

ارزیابی و بهبود مدیریت آبیاری جویچه‌ای در اراضی تحت کشت نیشکر خوزستان

فریبرز عباسی*^۱، علی شینی‌دشتگل^۲

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۵/۱۰

تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۷/۱۱

^۱ - استاد مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج

^۲ - کارشناس ارشد آبیاری و زهکشی، مؤسسه تحقیقات و آموزش نیشکر و صنایع جانبی خوزستان، اهواز

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیک: Fa.abbasi@areo.ir

چکیده

مشکل عمده روش‌های آبیاری سطحی، پایین بودن بازده کاربرد آب در مزرعه است که به‌طور عمده از ضعف مدیریت آبیاری ناشی می‌شود. با توجه به هزینه زیاد سامانه‌های آبیاری تحت فشار و محدودیت کاربرد در برخی شرایط خاص، بهبود و اصلاح روش‌های آبیاری سطحی ضروری است. این تحقیق، با هدف ارزیابی وضعیت موجود مدیریت آبیاری جویچه‌ای، شناخت نقاط ضعف و روش‌های بهبود مصرف آب در اراضی چهار کشت و صنعت دهخدا، امیرکبیر، حکیم فارابی و کارون اجرا شده است. در این تحقیق مقدار آب مصرفی، عوامل برنامه‌ریزی آبیاری، بازده کاربرد آب آبیاری و یکنواختی توزیع آب در مزارع تحت مطالعه ارزیابی شده است. در مجموع ۳۷ مورد ارزیابی در مراحل مختلف دوره رشد نیشکر در کشت و صنعت‌های مورد نظر انجام شده است. در هر یک از مزارع مورد مطالعه، بافت خاک، چگالی ظاهری، زمان‌های پیشروی و پسروی، دبی ورودی، رطوبت خاک (قبل و بعد از آبیاری)، دو نقطه از منحنی مشخصه رطوبتی، شیب و مقطع هندسی جویچه‌ها و مدت زمان آبیاری اندازه‌گیری شده است. نتایج نشان داد که دور آبیاری در مزارع مورد مطالعه کوتاه، مدت زمان آبیاری طولانی و مصرف آب در اغلب مزارع ارزیابی شده بیشتر از مقدار آب مورد نیاز است. رطوبت خاک قبل از آبیاری در عمق‌های ۳۳-۶۶ و ۶۶-۱۰۰ سانتی‌متر و گاه در عمق ۳۳-۰ سانتی‌متر در اغلب مزارع مورد مطالعه نزدیک به رطوبت ظرفیت زراعی مزرعه (FC) و یا بیشتر از آن بود. عمق ناخالص آب داده شده از ۷۰ تا ۳۱۹ میلی‌متر و بازده کاربرد در مزارع مورد مطالعه از ۷ تا ۱۰۰٪ متغیر و متوسط آن در مزارع ارزیابی شده ۴۲/۵٪ بود. بر خلاف بازده کاربرد، یکنواختی توزیع آب در همه مزارع تحت مطالعه زیاد و متوسط آن حدود ۹۲٪ بود. تلفات آب در مزارع به‌طور عمده ناشی از نفوذ عمقی بود.

واژه‌های کلیدی: بازده کاربرد، تلفات آب، مدیریت آبیاری، نیشکر، یکنواختی توزیع

Evaluating and Improving the Sugarcane Furrow Irrigation Management in Khuzestan

F Abbasi^{1*}, A Sheini Dashtegol²

Received: 01 August 2015

Accepted: 02 October 2016

¹ Prof. of Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREO), Karaj, Iran

² M.Sc. in Irrigation and Drainage Engineering, Sugarcane Research and Training Institute, Khuzestan, Iran

* Corresponding Author, Email: Fa.abbasi@areo.ir

Abstract

The major problem in surface irrigation methods is low irrigation efficiency which is mainly caused by the lack of suitable irrigation management. Noting the cost of pressurized irrigation systems and restrictions of applying them in some circumstances, it is necessary to improve surface irrigation methods. This study aimed to assess the current situation of furrow irrigation management, identifying weaknesses and ways to improve water consumption in four sugarcane agro-industries of Dehkhoda, Amirkabir, Hakim Farabi and Karun. In this study, the amount of water used, irrigation scheduling parameters, irrigation application efficiency and water distribution uniformity of the studied farms were evaluated. At total, 37 cases were evaluated at different stages of growth in the studied sugarcane agro-industries. In each of the studied farms, soil texture, bulk density, advance and recession times, inflow rate, soil moisture content (before and after the irrigation), two points of soil moisture characteristic curve, field slope, furrow cross section, and irrigation time were measured. Results showed that irrigation interval in the studied farms was short, irrigation time was long, and water consumption in most of the evaluated farms was more than the required water. Soil moisture before irrigation at depths of 33-66 cm and 66-100 cm and sometimes at depth of 0-33 cm in the most of the studied fields was close to field capacity (FC) or even it was more than it. Irrigation gross water depth ranged from 70 to 319 mm and application efficiency varied from 7 to 100 percent, average was 42.5%. Unlike application efficiency, water distribution uniformity was acceptable in the studied farms and its average was approximately 92%. Water losses in the studied farms were mainly due to deep percolation.

Keywords: Application efficiency, Distribution uniformity, Irrigation management, Sugarcane, Water losses

مقدمه

جانبی (امام خمینی، دهخدا، امیرکبیر، حکیم فارابی، سلمان فارسی، دعبل خزایی و میرزا کوچکخان) و سایر کشت و صنعت‌های نیشکری (کارون، هفت‌تپه و میان‌آب) در استان خوزستان مورد استفاده قرار می‌گیرند. علی‌رغم تجهیز و نوسازی اراضی، این کشت و صنعت‌ها متهم به پایین بودن بازده آبیاری و تولید حجم زیادی از زه‌آب‌های کشاورزی هستند.

در سال‌های اخیر در زمینه آبیاری جویچه‌ای پیشرفت‌های زیادی حاصل شده است که می‌توان به سهولت استفاده از لوله‌های دریچه‌دار (هیدروفلوم) در این روش آبیاری اشاره کرد. این روش در سطح بیش از ۱۰۰ هزار هکتار از اراضی زیر کشت نیشکر در هفت مجموعه کشت و صنعت شرکت توسعه نیشکر و صنایع

در اراضی شرکت توسعه نیشکر، بافت خاک عمدتاً سنگین و بادهای گرم و خشک در طول فصول بهار و تابستان جریان دارند. برای تأمین آب مزارع به موازات طولی آنها، لوله‌های دریچه‌دار هیدروفلوم به‌کار می‌رود. بیش‌آبیاری، محصول نیشکر و شکر را کاهش می‌دهد در حالی‌که مصرف آب با تنش ملایم باعث افزایش محصول می‌گردد (تورنر ۱۹۹۰).

بازده کاربرد آب در فرهنگستان علوم عبارت از نسبت مقدار آب ذخیره شده در منطقه توسعه ریشه گیاه به مقدار آب ورودی به مزرعه است. در واقع، بازده کاربرد آب بیان‌گر تلفات عمقی و رواناب سطحی در مزرعه می‌باشد. این بازده برای یک پروژه، یک قطعه زراعی یا یک مزرعه محاسبه می‌شود و معمولاً در آبیاری سطحی، مقدار آن در حدود ۶۰٪ است. ایزدی و همکاران (۱۹۹۱) بازده کاربرد آب را در یک مزرعه نیشکر در آمریکا در ۲۰ جویچه مجاور هم در سه حالت آبیاری پیوسته، آبیاری با کاهش جریان و آبیاری ناپیوسته (موجی) بررسی کردند و بازده کاربرد آب را ۴۰ تا ۶۰٪ گزارش نمودند.

کشکولی و همکاران (۱۳۷۹) در تحقیقی بر روی نیشکر در کشت و صنعت هفت‌تپه، بازده کاربرد آب را ۵۲ الی ۶۹٪ گزارش کردند. بهزادی‌نسب و همکاران (۱۳۸۷) در مطالعه‌ای در مزارع کشت و صنعت نیشکر هفت‌تپه، بازده کاربرد را در یکی از مزارع به‌طور متوسط ۵۲/۱٪ و در مزرعه دیگر ۳۶/۶ درصد برآورد نمودند. صادقی-عطار و همکاران (۱۳۷۹) مصرف آب نیشکر در برخی مزارع کشت و صنعت‌های کارون و هفت‌تپه را به‌ترتیب برابر ۴۵۹۰۰ و ۵۲۵۰۰ مترمکعب در هکتار گزارش نمودند. برای افزایش بازده در آبیاری جویچه‌ای، هر یک از پارامترهای مربوط به ویژگی‌های خاک، هندسه جویچه، پارامترهای هیدرولیکی جریان و پارامترهای گیاهی با مدیریت صحیح می‌تواند مؤثر واقع شود. ملوخی و همکاران (۱۳۸۵) بازده‌های کاربرد آب را در دو حالت جویچه‌های بازسازی شده و بدون بازسازی

تولید نیشکر در جهان ۱۴۵۰ میلیون تن و سطح زیر کشت آن حدود ۲۲ میلیون هکتار است. نیشکر در بیش از ۱۰۰ کشور جهان کشت می‌شود ولی ۶۰٪ آن در دو کشور برزیل و هند تولید می‌شود. چین، تایلند، مکزیک، پاکستان، استرالیا و کلمبیا سایر کشورهای عمده تولید کننده نیشکر هستند. در برزیل حدود یک درصد اراضی تحت کشت نیشکر، در استرالیا ۶۰٪ و در آفریقای جنوبی ۴۰٪ آبیاری می‌شوند.

این گیاه در ایران در استان خوزستان کشت می‌شود. فصل داشت و آبیاری آن به‌طور عمده در ماه‌های گرم سال و مصادف با دوره کم‌آبی رودخانه کارون است. نیشکر، گیاهی چند ساله و دارای دوره رشد طولانی و نیاز آبی زیاد است. این گیاه در طول دوره رشد به آب فراوان احتیاج داشته و از طرفی نسبت به کم‌آبی حساس است. در عین‌حال، ریشه آن به غرقاب شدن دراز مدت سازگاری ندارد و در شرایطی که سطح آب زیرزمینی بالا بیاید و منطقه توسعه ریشه را در بر بگیرد، به علت خفگی تدریجی ریشه، شاخ و برگ گیاه زرد گشته و افت عملکرد پیش خواهد آمد (نیو ۱۹۷۱). بنابراین، اعمال مدیریت صحیح آبیاری با هدف صرفه‌جویی در مصرف آب و افزایش عملکرد نیشکر از اهمیت خاصی برخوردار است. نیشکر از نظر نیاز آبی، بعد از برنج، پرمصرف کننده‌ترین گیاه و در رتبه دوم قرار دارد. آب مورد نیاز نیشکر در اقلیم‌های مختلف بین ۱۵۰۰-۱۱۰۰ میلی‌متر در سال متغیر است. روش آبیاری در اغلب مناطق کشور و برای اکثر محصولات زراعی و باغی، روش‌های سطحی است. این روش‌ها به دلایل مختلف از جمله ضعف مدیریت، خرده مالکی، حبابه‌های ثابت، تسطیح نامناسب اراضی و غیره از عملکرد و بازده اندکی برخوردار هستند. در اراضی کشت و صنعت‌های نیشکر خوزستان، علی‌رغم این‌که برخی از مسایل (مثل خرده مالکی، یکپارچه‌سازی، تسطیح اراضی و غیره) برطرف شده است، این کشت و صنعت‌ها همچنان متهم به بازده آبیاری کم هستند.

آب مصرفی در طول دوره رشد نیشکر در تیمارهای آبیاری یک در میان متغیر و ثابت به ترتیب حدود ۳۰/۷ و ۲۸/۶ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت. بازده کاربرد آب نیز در آبیاری معمولی از ۴۱ تا ۵۰٪، در آبیاری یک در میان ثابت از ۷۴ تا ۸۳٪ و در آبیاری یک در میان متغیر از ۷۷ تا ۸۷٪ متغیر بود.

بر اساس آنچه در بالا اشاره شد، به نظر می‌رسد که بازده کاربرد آب آبیاری و حجم آب مصرفی در اراضی کشت و صنعت‌های نیشکری از وضعیت مطلوبی برخوردار نیست. لذا، این پروژه با هدف ارزیابی وضعیت موجود مدیریت آبیاری اراضی کشت و صنعت‌های دهخدا، امیرکبیر، حکیم فارابی و کارون و شناسایی نقاط ضعف و ارائه راهکارهای لازم برای ارتقاء مدیریت مصرف آب در مزرعه اجرا شده است.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در شهریور ماه سال زراعی ۹۱-۹۰ با ارزیابی برخی از مزارع کشت جدید در اراضی کشت و صنعت‌های دهخدا، امیرکبیر، حکیم فارابی و کارون آغاز و ارزیابی سایر مزارع در سال زراعی ۹۲-۹۱ ادامه یافت. کشت و صنعت‌های دهخدا و کارون در شمال اهواز و کشت و صنعت‌های امیرکبیر و حکیم فارابی در جنوب اهواز قرار گرفته‌اند. کلیات سیستم تأمین، شبکه انتقال و توزیع آب در همه این کشت و صنعت‌ها مشابه است ولی کیفیت منابع آب و خاک در آنها قدری متفاوت است.

در این تحقیق تعدادی از مزارع ۲۵ هکتاری کشت و صنعت‌های یاد شده انتخاب و یک شاخص از مزارع انتخابی مورد ارزیابی قرار گرفت. یک شاخص آبیاری به معنی تعداد جویچه‌هایی است که به‌طور همزمان آبیاری می‌شوند. این تعداد جویچه به‌طور معمول بین ۳۰ تا ۱۱۰ جویچه، بسته به شرایط مختلف متغیر است. روش آبیاری همه مزارع، جویچه‌ای انتها بسته بود که آب از طریق لوله‌های درپچه‌دار وارد جویچه‌ها می‌شد.

در مزارع نیشکر کشت و صنعت امیرکبیر ارزیابی نمودند. آنها بازده کاربرد آب را در جویچه‌های بازسازی شده ۴۸ تا ۷۵٪ و به‌طور متوسط ۶۲٪ و در جویچه‌های بدون بازسازی ۴۳ تا ۶۳٪ و به‌طور متوسط ۵۳٪ اندازه‌گیری کردند. هرگونه تغییر در شکل هندسی جویچه می‌تواند عوامل آبیاری را تحت تأثیر و در نتیجه بر توزیع آب در مزرعه تأثیرگذار باشد. نوری و همکاران (۱۳۸۷) تأثیر عمق جویچه را بر بازده آبیاری در کشت و صنعت کارون بررسی کردند. آنها عمق ۱۶ سانتی‌متر را از نقطه‌نظر بازده کاربرد و کاهش تلفات عمقی آب آبیاری توصیه نمودند. رضایی‌صدر و صابوری (۱۳۸۷) تأثیر مثبت مدیریت آبیاری را بر افزایش بازده آبیاری نیشکر در کشت و صنعت سلمان فارسی گزارش نمودند. رحمانی و بهداروندی (۱۳۸۹) بر اهمیت تأثیر انتخاب دبی ورودی مناسب و مدت زمان آبیاری در اراضی کشت و صنعت کارون تأکید نمودند. معروف پور (۱۳۷۶) در آبیاری جویچه‌ای انتها بسته در کشت و صنعت هفت تپه، بازده کاربرد آب را در دو مزرعه به‌طور متوسط ۶۹ و ۵۲٪ برآورد کرد.

آبیاری جویچه‌ای به دلیل هزینه کم، سادگی بهره‌برداری و قابلیت استفاده در اراضی با شیب کم، کاربرد زیادی در آبیاری اراضی تحت کشت نیشکر دارد (هولدن ۱۹۹۸). هر چند، نگرانی‌هایی در خصوص این روش آبیاری به دلیل تلفات زیاد آب از طریق رواناب سطحی (در صورت باز بودن انتهای جویچه‌ها)، نفوذ عمقی و اثرات زیست‌محیطی آن در حال افزایش است (ملانگا و همکاران ۲۰۰۶). معاضد و همکاران (۱۳۸۷) رابطه خطی بین حجم زه‌آب و بار املاح خروجی را در کشت و صنعت امیرکبیر گزارش و بهبود مدیریت آبیاری را برای کاهش حجم زه‌آبها پیشنهاد نمودند.

شینیدشتگل و همکاران (۱۳۹۱) با هدف بررسی اثر آبیاری جویچه‌ای یک در میان بر حجم آب مصرفی و بازده کاربرد آزمایشی در اراضی کشت و صنعت امیرکبیر اجرا کردند. نتایج آنها نشان داد که حجم کل

قبل و ۲ تا ۳ روز بعد از آبیاری در ابتدا (۴۰-۳۰ متری)، وسط (حدود ۱۲۰ متری) و انتهای (حدود ۲۰۰ متری) جویچه‌های مورد مطالعه تهیه و متوسط آنها در محاسبات مربوطه استفاده شدند. طول جویچه‌های مورد مطالعه در همه کشت و صنعت‌ها از ۲۰۰ تا ۲۶۰ متر متغیر و بافت خاک آنها متوسط تا سنگین بود. همه مزارع مورد مطالعه، دارای سیستم زهکشی زیرزمینی بودند. واریته غالب در همه کشت و صنعت‌های نیشکری در خوزستان CP69-1062 است که بیش از ۵۰٪ سطح زیر کشت به آن اختصاص دارد. همه مزارع مورد مطالعه تحت کشت این واریته بودند. فواصل جویچه‌ها در همه مزارع ۱۸۳ سانتی‌متر، عمق جویچه‌ها ۱۷-۸ سانتی‌متر و الگوی کاشت دو ردیفه (دو ردیف نی به-فاصله ۴۰ سانتی‌متر روی پشته) بود. در کشت دو ردیفه، قلمه‌های نیشکر در دو ردیف به فواصل ۴۰ سانتی‌متر در کف جوی کشت می‌شوند و سپس در ادامه فصل رشد، جای جوی و پشته عوض می‌شود. کشت قلمه در ماه‌های مرداد و شهریور و عوض کردن جای جوی و پشته در ماه‌های بهمن و اسفند انجام می‌شود.

آب مورد نیاز برای آبخویی مزارع مورد مطالعه بر اساس نشریه فائو ۲۹ برآورد گردید. آستانه تحمل نیشکر بدون کاهش محصول ۱/۷ دسی‌زیمنس بر متر و آستانه تحمل نیشکر با ۱۰٪ کاهش عملکرد ۳/۴ دسی‌زیمنس بر متر در نشریه فائو ۲۹ گزارش شده است. آب آبیاری مزارع کشت و صنعت‌های مورد مطالعه از رودخانه‌های دز و کارون تأمین می‌شد. هدایت الکتریکی آب آبیاری این رودخانه‌ها در طول فصل زراعی از حدود ۰/۶ تا ۳/۶ دسی‌زیمنس بر متر متغیر بود.

بازده کاربرد آب آبیاری (E_a) از رابطه زیر تعیین شد (مصطفی زاده و موسوی ۱۳۷۵):

اندازه‌گیری‌ها تحت مدیریت موجود آبیاری مزارع و بدون دخالت در مدیریت و برنامه آبیاری مزارع انجام شد. مزارع انتخابی شامل مزارع کشت جدید، مزارع تهیه قلمه و مزارع راتون بودند. مزارع مورد نظر بین ۱ تا ۴ بار در طول فصل زراعی ارزیابی شدند. ارزیابی‌ها در ابتدای فصل کاشت (برای مزارع کشت جدید)، دوره ابتدایی، میانی و انتهایی فصل رشد نیشکر انجام شد، به طوری که همه مراحل رشد نیشکر (دوره‌های با نیاز آبی کم، متوسط و زیاد) را پوشش دهند. به هر حال، سعی شد که تنوع لازم در ارزیابی عملکرد آبیاری جویچه‌ای مزارع مورد مطالعه از نظر بافت خاک، کیفیت آب آبیاری، نوبت آبیاری، مزارع بالادستی و پایین‌دستی (توزیع مکانی مزارع در کشت و صنعت‌ها)، مراحل مختلف دوره رشد و غیره رعایت شود، به طوری که بتوان تصویر درستی از وضعیت بازده و مدیریت آبیاری اراضی مورد مطالعه را ارائه نمود. تعداد جویچه‌های مورد مطالعه بسته به موقعیت شاخص مورد ارزیابی بین ۱۰۰-۳۰ جویچه (تعداد جویچه‌هایی که به‌طور همزمان آبیاری می‌شوند) متغیر بود.

در هر نوبت آبیاری (ارزیابی)، دبی ورودی، زمان‌های پیشروی و پسروی آب به فواصل ۲۵ متر در طول جویچه‌ها، رطوبت خاک در اعماق ۰-۲۳، ۲۳-۶۶ و ۶۶-۱۰۰ سانتی‌متر قبل و بعد از آبیاری، و نیم‌رخ عرضی (مقطع) جویچه‌ها، بافت و EC خاک، چگالی ظاهری خاک و دو نقطه از منحنی مشخصه رطوبتی (ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی) در عمق‌هایی که رطوبت خاک اندازه‌گیری شده بود، شیب مزارع و EC آب آبیاری، اندازه‌گیری شد. دبی ورودی با فلوم‌های WSC^۱ تیپ ۲ اندازه‌گیری گردید. برای بررسی تغییرات دبی ورودی به جویچه‌های شاخص مورد ارزیابی، دبی ورودی جویچه‌ها در تعدادی از مزارع تحت ارزیابی به‌روش حجمی نیز اندازه‌گیری شد. رطوبت خاک به‌روش وزنی

² Hillingup

¹ Washington State College

حروف A, B, C و D و نام مزارع با اضافه کردن پسوند عدد مشخص شده‌اند.

نتایج و بحث

مدت زمان آبیاری در مزارع مورد مطالعه از ۴ تا ۲۴/۴ ساعت متغیر بود. طولانی بودن مدت زمان آبیاری در برخی مزارع اتفاقی نبوده و زمان آبیاری بیش از ۲۰ ساعت در برخی از مزارع کشت و صنعت‌ها در حین اندازه‌گیری‌ها مشاهده شد. در بیشتر کشت و صنعت‌ها مزارع مورد مطالعه، اغلب شاخص‌هایی که زمان قطع آبیاری آن‌ها به شب ختم می‌شد، مدت زمان آبیاری آن‌ها طولانی‌تر بود. ترجیح کارگر آبیاری، تعویض شاخص آبیاری در طول روز و زمان روشنایی بود. در صورت برخورد با تاریکی شب، غالباً آبیاری تا صبح روز بعد ادامه پیدا می‌کرد. یکی از دلایل تفاوت زیاد در مدت زمان آبیاری مزارع به دلیل تفاوت در دبی جویچه‌های شاخص مورد مطالعه و به‌ویژه اعتقاد آبیاری مبنی بر ادامه آبیاری تا پر شدن جویچه‌های در حال آبیاری بوده است. مقایسه زمان پیشروی و مدت زمان آبیاری مؤید این موضوع است (شکل ۱). علی‌رغم تکمیل سریع پیشروی آب در خیلی از مزارع مورد مطالعه، آبیاری تا چند ساعت بعد از آن ادامه داشته است. به دلیل کم بودن دبی بعضی جویچه‌ها نسبت به برخی دیگر، پیشروی آب در جویچه‌ها یکنواخت نبود و به همین دلیل آبیاری تا پیشروی کامل آب و پر شدن همه جویچه‌ها ادامه می‌یافت. دلیل غیریکنواختی پیشروی آب در جویچه‌ها گاهی به خاطر شکستن ابتدای جویچه‌ها (سر فاروها) بود. این مسئله در آبیاری مزارع کشت جدید (پلاننت) تا قبل از عوض کردن جای جوی و پشته بیشتر نمایان بود. شکستن ابتدای جویچه‌ها و کلاً بریدگی جویچه‌ها در طول مزرعه موجب می‌شد که آب خروجی دو جویچه کنار هم در یک جویچه جریان یافته و لذا پیشروی آب در یکی سریع‌تر از دیگری اتفاق می‌افتاد. یکی از دلایل شکستن سرفاروها، به دلیل نصب درجه‌ها مقابل پشته بود. این شیوه در مزارع برخی کشت و صنعت‌ها از جمله کشت و صنعت امیرکبیر بیشتر

$$E_a = \frac{Z_{req} \times L}{Q_0 \times T_{co}} \times 100 \quad [1]$$

$$Z_{req} = (\theta_{fc} - \theta_i) \rho_b D_{rz} \quad [2]$$

که در آن، Z_{req} حجم خالص آب ذخیره شده در منطقه ریشه در واحد طول جویچه ($m^3 m^{-1}$)، L طول جویچه (m)، Q_0 دبی ورودی به جویچه ($m^3 min^{-1}$)، T_{co} زمان قطع جریان ورودی (min)، θ_{fc} رطوبت وزنی ظرفیت زراعی (درصد)، θ_i رطوبت وزنی اولیه (درصد)، ρ_b چگالی ظاهری ($g cm^{-3}$) و D_{rz} عمق توسعه ریشه (cm) است. یکنواختی توزیع آب (CU) از رابطه کریستیانسن به صورت زیر تعیین شد (پریا-استرادا ۲۰۰۵):

$$CU = 100 \times \left(1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^n |Z_i - \bar{Z}|}{n \times \bar{Z}} \right) \right) \quad [3]$$

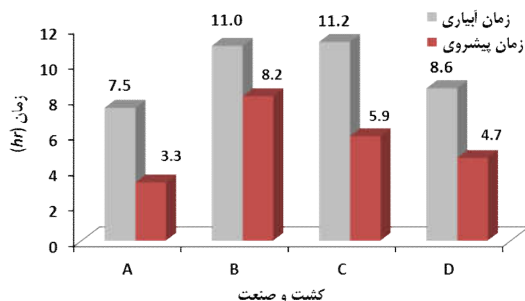
که در آن، Z_i آب نفوذ یافته در ایستگاه i ، \bar{Z} میانگین آب نفوذ یافته و n تعداد نقاط می‌باشد.

عمق ناخالص آب آبیاری با استفاده از حاصل ضرب دبی ورودی در مدت زمان آبیاری و عمق خالص آب آبیاری با استفاده از رابطه ۲ محاسبه شد.

در هر کشت و صنعت بین ۵ تا ۷ مزرعه ارزیابی شد. هر مزرعه نیز از ۱ تا حداکثر ۴ بار در طول فصل زراعی مورد ارزیابی قرار گرفت. در مجموع در ۲۳ مزرعه ۳۷ مورد ارزیابی در مزارع کشت و صنعت‌های مختلف انجام شد. مزارع مورد مطالعه شامل مزارع کشت جدید و راتون ۱ تا ۶ ساله بوده که در مراحل مختلف دوره رشد نیشکر (مراحل ابتدایی رشد با نیاز آبی کم تا مراحل با نیاز آبی زیاد) ارزیابی شده‌اند. ارزیابی‌ها طوری انجام شده است که نوبت‌های مختلف آبیاری از جمله آبیاری خاک آب، اولین آبیاری مزارع تهیه قلمه، اولین آبیاری بعد از بازروی (راتونینگ)، اولین آبیاری بعد از عوض کردن جای جوی و پشته و سایر نوبت‌های آبیاری در مراحل مختلف دوره رشد را شامل شود. نام کشت و صنعت‌های مورد مطالعه با

به جز در کشت و صنعت A، یکی از عوامل اصلی طولانی بودن مدت زمان آبیاری در سایر کشت و صنعت‌های مورد مطالعه، کم بودن دبی ورودی به جویچه‌ها بود. کم بودن دبی ورودی نیز به دلیل زیاد بودن تعداد جویچه‌های یک شاخص آبیاری بود. تعداد جویچه‌های یک شاخص آبیاری در کشت و صنعت‌های B، C و D به‌طور معمول بین ۶۶ تا ۱۱۰ جویچه بود، هر چند، در برخی آبیاری‌ها از جمله آبیاری خاک آب، اولین آبیاری مزارع تهیه قلمه و اولین آبیاری بعد از بازرویی، تعداد جویچه‌های یک شاخص آبیاری کم‌تر بود. وجود جانورانی مانند گراز در برخی مزارع حاشیه کشت و صنعت‌ها باعث از بین رفتن پشته برخی از جویچه‌ها و گاه حفر گودال و چاله در کف جویچه‌ها شده بود، به‌طوری‌که موجب کندشدن سرعت پیشروی و طولانی شدن زمان آبیاری می‌گردید.

یکی از دلایل اصلی طولانی بودن زمان پیشروی در مزارع کشت و صنعت B (شکل ۱) شکستگی سرفاروها، بریدگی جویچه‌ها در طول جویچه (به‌سبب وجود گراز وحشی، عمق کم جویچه‌ها، وجود ترک به‌خاطر بافت سنگین خاک و غیره) و عدم پیشروی یکنواخت آب در جویچه‌های شاخص آبیاری بود. کوتاه بودن زمان پیشروی در کشت و صنعت‌های A و C نیز به‌ترتیب به‌دلیل استفاده از دبی ورودی زیاد و فاروزنی مناسب مزارع بود.

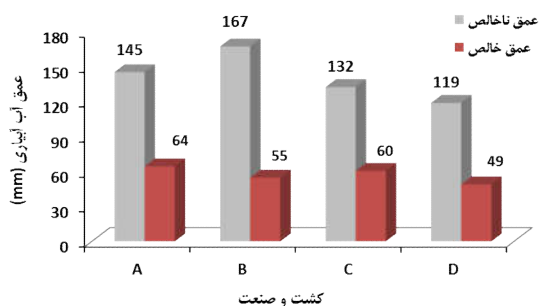


شکل ۱- مقایسه متوسط زمان پیشروی و مدت زمان آبیاری در مزارع کشت و صنعت‌های تحت مطالعه.

مرسوم است. این مسئله موجب می‌شود که تا حدود ۳ متر از پشته برخی از جویچه‌ها در ابتدای مزرعه دچار آبشستگی شوند. برخلاف انتظار، مدت زمان آبیاری یک شاخص آبیاری در آبیاری‌های مختلف (به‌جز در آبیاری خاک آب و اولین آبیاری بعد از بازرویی) تقریباً مشابه بود. به عبارتی، مدیریت آبیاری از نقطه‌نظر مدت زمان آبیاری و دبی ورودی در طول فصل زراعی یکسان بود. زیرا آبیاری بدون توجه به نیاز آبی گیاه و با هدف پرکردن جویچه‌ها از آب انجام می‌شد. مدت زمان پرشدن آب توسط جویچه‌ها نیز تابع دبی ورودی به جویچه‌ها است. مدت زمان آبیاری در آبیاری خاک آب و اولین آبیاری بعد از بازرویی جویچه‌ها و اولین آبیاری بعد از عوض کردن جای جوی و پشته به‌دلیل زیاد بودن ضریب مقاومت در مقابل جریان (ضریب زبری مانینگ) به‌طور طبیعی طولانی است. به‌نظر می‌رسد که در کشت و صنعت‌های مورد مطالعه، اعتقاد چندانی به انجام آبیاری سبک نیست و یا این‌که نیاز به آموزش و اجرای برنامه‌های ترویجی در این زمینه احساس می‌شود. این در حالی است که حدود نیمی از آبیاری‌های نیشکر باید به‌صورت آبیاری سبک انجام شود و یا این‌که دور آبیاری مزارع طولانی‌تر گردد. در برخی مزارع، وجود علف‌های هرز در کف جویچه‌ها و عدم استفاده از دبی ورودی مناسب در چنین مواردی، باعث کند شدن زمان پیشروی و طولانی شدن مدت زمان آبیاری گردید. مورد اخیر در سال زراعی ۹۱-۹۲ در کشت و صنعت B خیلی مشهود بود.

مقایسه متوسط زمان پیشروی و زمان قطع جریان در مزارع کشت و صنعت‌های مورد مطالعه (شکل ۱) نشان می‌دهد که زمان قطع جریان در مزارع تحت مطالعه ۲/۸ تا ۵/۳ ساعت دیرتر از زمان پیشروی انجام می‌شود. این در حالی است که در مزارع با انتهای بسته، اصولاً زمان قطع جریان باید بلافاصله بعد از تکمیل فاز پیشروی باشد. ولی به‌دلایلی که در بالا اشاره شد، زمان قطع جریان تا چند ساعت پس از تکمیل مرحله پیشروی ادامه می‌یابد.

شده است. این به معنی آن است که فواصل (دور) آبیاری در مزارع همه کشت و صنعت‌ها کم بوده و دوره‌های فعلی آبیاری قابل افزایش است.



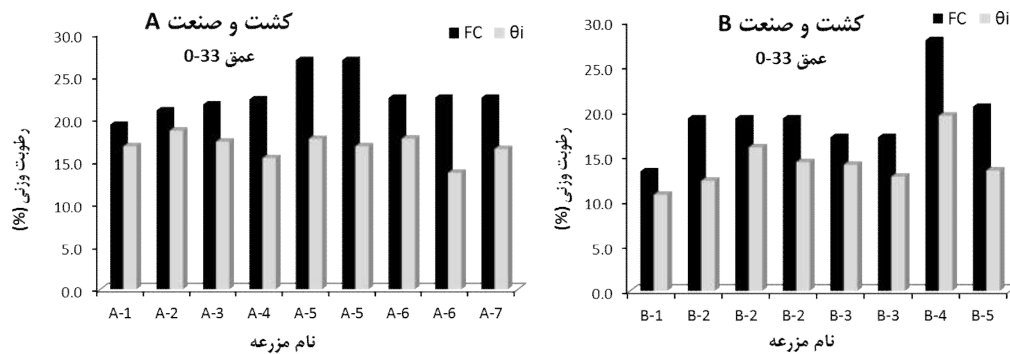
شکل ۲- مقایسه متوسط عمق خالص و ناخالص آب آبیاری در مزارع کشت و صنعت‌های تحت مطالعه.

رطوبت خاک قبل از آبیاری در عمق‌های ۳۳ تا ۶۶ و ۶۶ تا ۱۰۰ سانتی‌متر و گاه در عمق صفر تا ۳۳ سانتی‌متر در اغلب مزارع مورد مطالعه نزدیک به رطوبت ظرفیت زراعی مزرعه (FC) و یا گاه بیشتر از آن بود. زیاد بودن رطوبت خاک قبل از آبیاری بدون اندازه‌گیری دقیق و حتی با مشاهده سطح مزرعه هم قابل تشخیص است. در برخی مزارع مورد مطالعه، رطوبت خاک قبل از آبیاری آن‌قدر زیاد بود که حتی بدون چکمه امکان تردد و اندازه‌گیری زمان پیشروی آب در مزرعه نبود. برای نمونه، متوسط رطوبت خاک قبل از آبیاری در عمق ۰ تا ۳۳ در مزارع مورد مطالعه در کشت و صنعت‌های A و B در شکل ۳ ارائه شده است. همان‌طور که اشاره شد، کمبود رطوبتی بیشتر در لایه ۰ تا ۳۳ سانتی‌متر برخی مزارع وجود دارد. در حدود ۴۵٪ از ارزیابی‌ها (۱۶ مورد)، در لایه ۶۶ تا ۱۰۰ سانتی‌متر کمبود رطوبتی وجود نداشته و یا گاه رطوبت خاک قبل از آبیاری قدری بیشتر از رطوبت ظرفیت زراعی بوده است (نتایج ارایه نشده است). این نتایج نشان می‌دهد که تلفات آب آبیاری در مزرعه به‌طور عمده ناشی از نفوذ عمقی است. رطوبت مناسب زمان آبیاری در مزارع تحت مطالعه بین ۱۴ تا ۱۵٪ (وزنی) متغیر بود.

عمق ناخالص آب آبیاری در مزارع تحت مطالعه از ۷۰ تا ۳۱۹ میلی‌متر متغیر بود این به معنی بیش‌آبیاری در همه مزارع ارزیابی شده است. بیش‌ترین عمق آب آبیاری در دفترچه‌های طراحی مزارع کشت و صنعت-های امیرکبیر، حکیم فارابی و دهخدا ۱۲۰ میلی‌متر پیشنهاد شده است. همان‌طور که در بالا نیز اشاره شد، دلایل اصلی زیاد بودن عمق ناخالص آب آبیاری مزارع مورد مطالعه، کم بودن دبی ورودی به جویچه‌ها، طولانی بودن مدت زمان آبیاری و اعتقاد آبیاران مزارع کشت و صنعت‌ها به پرکردن جویچه‌ها از آب بدون توجه به نیاز آبی نیشکر بود. عمق‌های ناخالص آب آبیاری در زمان‌های اوج مصرف آب نیشکر (ماه‌های خرداد، تیر و مرداد) به نسبت کمتر و به مقادیر عمق خالص آب آبیاری نزدیک‌تر است. مجدداً تاکید می‌شود که مدیریت آبیاری بدون توجه به نیاز آبی گیاه، عمق توسعه ریشه و مرحله رشد در طول فصل زراعی و در همه آبیاری‌ها مشابه و تقریباً یکسان بود. به‌طور مثال، عوامل آبیاری به‌ویژه مدت زمان آبیاری و شدت جریان ورودی در کشت‌های جدید (پلاننت) در مرحله ابتدایی رشد با عمق توسعه ریشه سطحی و نیاز آبی کم، تفاوت چندانی با عوامل آبیاری در مراحل میانی، توسعه و انتهای رشد با نیاز آبی بیشتر نداشتند.

متوسط عمق‌های خالص و ناخالص آب آبیاری در مزارع کشت و صنعت‌های تحت مطالعه در شکل ۲ ارائه شده است. بیش‌ترین عمق ناخالص آب آبیاری در کشت و صنعت B اندازه‌گیری شد. متوسط عمق‌های خالص آب آبیاری در کشت و صنعت‌های A و C تقریباً مشابه و در کشت و صنعت‌های B و D کمتر از دو کشت و صنعت دیگر بود. کمتر بودن عمق خالص آب آبیاری در کشت و صنعت‌های B و D به دلیل فواصل (دور) کم نوبت‌های آبیاری در این دو کشت و صنعت بود.

عمق خالص آب آبیاری بر اساس دفترچه‌های طراحی کشت و صنعت‌ها (با بازده کاربرد ۶۰ تا ۶۵٪) مقدار ۷۲ تا ۷۸ میلی‌متر و به‌طور متوسط ۷۵ میلی‌متر گزارش



شکل ۳- متوسط رطوبت خاک (درصد وزنی) قبل از آبیاری در عمق ۳۳-۰ سانتی‌متر در مزارع مورد مطالعه.

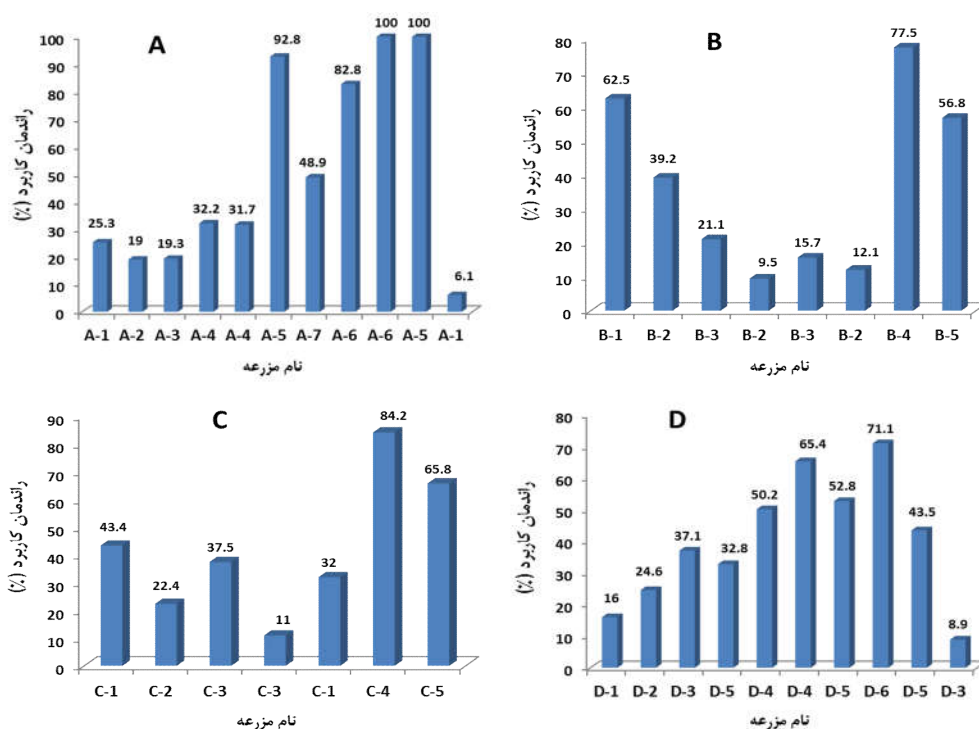
صنعت امیرکبیر را بین ۴۱ تا ۵۰٪ گزارش نمودند. بیش‌ترین بازده کاربرد مربوط به کشت و صنعت A و کم‌ترین آن در کشت و صنعت B اتفاق افتاد. در برخی از مزارع کشت و صنعت A، بخشی از آب ورودی به-سبب رواناب سطحی از انتهای مزارع خارج می‌شد که امکان اندازه‌گیری آن میسر نبود، ولی مقدار آن بر اساس قضاوت‌های کارشناسی ۵ تا ۱۰٪ برآورد گردید. از دلایل اصلی بیش‌تر بودن بازده کاربرد در مزارع کشت و صنعت A می‌توان به استفاده از دبی ورودی مناسب، کوتاه‌تر بودن مدت زمان آبیاری، انتخاب تعداد جویچه کم‌تر در هر شاخص آبیاری و تجربه بیش‌تر کارگران آبیاری این کشت و صنعت اشاره نمود. متوسط دبی ورودی مزارع کشت و صنعت A با ۲/۴۱ لیتر بر ثانیه بیش‌تر از متوسط دبی سایر کشت و صنعت‌ها بود. متوسط مدت زمان آبیاری مزارع این کشت و صنعت نیز با ۷/۵ ساعت کم‌تر از سایر کشت و صنعت‌ها بود (شکل ۱). تعداد جویچه‌های هر شاخص آبیاری در این کشت و صنعت بین ۳۰ تا ۳۵ جویچه متغیر بود. در این کشت و صنعت به‌ندرت از شاخص‌های با بیش از ۴۰ جویچه استفاده می‌شد. در کشت و صنعت D، با وجود آن‌که متوسط زمان آبیاری مزارع آن کم‌تر از دو کشت و صنعت B و C است (شکل ۱)، ولی متوسط بازده کاربرد مزارع آن کم‌تر از این دو کشت و صنعت بود. دلیل آن کوتاه بودن فواصل (دور) آبیاری مزارع آن کشت و صنعت بود. شکل ۲ نیز تأییدی بر این موضوع است. متوسط عمق خالص آب آبیاری (عمق آب مورد نیاز) مزارع این کشت و صنعت ۴۴ میلی‌متر

مقادیر بازده کاربرد آب آبیاری مزارع مورد مطالعه در شکل ۴ مقایسه شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود مقادیر بازده کاربرد از حدود ۷ تا ۱۰۰٪ تغییر می‌کند. مقادیر زیاد بازده کاربرد در برخی مزارع به دلیل کم‌آبیاری است. بازده کاربرد در اغلب ارزیابی‌های انجام شده در دوره اوج نیاز آبی نیشکر (ماه‌های خرداد، تیر و مرداد) بیش از ۵۰٪ برآورد شد. دلیل اصلی نکته اخیر آن است که مقادیر آب کاربردی در این دوره با مقادیر موردنیاز گیاه همخوانی بیش‌تری دارد. کم‌ترین مقادیر بازده کاربرد در ارزیابی‌های ابتدای فصل زراعی و در مزارع کشت جدید اندازه‌گیری شد. دلیل آن ضعف مدیریت آبیاری و عدم توجه به عوامل برنامه‌ریزی آبیاری (دور، عمق آب آبیاری و مدت زمان آبیاری) بود. راین و باکر (۱۹۹۶) بازده کاربرد آب آبیاری در تعدادی از مزارع تحت کشت نیشکر استرالیا را بین ۱۴ تا ۹۰٪ گزارش نمودند که قابل مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری شده در این مطالعه است. در مجموع، مقادیر اندازه‌گیری شده برای بازده کاربرد در چهار کشت و صنعت مورد مطالعه در محدوده مقادیر گزارش شده در منابع داخلی و خارجی برای محصول نیشکر است (ایزدی و همکاران ۱۹۹۱؛ کشکولی و همکاران ۱۳۷۹؛ بهزادی‌نسب و همکاران ۱۳۸۷).

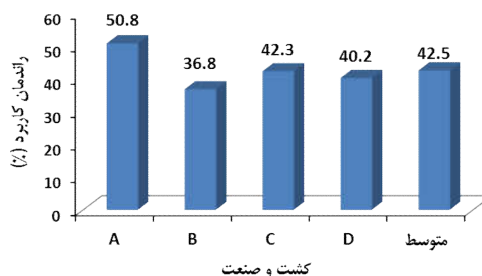
متوسط بازده کاربرد آب در مزارع کشت و صنعت‌های مورد مطالعه در شکل ۵ ارائه شده است. متوسط بازده کاربرد در چهار کشت و صنعت مورد مطالعه ۴۲/۵٪ بود که با نتایج شینی‌دشتگل و همکاران (۱۳۹۱) همخوانی دارد. آنها بازده کاربرد در مزارع کشت و

است که کمتر از عمق خالص آب آبیاری سایر کشت و

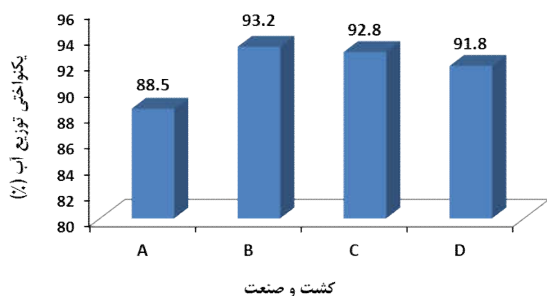
صنعت‌ها است.



شکل ۴- مقایسه بازده کاربرد آب آبیاری در مزارع تحت مطالعه کشت و صنعت‌ها.



شکل ۵- مقایسه متوسط بازده کاربرد آب آبیاری در مزارع تحت مطالعه کشت و صنعت‌ها.

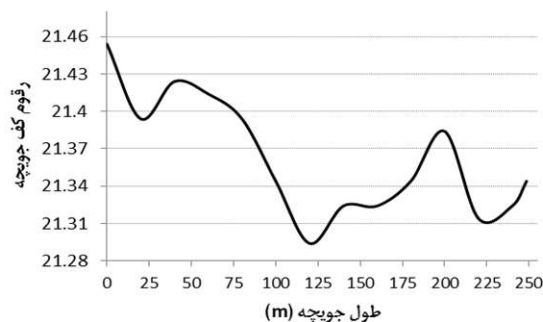
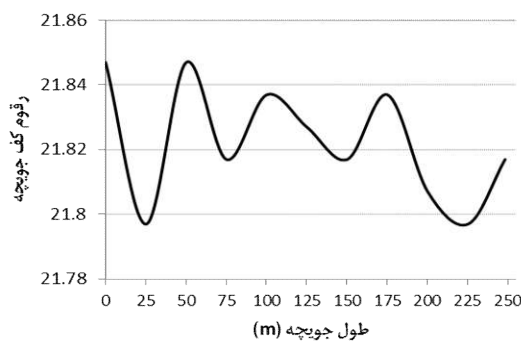


شکل ۶- مقایسه متوسط یکنواختی توزیع آب در مزارع تحت مطالعه کشت و صنعت‌ها.

بر خلاف بازده کاربرد، یکنواختی توزیع آب آبیاری در بیشتر مزارع ارزیابی شده صرف‌نظر از دوره رشد و نیاز آبی در حد قابل قبولی ارزیابی شد. متوسط یکنواختی توزیع آب در مزارع ارزیابی شده ۹۱/۶٪ بود (شکل ۶). کمتر بودن ضرایب یکنواختی توزیع آب در مزارع کشت و صنعت A نسبت به سایر کشت و صنعت-ها به دلیل شیب زیاد مزارع آن کشت و صنعت بود. متوسط شیب جویچه‌ها در این کشت و صنعت حدود دو برابر سایر کشت و صنعت‌ها بود.

وجود شیب زیاد (شیب عرضی در جهت طول مزارع) در برخی مزارع کشت و صنعت‌ها به‌ویژه کشت و صنعت کارون نیز یکی دیگر از مسائلی است که مدیریت آبیاری مزارع و یکنواختی توزیع آب را با مشکل مواجه می‌کند. شیب عرضی زیاد موجب سرریز آب از انتهای جویچه‌ها و حرکت جانبی آن به سمت پایین‌دست مزرعه و آبیاری مجدد شاخص‌هایی که آبیاری شده‌اند، می‌شود. پیشنهاد می‌شود که آبیاری این‌گونه مزارع، برخلاف روال معمول سایر مزارع و از ابتدای مزرعه (محل باکس) شروع شود. بدین ترتیب، از حرکت جانبی آب در انتهای مزارع استفاده بهتر خواهد شد (آبیاری شاخص‌های پایین‌دست که هنوز آبیاری نشده‌اند).

یکی از مشکلات اساسی مزارع ارزیابی شده، شیب مزارع بود. شیب مزارع دارای چند ایراد اصلی است. نخست آن‌که شیب مزارع در طول جویچه‌ها دارای تغییرات زیادی است، به طوری‌که انواع شیب‌های مثبت و منفی، تند و کند در طول جویچه‌ها وجود دارد (شکل ۷). نوسانات شیب در طول جویچه‌های آبیاری، زمان پیشروی آب در جویچه‌ها را تحت تأثیر خود قرار داده و این مهم یکی از دلایل عدم پیشروی یکنواخت آب در مزرعه است. مشکل دیگر در رابطه با شیب، آن است که اصولاً شیب موجود در اغلب مزارع (شیب عمومی) بیش از شیب طراحی است. متوسط شیب طراحی مزارع کشت و صنعت‌های شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی ۰/۰۰۰۲۵ و حداکثر ۰/۰۰۰۴ در دفترچه‌های طراحی پیشنهاد شده است.



شکل ۷- تغییرات رقوم کف در طول جویچه برخی مزارع مورد مطالعه.

علت اصلی مصرف زیاد آب و کم بودن بازده کاربرد در برخی از دوره‌های رشد نیشکر، به دلیل عدم آگاهی کارگران و تکنسین‌های آبیاری با نیاز آبی و مسائل مدیریت و برنامه‌ریزی آبیاری است. پیشنهاد می‌شود برنامه‌های آموزشی و ترویجی بیشتری در زمینه مدیریت و برنامه‌ریزی آبیاری در کشت و صنعت‌ها برگزار شود. آبیاری در زمان نیاز گیاه به آب و با توجه به کمبود رطوبت خاک انجام شود. تهیه مناسب زمین به‌ویژه از لحاظ کنترل شیب و شکل‌دهی مناسب پشته‌ها و کاهش شیب مزارع به ۲ تا ۳ در ده هزار و استفاده از دبی مناسب توصیه می‌شود. پیش‌بینی کافی آب برای سطح در حال آبیاری به میزان $2-2/5Ls^{-1}$ برای

نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد بازده کاربرد آب آبیاری در دوره اولیه و اوایل دوره میانی رشد در اغلب ارزیابی‌های انجام شده کم‌تر از ۳۰٪ بود ولی پس از آن و با توسعه عمق ریشه و افزایش نیاز آبی، بازده کاربرد به تدریج افزایش می‌یابد. عمده تلفات آب آبیاری ناشی از ضعف مدیریت آبیاری و به‌صورت تلفات نفوذ عمقی است. مصرف زیاد آب آبیاری به دلیل طولانی بودن مدت زمان آبیاری و کوتاه بودن فواصل آبیاری‌ها است. رطوبت‌های اولیه خاک به ویژه در اعماق پایین‌تر از ۳۰ سانتی‌متر در اغلب آبیاری‌های ارزیابی شده نزدیک به رطوبت ظرفیت زراعی و یا گاه بیش‌تر از آن بود. به نظر می‌رسد که

حال آبیاری یک نفر به‌طور مداوم در مزرعه حضور داشته باشد تا هر گونه ایراد احتمالی در حین آبیاری را رفع و یا گزارش نماید. با ایجاد فرهنگ مناسب برای استفاده مناسب از شبکه و سهم کردن پرسنل آبیاری در میزان نیشکر تولیدی و یا ایجاد رقابت در تولید، انگیزه کافی برای کاهش مصرف آب آبیاری صورت پذیرد.

هر دریچه در حال آبیاری و قطع به موقع آب در افزایش بازده آبیاری بسیار مؤثر است. از توصیه یک برنامه آبیاری برای کلیه کشت و صنعت‌ها و مزارع مختلف در یک کشت و صنعت باید پرهیز شود. نیاز آبی به شرایط اختصاصی هر مزرعه بستگی دارد و باید کلیه عوامل اثرگذار بر تخلیه رطوبتی خاک در نظر گرفته شده و در برنامه آبیاری به آن توجه شود. باید کلیه پیمانکاران آبیاری را موظف نمود در هر مزرعه در

منابع مورد استفاده

- بهبودی‌نسب م، ناظمی اح و صدرالدینی ع ا، ۱۳۸۷. ارزیابی سیستم آبیاری جویچه‌ای (مطالعه موردی مزارع کشت و صنعت نیشکر هفت تپه). مجموعه مقالات دومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، اهواز، ۱۰-۸ بهمن ماه، اهواز.
- رحمانی مر و بهداروندی ح، ۱۳۸۹. ارزیابی بازده‌های آبیاری در مزارع نیشکر شرکت کشت و صنعت کارون. مجموعه مقالات سومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، ۱۲-۱۰ اسفند ماه، اهواز.
- رضایی‌صدر ح و صابوری س، ۱۳۸۷. تأثیر مدیریت آبیاری بر روی بازده سیستم آبیاری نیشکر در اقلیم خوزستان. مجموعه مقالات دومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، ۱۰-۸ بهمن ماه، اهواز.
- شینی‌دشتگل ع، ناصری عع، کشکولی حع و برومندنسب س، ۱۳۹۱. مدیریت بهینه مصرف آب در اراضی نیشکر جنوب اهواز، مجله علوم و مهندسی آبیاری، دوره ۳۵، شماره ۴، صفحه‌های ۲۱ تا ۳۱.
- صادقی‌عطار م، بهنیا عک و کاوه ف، ۱۳۷۹. بازده کل آبیاری شبکه دز در سال زراعی ۷۳-۱۳۷۲. مجموعه مقالات دهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، ۲۶-۲۵ آبان ماه، تهران.
- کشکولی حع، برومندنسب س، معروف‌پور ع و اندام م، ۱۳۷۹. ارزیابی بازده‌های آبیاری در مزارع نیشکر هفت تپه. مجله علمی کشاورزی، جلد ۲۳، شماره ۱، صفحه‌های ۱ تا ۲۶.
- مصطفی زاده ب و موسوی ف، ۱۳۷۵. آبیاری سطحی (تئوری و عمل). انتشارات فرهنگ جامع، چاپ اول، صفحه‌های ۲۳۳-۱۴۸.
- معاضده، هوشمندع، جوزی م، جودی ف و بیات ا، ۱۳۸۷. بررسی رابطه بین حجم جریان و بار املاح موجود در زهاب اراضی کشاورزی کشت و صنعت امیرکبیر. مجموعه مقالات دومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، اهواز، ۱۰-۸ بهمن ماه، اهواز.
- معروف‌پور ع، ۱۳۷۶. ارزیابی بازده‌های آبیاری در مزارع شرکت کشت و صنعت نیشکر هفت‌تپه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران.
- ملوحی ح، بهزاد م، ناصری عع، ۱۳۸۵. بازده‌های کاربرد آب در دو حالت جویچه‌های بازسازی شده و بدون بازسازی در مزارع نیشکر. همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، اردیبهشت‌ماه ۱۳۸۵، دانشگاه شهید چمران اهواز.

نوری م، برومندنسب س و کشکولی ح، ۱۳۸۷. بررسی تأثیر شکل جویچه در بازده آبیاری و کارایی مصرف آب در مزارع نیشکر کشت و صنعت کارون. مجموعه مقالات دومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، ۸-۱۰ بهمن ماه، اهواز.

Holden JR, 1998. Irrigation of sugarcane. Bureau of Sugar Experiment Stations, Brisbane, Australia.

Izadi B, Studer D and Mccann I, 1991. Maximizing set-wide furrow irrigation application efficiency under full irrigation strategy. Transactions of the ASAE 34 (5): 2006-2014.

Mhlanga BFN, Ndlovub LS and Senzanje A, 2006. Impacts of irrigation return flows on the quality of the receiving waters: A case of sugarcane irrigated fields at the Royal Swaziland Sugar Corporation (RSSC) in the Mbuluzi River Basin (Swaziland). Physics and Chemistry of the Earth 31: 804-813.

New L, 1971. Influence of alternate furrow irrigation and time of application on grain sorghum production. Texas Agricultural State Program Report No 2953.

Perea-Estrada H, 2005. Development, verification, and evaluation of a solute transport model in surface irrigation. PhD Dissertation, University of Arizona.

Raine SR, Bakker D, 1996. Increased furrow irrigation efficiency through better design and management of cane fields. Pp. 119-124. Proceedings of Australian Society of Sugar Cane Technologists.

Turner NC, 1990. Plant water relations and Irrigation management. Agricultural Water Management 17: 59-73.