۳۸/۳	۰/۳	۲۷۶۶/۸	۲۱۴۵۳۵۷۶۸/۲	۳۳۸۳۹۲۵۱/۳	۰/۰
مراحل رشد (a)	۴	۵۰۶۶۰۴۸۴/۹**	۲۲/۵**	۳۳۵۳۰/۴**	۱۶۵۶۰۲۲۰۹۱۹/۷**	۹۷۹۲۰۳۶۱۱/۸**	۷۶۸۹۷۸۷۵/۶**
خطای (a)	۸	۹۹۸۴/۴	۰/۰۰۴	۳/۴	۶۶۶۶۸۸۱۹/۸	۹۳۵۸۰۶/۳	۰/۰۰۵
رژیم آبیاری (b)	۲	۲۱۰۵۶۷۴۱/۶**	۹/۴**	۲۰۱۶۵/۰**	۳۸۶۵۶۴۶۹۹۲/۶**	۵۶۰۲۷۶۰۴۶/۱**	۲۰۳۱۱۳۵۱/۲**
اثر متقابل (a*b)	۸	۱۲۵۸۷۰/۶**	۰/۰۵**	۸/۲**	۲۰۴۰۴۵۲۹۰/۵*	۲۱۰۲۱۶۳۸/۴**	۱۱۷۶۹۳۷/۲**
خطای (b)	۲۰	۲۴۲۹/۶	۰/۰۰۱	۲/۲	۸۱۹۲۹۷۲۹/۵	۸۴۹۴۲/۳	۰/۰۰۱
روش آبیاری (c)	۲	۶۳۰۷۶۳۱۳/۹**	۲۸/۱**	۱۲۶۴۲/۳**	۲۱۳۱۰۸۱۶۲۹/۷**	۳۲۰۳۵۲۸۳۸/۵**	۸۶۷۰۲۶۶۴/۶**
اثر متقابل (a*c)	۸	۲۵۹۰۴۰۳/۱**	۱/۱**	۴/۶**	۸۳۰۶۷۶۴۵/۵ ^{ns}	۴۷۰۵۳۸۱/۳**	۵۷۶۲۴۲۰/۱**
اثر متقابل (b*c)	۴	۳۵۳۳۷۵/۲**	۰/۱**	۳۶۱/۸**	۱۶۷۹۱۷۳۶۸/۹ ^{ns}	۲۲۷۳۹۸۴۳/۰**	۲۶۶۳۴۲۸/۹**
اثر متقابل (a*b*c)	۱۶	۲۳۳۲۷/۷**	۰/۰۱**	۴/۴**	۹۴۰۹۷۳۰/۹ ^{ns}	۸۳۸۱۰۳/۵**	۲۰۹۱۷۶/۲**
خطای c	۶۰	۲۴۰۶/۴	۰/۰۰۱	۱/۹	۸۰۴۹۶۰۰۶/۸	۴۸۲۳۴/۵	۰/۰۰۲

* معنی دار در سطح احتمال پنج درصد، ** معنی دار در سطح احتمال یک درصد، n.s فاقد اختلاف معنی دار

جدول ۶- مقایسه میانگین عملکرد و اجزای عملکرد ذرت علوفه‌ای تحت تأثیر برهم‌کنش تیمارهای مختلف مدیریت آبیاری و رژیم‌های آبیاری جویچه‌ای بر اساس آزمون LSD

عامل آزمایشی		پارامترهای اندازه‌گیری						
مدیریت آبیاری	رژیم آبیاری	سطح برگ (cm ²)	شاخص سطح برگ (cm ² .cm ⁻²)	ارتفاع بوته (cm)	عملکرد تر (kg.ha ⁻¹)	عملکرد خشک (kg.ha ⁻¹)	آب کاربردی (m ³ .ha ⁻¹)	کارآیی مصرف آبیاری (تر) (kg.m ⁻³)
	I ₁	۵۰۳۹ ^a	۳/۳۶ ^a	۱۹۰/۴ ^a	۶۳۹۷۷/۹ ^a	۲۰۸۳۰/۳ ^a	۱۱۷۹۰ ^a	۱/۷۷ ^d
مرسوم	I ₂	۴۰۱۶ ^d	۲/۶۸ ^d	۱۷۳/۱ ^c	۵۵۱۳۸/۳ ^c	۱۵۲۰۷/۷ ^c	۹۹۵۱ ^b	۱/۵۳ ^f
	I ₃	۳۳۴۶ ^f	۲/۲۳ ^f	۱۴۳/۳ ^f	۴۶۶۵۱/۶ ^f	۱۲۲۰۳/۹ ^f	۸۱۱۲ ^c	۱/۵۰ ^f
	I ₁	۴۶۵۷ ^b	۳/۱۰ ^b	۱۷۵/۱ ^b	۵۷۷۴۱/۶ ^b	۱۵۸۲۹/۸ ^b	۶۶۹۷ ^d	۲/۳۶ ^a
متناوب	I ₂	۴۰۶۲ ^c	۲/۷۱ ^c	۱۴۶/۲ ^e	۵۶۰۴۰/۳ ^d	۱۴۳۱۵/۶ ^d	۶۲۷۳ ^e	۲/۲۸ ^b
	I ₃	۳۴۲۸ ^e	۲/۲۹ ^e	۱۳۱/۳ ^h	۳۶۵۴۱/۶ ^h	۸۸۵۷/۸ ^h	۵۳۵۳ ^f	۱/۶۵ ^e
یک در	I ₁	۲۶۴۸ ^g	۱/۷۶ ^g	۱۵۲/۲ ^d	۴۹۹۳۶/۹ ^e	۱۳۶۲۰/۱ ^e	۶۶۹۷ ^d	۲/۰۳ ^c
میان	I ₂	۲۰۰۵ ^h	۱/۳۴ ^h	۱۳۷/۰ ^g	۴۱۲۸۰/۹ ^g	۱۰۶۲۶/۷ ^g	۶۲۷۳ ^e	۱/۶۹ ^e
ثابت	I ₃	۱۴۷۳ ⁱ	۰/۹۸ ⁱ	۱۱۶/۶ ⁱ	۳۳۶۶۵/۳ ⁱ	۸۰۵۳/۵ ⁱ	۵۳۵۳ ^f	۱/۵۰ ^f

در هر مرحله میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

جویچه‌ای مرسوم کاهش آب کاربردی در رژیم‌های آبیاری I₂ و I₃ نسبت به رژیم آبیاری I₁ به ترتیب ۱۵/۶ و ۳۱/۲ درصد بود که به ترتیب باعث کاهش ۲۰/۲ و ۳۳/۶ درصد کاهش شاخص سطح برگ و ۲۷ و ۴۱/۴ درصد کاهش عملکرد ماده خشک گردید. همچنین در روش آبیاری جویچه‌ای یک در میان متناوب کاهش آب کاربردی در رژیم‌های آبیاری I₂ و I₃ نسبت به رژیم آبیاری I₁ به ترتیب ۶/۳ و ۲۰/۱ درصد بود که به ترتیب باعث کاهش ۱۲/۶ و ۲۶/۱ درصد کاهش شاخص سطح برگ و ۹/۶ و ۴۴ درصد کاهش عملکرد ماده خشک گردید. در همین رابطه برای روش آبیاری جویچه‌ای یک در میان ثابت کاهش آب کاربردی در رژیم‌های آبیاری I₂ و I₃ نسبت به رژیم آبیاری I₁ به ترتیب ۶/۳ و ۲۰/۱ درصد بود که به ترتیب باعث کاهش ۲۳/۹ و ۴۲/۳ درصد کاهش شاخص سطح برگ و ۲۲ و ۴۰/۹ درصد کاهش عملکرد ماده خشک گردید. با توجه به مقدار آب کاربردی و تولید ماده خشک، بیشترین مقدار کارآیی مصرف آب آبیاری (خشک) در روش آبیاری جویچه‌ای یک در میان متناوب و برای رژیم آبیاری I₁ برابر با ۲/۳۶ کیلوگرم بر متر مکعب بدست آمد. همچنین بیشترین مقدار کارآیی مصرف آب آبیاری (تر) در روش آبیاری جویچه‌ای یک در میان متناوب و برای رژیم آبیاری I₂ برابر با ۸/۹۳ کیلوگرم بر متر مکعب بدست آمد. در این پژوهش کمترین مقدار کارآیی مصرف آب آبیاری (خشک) در روش آبیاری جویچه‌ای یک در میان ثابت و مرسوم و برای رژیم آبیاری I₃ برابر با ۱/۵ کیلوگرم بر متر مکعب بدست آمد. از نظر کارآیی مصرف آب آبیاری (تر) نیز

جدول (۶) نیز مقایسه میانگین عملکرد و اجزای عملکرد ذرت علوفه‌ای تحت تأثیر برهم‌کنش تیمارهای مختلف مدیریت آبیاری و رژیم‌های آبیاری جویچه‌ای را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌های آزمایش، سطح برگ، شاخص سطح برگ، ارتفاع بوته، عملکرد تر و خشک، آب کاربردی و کارآیی مصرف آب آبیاری ذرت علوفه‌ای (تر و خشک) تحت تأثیر رژیم‌ها و روش‌های مختلف آبیاری دارای اختلاف معنی‌دار در سطح یک درصد بودند.

با توجه به نتایج ارائه‌شده در جدول (۶)، حداکثر مقادیر ویژگی‌های اندازه‌گیری شده سطح برگ، شاخص سطح برگ، ارتفاع بوته، عملکرد تر و خشک و آب کاربردی مربوط به آبیاری جویچه‌ای مرسوم و رژیم آبیاری معادل ۱۰۰ درصد نیاز آبی (I₁) و کمترین مقادیر اندازه‌گیری شده فوق برای آبیاری جویچه‌ای یک در میان ثابت و رژیم آبیاری معادل ۶۰ درصد نیاز آبی (I₃) بدست آمد. در هر سه روش آبیاری جویچه‌ای مرسوم، یک در میان ثابت و متناوب بیشترین مقادیر پارامترها در رژیم I₁ و کمترین مقدار در رژیم I₃ بدست آمد. با کاهش آب کاربردی از رژیم I₁ به رژیم I₂ و سپس رژیم I₃ دسترسی ریشه‌های گیاه به رطوبت خاک کاهش یافته و تأمین آب و مواد غذایی در حد نیاز کامل برای اندام‌های هوایی به منظور شرکت در فرایند فتوسنتز و افزایش رشد و نمو گیاه، بسته به شدت تنش خشکی و مقدار کمبود آب، مختل می‌شود؛ بنابراین عملکرد گیاه از طریق کاهش روند رشد سلولی و سطح برگ کاهش می‌یابد. در روش آبیاری

رشد رویشی منجر به کوچک شدن برگ‌ها گردیده و شاخص سطح برگ و میزان جذب نور توسط گیاه را نیز کاهش می‌دهد. هم‌زمان با کاهش پتانسیل آب ناشی از تنش در گیاه، غلظت هورمون‌های گیاهی از جمله آبسسیک اسید نیز تغییر می‌کند. افزایش این هورمون باعث بسته شدن روزنه‌ها و کاهش جذب دی‌اکسید کربن می‌گردد. این موضوع بسته به میزان تنش باعث کاهش عملکرد می‌گردد و تا زمانی که از نظر اقتصادی قابل قبول باشد، می‌توان با کاهش مصرف آب به تولید بهینه دست یافت. با ادامه و اعمال تنش رطوبتی به میزان شدیدتر مانند رژیم آبیاری I_3 (۶۰ درصد نیاز آبی) مقدار تنفس، جذب دی‌اکسید کربن، انتقال مواد فتوسنتزی و انتقال آب و مواد غذایی در آوندهای چوبی با سرعت بیشتری کاهش می‌یابد. این کاهش باعث افت شدید عملکرد گیاه از طریق لوله‌ای شدن و کوچک‌تر شدن سطح برگ‌ها و کاهش رشد و نمو اندام هوایی و در نهایت عملکرد ماده خشک گیاه می‌گردد.

شکل (۲) روند وزن خشک اندام هوایی (گرم) و شاخص سطح برگ (سانتیمتر مربع بر سانتیمتر مربع) برای روش‌های مختلف آبیاری شامل آبیاری‌های جویچه‌ای مرسوم، متناوب و یک در میان ثابت، در رژیم‌های آبیاری I_1 (۱۰۰ درصد نیاز آبی)، I_2 (۸۰ درصد نیاز آبی) و I_3 (۶۰ درصد نیاز آبی) در طول دوره رشد ذرت را نشان می‌دهد.

همان‌طور که در این شکل مشخص است، در هر سه رژیم آبیاری روند شاخص سطح برگ و عملکرد ماده خشک تا قبل از مرحله شیری شدن افزایشی بوده و بعد از آن روند به صورت کاهشی است. مقادیر صفات مورد اشاره در شکل (۲) و در روش آبیاری متناوب به مقادیر روش آبیاری مرسوم نزدیک و نسبت به آبیاری یک در میان ثابت اختلاف بیشتری دارد. علت این موضوع را می‌توان به نحوه توزیع و گسترش ریشه در این روش‌های آبیاری نسبت داد. در روش آبیاری متناوب به علت تر و خشک شدن‌های متوالی جویچه‌ها، ریشه‌های گیاه به کمک تغییرات هورمونی از جمله آبسسیک اسید با گسترش ریشه‌ها به اطراف، جذب آب و مواد غذایی از خاک را بهبود می‌بخشد. با ادامه تنش رطوبتی از حد ملایم و اعمال تنش شدیدتر وزن خشک اندام هوایی و شاخص سطح برگ نیز با سرعت بیشتری کاهش می‌یابد.

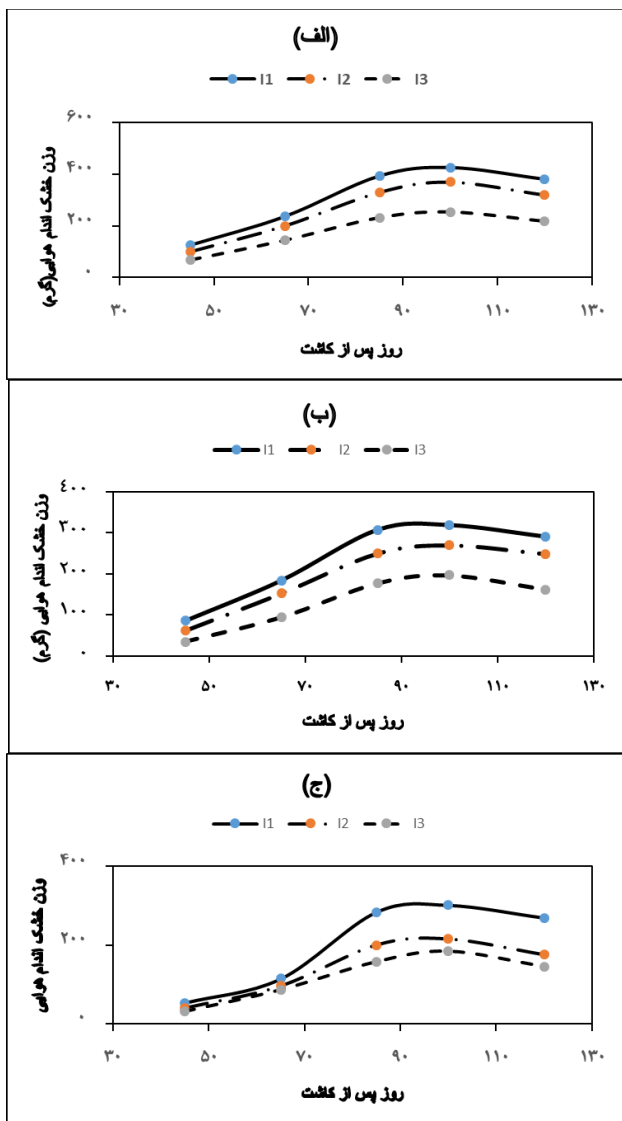
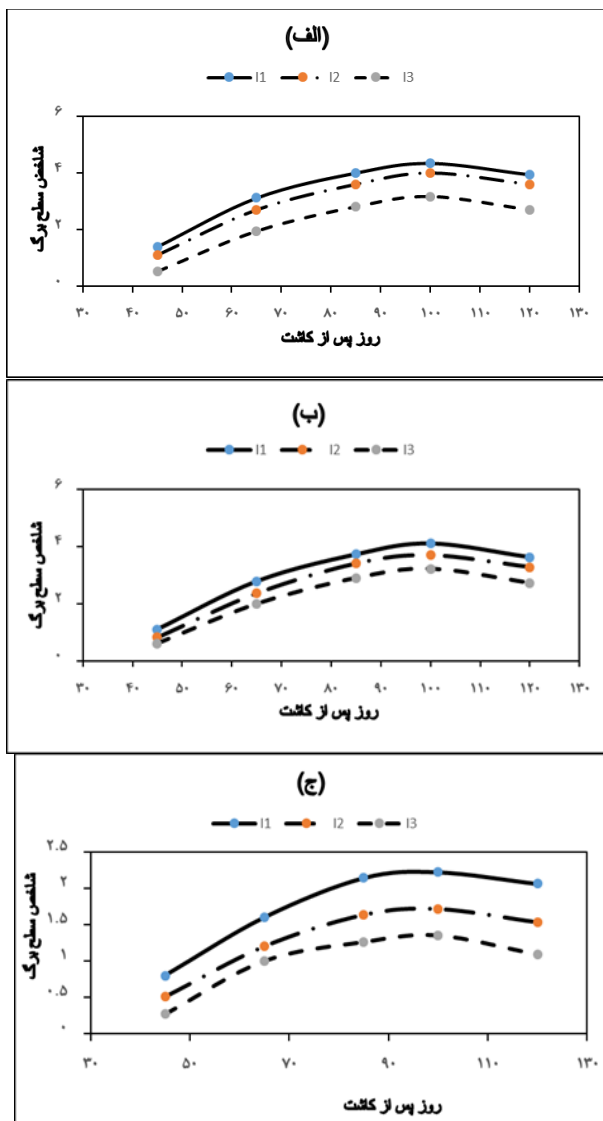
گیاه در این شرایط تنش و معادل ۶۰ درصد نیاز آبی (I_3) روش آبیاری یک در میان ثابت که خود ماهیتاً با تنش همراه است، حداقل عملکرد و شاخص سطح برگ را نشان می‌دهد. کم‌آبیاری در روش آبیاری یک در میان ثابت به علت اینکه برخی جویچه‌ها تا انتهای دوره خشک هستند باعث می‌شود که روند

آبیاری جویچه‌ای مرسوم و در رژیم I_1 کمترین مقدار را معادل ۵/۴۳ کیلوگرم بر متر مکعب تولید کرد. با تغییر آبیاری جویچه‌ای مرسوم به آبیاری جویچه‌ای یک در میان تا مرحله برداشت ذرت علوفه‌ای، ۳۹/۱۲ درصد در آب کاربردی صرفه‌جویی شد و مقادیر کارآیی مصرف آب آبیاری (تر) نیز ۳۷ درصد در آبیاری جویچه‌ای متناوب و ۲۷ درصد در آبیاری یک در میان ثابت افزایش یافت. از نتایج فوق می‌توان چنین برداشت نمود که کم‌آبیاری در روش آبیاری متناوب به علت تر و خشک نمودن محدوده ریشه (جویچه-ها) به صورت متناوب و آبیاری مجدد قسمت‌هایی از ریشه گیاه که در نوبت قبل خشک بوده‌اند، زمینه را برای برخی تغییرات فیزیولوژیکی فراهم آورده و می‌تواند باعث افزایش جذب آب و مواد غذایی گردد. افزایش گرادیان هیدرولیکی بین ریشه و خاک در ریشه‌های قدیمی و تولید ریشه‌های شاداب ثانویه از جمله مهم‌ترین تغییراتی است که در نتیجه اعمال تنش به شیوه آبیاری متناوب در گیاه گزارش شده است. از طرفی به علت تر و خشک شدن متوالی در آبیاری متناوب، ریشه‌ها به کمک مکانیسم‌هایی همچون ترشح آنزیم آبسسیک اسید بخشی از تغییرات آناتومیکی مضر که باعث کاهش روند رشد فیزیکی ریشه می‌شود را جبران می‌کند (Kang and Zhang, 2004; Kang et al., 2002; Liu et al., 2013). مجموع عوامل فوق باعث می‌شود مقدار کاهش عملکرد ماده خشک به کمترین مقدار رسیده و بهره‌وری آب آبیاری بیشتر گردد.

در شکل (۱) روند وزن خشک اندام هوایی (گرم) و شاخص سطح برگ (سانتیمتر مربع بر سانتیمتر مربع) برای رژیم‌های آبیاری I_1 (۱۰۰ درصد نیاز آبی)، I_2 (۸۰ درصد نیاز آبی) و I_3 (۶۰ درصد نیاز آبی) در طول دوره رشد ذرت در آبیاری‌های جویچه‌ای مرسوم (الف)، متناوب (ب) و یک در میان ثابت (ج) نشان داده شده است. در هر سه روش آبیاری روند شاخص سطح برگ و عملکرد ماده خشک تا قبل از مرحله شیری شدن افزایشی بوده و بعد از آن روند به صورت کاهشی است. نکته مهم در این شکل نزدیک بودن نمودار I_2 به نمودار I_1 در روش آبیاری جویچه‌ای مرسوم است که فاصله این نمودارها در آبیاری متناوب کمی بیشتر و در روش آبیاری جویچه‌ای یک در میان ثابت این فاصله بیشتر شده است. علت این موضوع را می‌توان به عوامل مستقیم و غیرمستقیم تنش رطوبتی بر گیاه دانست. واکنش گیاه در برابر تنش رطوبتی با فعالیت متابولیکی، مورفولوژیکی، مرحله رشد و عملکرد بالقوه گیاه در ارتباط می‌باشد. با شروع تنش رطوبتی ابتدا رشد سلولی و سپس فرایند کلروفیل سازی کاهش یافته و در طول دوره

جبران کند اما در صورتی که ریشه های گیاه ذرت در مدت طولانی در معرض تنش رطوبتی شدید قرار گیرند، ریشه ها تضعیف گردیده و باعث کاهش و اختلال در مکانیزم فتوسنتز می گردد. (Sepaskhah and Ahmadi, 2010) تنش ملایم در خاک باعث ایجاد ریشه های جدید جانبی در منطقه خاک مرطوب و جذب آب از طریق گسترش سیستم ریشه و افزایش تراکم طولی ریشه می گردد ولی ادامه تنش رطوبتی، رشد ریشه را بسیار کاهش می دهد. این کاهش رشد ریشه بر روی رشد و عملکرد گیاه تأثیر مستقیم داشته و بسته به شدت تنش وارد شده به گیاه، باعث افت عملکرد می گردد.

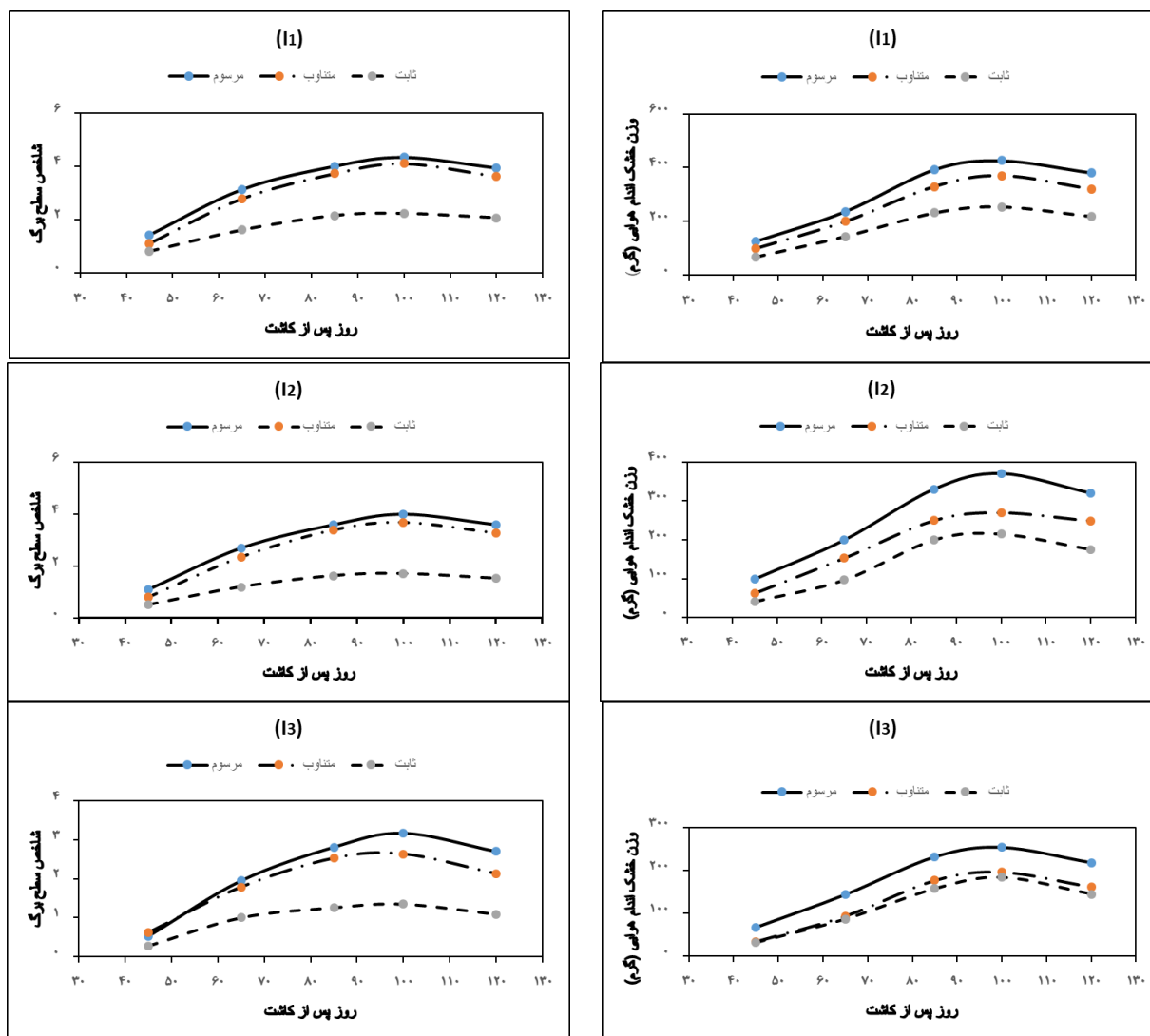
رشد و گسترش ریشه گیاه در مواجهه با این ناحیه خشک متوقف شده و پس از مدتی ریشه ها شادابی خود را از دست داده و با از بین رفتن قسمت های پوسته ریشه عملاً ریشه ها کارایی خود را از دست بدهند. کم شدن فعالیت ریشه ها کاهش متابولیسم گیاهی، فتوسنتز و رشد و نمو گیاه را به دنبال دارد. نتایج مشابه این تحقیق در گزارش (Liang Sepaskhah and Ahmadi, 2010) *et al.*, 2008; نیز آمده است. (Liang *et al.*, 2008) گزارش کردند فعالیت ریشه های ذرت در شرایط تنش شدید به شدت کاهش می یابد. اگرچه گیاه بعد از آبیاری می تواند با تولید ریشه های جانبی و مویی قسمتی از خسارت ناشی از تنش شدید ریشه را



S₁ S₂ S₃ S₄ S₅
مراحل رشد

S₁ S₂ S₃ S₄ S₅
مراحل رشد

شکل ۱- وزن خشک اندام هوایی (گرم) و شاخص سطح برگ (سانتیمتر مربع بر سانتیمتر مربع) در رژیم های آبیاری I₁ (۱۰۰ در صد نیاز آبی)، I₂ (۸۰ در صد نیاز آبی) و I₃ (۶۰ در صد نیاز آبی) در هر مرحله از رشد ذرت در آبیاری های جویچه ای مرسوم (الف)، متناوب (ب) و یک در میان ثابت (ج)



S1 S2 S3 S4 S5
مراحل رشد

S1 S2 S3 S4 S5
مراحل رشد

شکل ۲- وزن خشک اندام هوایی (گرم) و شاخص سطح برگ (سانتیمتر مربع بر سانتیمتر مربع) در روش‌های آبیاری‌های جویچه‌ای مرسوم، متناوب و یک در میان ثابت در هر مرحله از رشد ذرت برای رژیم‌های آبیاری معادل ۱۰۰ درصد نیاز آبی (I1)، ۸۰ درصد نیاز آبی (I2) و ۶۰ درصد نیاز آبی (I3)

نتیجه‌گیری

به طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد اگرچه اعمال تنش رطوبتی بر ویژگی‌های اندام هوایی شامل سطح برگ، شاخص سطح برگ، ارتفاع بوته، وزن تر و خشک گیاه ذرت از نظر آماری در سطح یک درصد اثر معنی‌دار بوده و با اعمال تنش رطوبتی صفات مذکور در هر سه روش آبیاری جویچه‌ای کاهش می‌یابد؛ ولی می‌توان ادعا داشت که آبیاری جویچه‌ای متناوب و یا آبیاری جویچه‌ای مرسوم با اعمال تنش ملایم (کم آبیاری تا حد ۲۰ درصد) ضمن صرفه‌جویی در مصرف آب و با توسعه یک سیستم مناسب ریشه و گسترش ریشه‌های ثانویه؛ امکان استفاده بهتر از شرایط محیطی و رطوبت موجود در خاک را فراهم می‌سازد. با تغییر آبیاری جویچه‌ای مرسوم به آبیاری جویچه‌ای یک در میان

تا مرحله برداشت ذرت علوفه‌ای، ۳۹/۱۲ درصد در آب کاربردی صرفه‌جویی شد و مقادیر کارایی مصرف آب آبیاری (تر) نیز ۳۷ درصد در آبیاری جویچه‌ای متناوب و ۲۷ درصد در آبیاری جویچه‌ای یک در میان ثابت افزایش یافت. همچنین با کم آبیاری تا حد ۲۰ درصد در آبیاری جویچه‌ای مرسوم ضمن صرفه‌جویی در آب کاربردی، ۲ درصد هم کارایی مصرف آب آبیاری (تر) افزایش یافت. لذا آبیاری جویچه‌ای متناوب به عنوان مهم‌ترین تکنیک کم‌آبیاری در شرایط کمبود منابع آب و یا آبیاری جویچه‌ای مرسوم با اعمال تنش ملایم (کم آبیاری تا حد ۲۰ درصد) می‌تواند به عنوان گزینه‌ای مناسب برای کشت ذرت علوفه‌ای در مزارع کشاورزان و کشت و صنعت‌های کشاورزی قابل توصیه باشد.

REFERENCES

- Aili, S., Yuexing, L. and Yongxia, W. (2010). Water Consumption and Maize Yield for Alternative Furrow Irrigation in Western Heilongjiang Province. *Journal of Northeast Agricultural University*, Vol. 17(4): 25-29.
- Alizadeh, A. (2008). *Soil, Water, Plant relationship*. Publishing of Imam Reza, Mashhad. (8th Ed). pp: 470. (In Farsi)
- Alizadeh, A. (1996). *Irrigation System Design*. Publishing of Imam Reza, Mashhad. (2th Ed). pp: 539. (In Farsi)
- Cao, Q., Wang, S.Z., Gao, L.H., Ren, H.Z., Chen, Q.Y., Zhao, J.W., Wang, Q., Sui, X.L., Zhang, Z.X. (2010). Effect of alternative furrow irrigation on growth and water use of cucumber in solar greenhouse. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 29(1):47-53. (In Chinese with English abstract)
- Doorenbos, J. and Pruitt, W.H. (1977). Crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage, paper No. 24, Rome, Italy.
- Du TS, Kang SZ, Yan BY, Zhang JH. (2013). Alternate furrow irrigation: a practical way to improve grape quality and water use efficiency in arid Northwest China. *Journal of Integrative Agriculture*, 12, 509-519.
- Ebrahimian, H., Liaghat, A., Parsinejad, M. and Playan, E. (2012). Distribution and loss of water and nitrate under alternate and conventional furrow fertigation. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 10(3): 849-863.
- FAO. (2011). Food and Agricultural Commodities Production. Food and Agriculture Organization of the United Nations, <http://www.fao.org>. (Accessed 27.05.11)
- Farre, I., Faci, J.M. (2009). Deficit irrigation in maize for reducing agricultural water use in a Mediterranean environment. *Agric. Water Manage.* 96: 383-394.
- Kang, S.Z. and Zhang, J. (1997). Hydraulic conductivities in soil-root system and relative importance at different soil water potential and temperature. *Transactions of Chinese Society of Agricultural Engineers*. (in Chinese) 13: 76-81.
- Kang, S., Liang, Z., Pan, Y., Shi, P., and Zhang, J. (2000). Alternate furrow irrigation for maize production in an arid area. *Agric. Water manage.* Vol. 45: 267-274.
- 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*, 5: 2437-2446.
- Kang, S.Z., Shi, W.J., Cao, H.X., Zhang, J. (2002). Alternate watering in soil vertical profile improved water use efficiency of maize. *Field Crop Res.* 77: 31-41.
- Kashiani, P., Saleh, G., Osman, M., and Habibi, D. (2011). Sweet corn yield response to alternate furrow irrigation methods under different planting densities in a semiarid climatic condition. *African Journal of Agricultural Research*, 6(4): 1032-1040.
- Li, K.Y., Jong, R.D, Coe, M.T and Ramankutty, N. (2006). Root water uptake based upon a new water stress reduction and an asymptotic root distribution function. *Earth Interactions*, 10(14): 1-22.
- Liang, A. H. Ma, F. Y. Liang, Z. S. and Mu, Z. X. (2008). Studies on the physiological mechanism of functional compensation effect in maize root system induced by re-watering after draught stress. *Journal of North Science Technology*, 36: 58-64.
- Liu, S, Yang, J.Y., Zhang, X.Y., Drury, C.F., Reynolds, W.D. and Hoogenboom, G. 2013. Modelling crop yield, soil water content and soil temperature for a Soybean-maize rotation under conventional and conservation tillage Systems in Northeast China. *Agricultural Water Management*, 23: 32- 44.
- Ministry of Agricultural Jihad . (2017). Statistics of Agriculture. 117pp. (In Farsi).
- Naderi, N., Fazl Oula, R., Zia Tabar Ahmadi, M.KH., Shahnazari, A., and Khavari Khorasani, S. (2015). Study of different irrigation methods on yield and water use efficiency of corn. *Journal of Iranian Irrigation and Drainage*, 3(9): 531-523. (In Farsi)
- Naderi, N., Fazl Oula, R., Zia Tabar Ahmadi, M.KH. Shahnazari, A., and Khavari Khorasani, S. (2016). Investigating the effect of low irrigation and low irrigation on the physiological parameters and photosynthetic parameters of corn fodder. *Journal of Soil and Water Sciences*, 3(2): 432-442. (In Farsi).
- Nelson, D.J. and Al-Kaisi, M.M. (2011). Agronomic and economic evaluation of various furrow irrigation strategies for corn production under limited water supply. *Journal of soil and water conservation*, 66(2):114-121.
- Norwood, C.A. (2000). Water use, yield of limited-irrigated, and dryland corn. *Soil Science Society of America Journal*, 64:365-370.
- Panahi, M. (2011). Effect of Furrow irrigation methods and irrigation water levels on yield and water use efficiency of corn. The final report of the Soil and Water Research Institute, No.85.1350. (In Farsi).
- Sepaskhah, A.R., Ahmadi, S.H. (2010). A review on partial root-zone drying irrigation. *Int. J. Plant Prod.* 4(4): 241-258.
- Shao, G.C., Liu, N., Zhang, Z.Y., Yu, S.E.N., Chen, C.R. (2010). Growth, yield and water use efficiency response of greenhouse-grown hot pepper under Time-Space deficit irrigation. *Sci. Hort.* 126: 172-179.
- Tafteh, A., Sepaskhah, A.R. 2012. Yield and nitrogen leaching in maize field under different nitrogen rates and partial root drying irrigation. *International Journal of Plant Production*, 6(1): 93-114.

- Yonts, C.D., Eisenhauer, D.E., Varner, D. (2007). Managing furrow irrigation systems. Institute of Agriculture and Natural Resources, University of Nebraska.
- Zegbe, J.A., Behboudian, M.H., Clothier, B.E. (2004). Partial rootzone drying is a feasible option for irrigating processing tomatoes. *Agric. Water*

- Manage.* 68:195–206.
- Zhang, L., Gaoa, L., Zhanga, L., Wangb, S., Sua, X., and Zhanga, Z. (2012). Alternate furrow irrigation and nitrogen level effects on migration of water and Nitrate-nitrogen in soil and root growth of cucumber in solar-greenhouse. *Scientia Horticulturae*, 138: 43–49.