

تأثیر فشردگی خاک بستر جویچه و آرایش کاشت بر بهره‌وری آب در زراعت چغندر قند

The effect of within-furrow soil compaction and sowing pattern on water use efficiency of sugar beet

جواد بهمنش^{۱*} و امیر نوجو^۲

تاریخ دریافت: ۹۳/۹/۲۵؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۹/۴

ج. بهمنش و ا. نوجو. ۱۳۹۵. تأثیر فشردگی خاک بستر جویچه و آرایش کاشت بر بهره‌وری آب در زراعت چغندر قند. چغندر قند، ۳۲(۱): ۵۱-۶۲.
DOI:10.22092/jsb.2016.106110

چکیده

این پژوهش در استان آذربایجان غربی در دو سال زراعی ۱۳۸۸ و ۱۳۸۹ به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی اجرا شد. دو تیمار آرایش شامل: ۱- کاشت یک ردیف روی پشته با فاصله ردیف ۵۰ سانتی‌متر، ۲- کاشت دو ردیف روی پشته به فاصله ۴۰ سانتی‌متر و فاصله دو پشته ۵۰ سانتی‌متر (۴۰*۵۰)، در کرت‌های اصلی و چهار تیمار چگونگی فشردگی بستر شیار شامل: ۱- بدون فشردگی، ۲- ایجاد فشردگی در بستر شیار با یک نوبت غلطک‌زنی، ۳- دو نوبت غلطک‌زنی و ۴- سه نوبت غلطک‌زنی در کرت‌های فرعی قرار داده شد. فشردگی خاک بستر شیار روی عملکرد ریشه و شکر تأثیر معنی‌دار نداشت. اثر آرایش کاشت روی عملکرد ریشه و شکر چغندر قند در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. تغییر آرایش کاشت معمول منطقه (یک ردیفه ۵۰ سانتی-متر) به آرایش کاشت دو ردیفه ۴۰*۵۰ موجب افزایش ۱۵/۶ درصدی عملکرد ریشه، افزایش ۲۰/۷ درصدی عملکرد شکر ناخالص و کاهش ۲۴/۲ درصدی در مصرف آب گردید. غلطک‌زنی و ایجاد فشردگی خاک بستر شیار موجب صرفه‌جویی در مصرف آب شد به طوری که مقدار مصرف آب آبیاری در تیمار بدون غلطک ۱۴۰۸۰ مترمکعب در هکتار بود که با یک، دو و سه نوبت غلطک‌زنی به ترتیب ۱۰/۶، ۱۴/۹ و ۱۸/۸ درصد در مصرف آب صرفه‌جویی شد. تیمار آرایش کاشت دو ردیفه ۴۰*۵۰ و انجام دو نوبت غلطک‌زنی در زراعت چغندر قند به عنوان تیمار برتر در منطقه نرده، قابل توصیه بوده و اعمال این تیمار در روش آبیاری سطحی مصرف آب را ۳۴/۷ درصد کاهش خواهد داد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری جویچه‌ای، آرایش کاشت، بهره‌وری مصرف آب، چغندر قند، فشردگی بستر شیار

۱- دانشیار گروه مهندسی آب دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. * - نویسنده مسئول j.behmanesh@urmia.ac.ir

۲- دانشجوی دکترا گروه مهندسی آب دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

مقدمه

سیستم‌های آبیاری تحت فشار که بازده آبیاری قابل قبولی دارند، به علت هزینه بالای سرمایه‌گذاری و نیاز به بسترسازی فرهنگی جهت بهره‌برداری مناسب، توفیق نداشته و علیرغم توجه ویژه دولت و اختصاص منابع مالی فراوان، توسعه چندان نیافته است. تاکنون در حدود ۱۰ درصد اراضی آبی به این روش‌ها مجهز شده‌اند و ۹۰ درصد اراضی به روش‌های ثقلی آبیاری می‌شوند (Valizadeh *et al.* 2009). راندمان روش‌های آبیاری سطحی در ایران در حدود ۳۳ تا ۳۷ درصد گزارش شده است که در مقایسه با کشورهای توسعه یافته (حدود ۶۰ درصد) پایین بوده و مقدار قابل توجهی از منابع آبی کشور به هدر می‌رود (Esfandyarei 1998). با عنایت به این موارد، بهبود شیوه‌های سنتی آبیاری در راستای افزایش بازدهی آبیاری سطحی امری ضروری و غیر قابل اجتناب است. تحقیقات متعددی در رابطه با صرفه‌جویی در مصرف آب در آبیاری سطحی چغندرقد به انجام رسیده است. سپاسخواه (Sepaskhah 1986) روش جویچه‌ای یک در میان را برای افزایش راندمان آبیاری و کاهش مصرف آب در زراعت چغندرقد در شرایط بالا بودن سطح آب زیرزمینی، توصیه نمود. تحقیقات نورجو و همکاران (Nourjou *et al.* 2005) در خصوص تأثیر آرایش کاشت و آبیاری یک در میان متناوب روی خصوصیات کمی و کیفی چغندرقد و صرفه‌جویی در مصرف آب، نشان داد که در آبیاری یک‌درمیان جویچه‌هایی با فاصله ۵۰ سانتی‌متر، می‌توان به بیشترین کارایی مصرف آب دست یافت لیکن به علت مشکلات اعمال آبیاری یک‌درمیان، آرایش کاشت ۵۰×۴۰ را توصیه نمودند. در این تیمار که روی یک پشته دو ردیف گیاه به فاصله ۴۰ سانتی‌متر کاشته می‌شود و آبیاری گیاه فقط از یک سمت ریشه صورت می‌گیرد، عملکرد ریشه ۷۱/۷ تن در هکتار و مقدار مصرف آب ۱۰۵۹۹ مترمکعب در هکتار بود در حالی که در کاشت رایج منطقه (آرایش کاشت ۶۰ سانتی‌متر و آبیاری کامل شیارها) عملکرد ۶۸/۸ تن در هکتار

و مقدار آب مصرفی ۱۳۷۱۵ مترمکعب بوده است. بدین ترتیب در آرایش کاشت پیشنهادی، کارایی مصرف آب ۴۸ درصد افزایش یافت. تحقیقات ترابی و جهاداکبر (Torabi and Jahad Akbar 2005) نشان می‌دهد که بیشترین و کمترین مقدار آب مصرفی به میزان ۲۲۶۹۳ و ۱۵۳۰۰ مترمکعب در هکتار به ترتیب از تیمار کاشت یک ردیفه با فاصله خطوط کاشت ۵۰ سانتی‌متر و تیمار کاشت دو ردیفه ۶۰×۴۰ سانتی‌متر (فاصله خطوط کاشت در طرفین جویچه ۶۰ سانتی‌متر و فاصله خطوط کاشت روی پشته ۴۰ سانتی‌متر) است و بیشترین عملکرد ریشه به میزان ۴۵/۸۵ تن در هکتار از تیمار کاشت دو ردیفه ۵۰×۴۰ سانتی‌متر به دست آمد. در این تیمار عملکرد قندناخالص و قندقابل استحصال به ترتیب به میزان ۶/۸۸ و ۴/۷۸ تن در هکتار گزارش شد.

رضاوودی نژاد و نورجو (Rezaverdinejad and Nourjou 2014) بهینه‌سازی عملکرد آبیاری جویچه‌ای در شرایط تحکیم بستر شیار را توسط مدل آبیاری WinSRFR مورد ارزیابی قرار داده و اعلام نمودند که با تحکیم بستر شیار، میانگین کارایی مصرف آب در مزرعه چغندرقد تا ۱۷/۸ درصد افزایش می‌یابد. آلن و اشنايدر (Allen and Schnider 1992) تحکیم بستر شیار با تردد چرخ تراکتور و آبیاری موجی را از راهکارهای عملی برای کاهش تلفات نفوذ عمقی در اولین آبیاری معرفی کردند. تأثیر تراکم خاک با عبور چرخ تراکتور در آزمایشاتی که آن‌ها در خاک لوم رسی انجام دادند، موجب افزایش چگالی ظاهری خاک از یک به ۱/۴ گرم بر سانتی‌مترمکعب شده و تلفات نفوذ عمقی از ۱۸ تا ۲۷ درصد کاهش یافت. آزمایشات فورنستوم و همکاران (Fornstrom *et al.* 1985) نشان دادند که کاربرد وسیله مستحکم‌کننده در هر صورت در افزایش راندمان آبیاری و بهبود میزان پیشروی آب در شیار موفقیت‌آمیز بوده است. نتایج نشان داد مسافت پیشروی آب در فاروهای متراکم شده تقریباً ۴۰ درصد بیشتر بود. طبق گزارش خالد و اسمیت (Khalid and Smith 1978)، با تحکیم بستر شیار در خاک‌های شنی نفوذ آب

گزارش نمودند که این غلظک راندمان کاربرد آب را از ۴۵/۴ درصد در شیار معمولی به ۶۴ درصد افزایش می‌دهد. استان آذربایجان غربی با داشتن شرایط آب و هوایی مناسب و برخورداری از اراضی مستعد و با داشتن پنج کارخانه قند و احداث دو کارخانه جدید در آینده، می‌تواند قطب تولید چغندر قند در ایران باشد. هم‌اکنون این استان اولین تولید کننده چغندر قند از نظر عملکرد و دومین تولیدکننده چغندر قند در سطح کشور از نظر میزان تولید است. با توجه به نیاز آبی بالای چغندر قند در مقایسه با سایر محصولات رایج منطقه و آبیاری اکثر مزارع چغندر قند به وسیله سیستم آبیاری جویچه‌ای و با توجه به راندمان پایین آبیاری در این روش آبیاری، مصرف آب در مزارع چغندر قند استان بالا بوده و بهبود راندمان آبیاری و ارتقاء بهره‌وری مصرف آب در زراعت چغندر قند از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و گام مؤثری در کاهش مصرف آب به شمار می‌آید. این تحقیق در راستای افزایش راندمان آبیاری سطحی چغندر قند و بهبود بهره‌وری مصرف آب در تولید این محصول، انجام شده است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در منطقه نقده واقع در ۷۵ کیلومتری جنوب شهرستان ارومیه با عرض جغرافیایی $37^{\circ}03'$ و طول جغرافیایی $45^{\circ}25'$ و ارتفاع ۱۲۹۶ متر از سطح دریا در خاکی با بافت لوم رس سیلتی تا لوم رس (به طور متوسط ۳۸ درصد رس، ۴۵ درصد سیلت و ۱۷ درصد شن)، اسیدیته گل اشباع ۷/۵۵-۷/۷، شوری عصاره گل اشباع خاک ۱/۶ تا ۱/۹ دسی‌زیمنس بر متر و ظرفیت زراعی ۳۲/۷ درصد حجمی در دو سال زراعی ۱۳۸۸ و ۱۳۸۹ انجام شد. آزمایش در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار به صورت کرت‌های خرد شده با هشت تیمار اجرا گردید: کرت‌های اصلی شامل تیمارهای آرایش کاشت در دو سطح شامل: ۱- کاشت یک ردیفه با فاصله خطوط کاشت ۵۰ سانتی‌متر (A_1) و کاشت دو ردیفه، فاصله خطوط کاشت در

در خاک تا میزان ۴۰ درصد کاهش می‌یابد. تثبیت و کاهش زبری دیوار شیار موجب کاهش مقاومت جدار در مقابل جریان آب شده و سرعت پیشروی آب در شیار افزایش می‌یابد. تحقیقات بورلی و همکاران (Borrelli et al. 1982) نشان دادند که سرعت پیشروی جریان آب در شیار تثبیت شده، ۴۰ درصد بیش از شیار معمولی است. با در نظر گرفتن افزایش سرعت جریان آب در طول شیار و کاهش نفوذ آب در شیار تحکیم شده، فرصت نفوذ در طول یک شیار تقریباً یکسان شده و بدین ترتیب می‌توان انتظار داشت یکنواختی توزیع آب در شیار و راندمان آبیاری تا حد آبیاری بارانی، بهبود یابد. موسیک و همکاران (Musick et al. 1981) تأثیر تحکیم حاصل از تردد چرخ تراکتور در شیارها روی نفوذ آب در خاک را مورد بررسی قرار دادند. طبق این تحقیق، نفوذ آب در فصل آبیاری از ۱۲۳ میلی‌متر به ۸۲ میلی‌متر کاهش یافته و عمق آب زهکشی از ۲۹/۴ درصد به ۹/۱ درصد میزان آب آبیاری کاسته شد. تحکیم حاصل از عبور چرخهای تراکتور، میانگین جرم مخصوص ظاهری خاک خشک را از ۱/۲۶ به ۱/۶۲ تن در مترمکعب افزایش داد. کاهش نفوذپذیری بستر شیار روی عملکرد ذرت تأثیر معنی‌داری نگذاشت. با تحکیم ضربه‌ای خاک شیار در خاک‌های شنی با نفوذپذیری بالا، میزان نفوذ آب در اولین آبیاری ۴۰ درصد کاهش می‌یابد. هم‌چنین آنان اعلام نمودند که شخم مرسوم به عمق ۲۰ سانتی‌متر، اثر تحکیم شیار توسط چرخ تراکتور را از بین می‌برد. تحقیقات رین و شانون (Raine and Shannon 1996) نشان داد که استفاده از غلظک تحکیم بستر شیار موجب می‌شود در مصرف آب ۴۵ درصد صرفه‌جویی شده و سالانه ۲۱۸ دلار در هکتار برای زارعین و ۱/۴ میلیون دلار برای کارخانجات صنایع قند، سود به همراه داشته است. محمدی مزرعه و نورجو (Mohammadie Mazraeh and Nourjou 2004) غلظک تحکیم خاک بستر شیار با مشخصات قطر ۵۵ سانتی‌متر، عرض ۱۵ سانتی‌متر و وزنه ۲۵ کیلوگرم را جهت حصول حداکثر راندمان آبیاری در آبیاری جویچه‌ای را توصیه نموده و هم‌چنین

شمارش، شستشو و توزین جهت تعیین میزان قند به واحد عیارسنجی کارخانه ارسال گردید. عملکرد شکرناخالص از حاصلضرب عملکردریشه در درصد قند محاسبه گردید شاخص بهره‌وری مصرف آب از نسبت عملکرد شکر به آب مصرفی در مزرعه (بارندگی و آبیاری) محاسبه گردید (Wichelns 2014; Molden *et al.* 2010).

سیستم آبیاری در این تحقیق نشستی بوده و مقدار آب آبیاری بر اساس اندازه‌گیری وزنی رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه و جبران کمبود رطوبتی خاک تا حد ظرفیت زراعی مزرعه تعیین گردید. در مراحل اولیه رشد، عمق خاک جهت برآورد کمبود رطوبت خاک ۳۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد و در سایر مراحل رشد با حفر پروفیل نسبت به تعیین عمق توسعه ریشه اقدام گردید. برای تخمین مدت زمان آبیاری در هر تیمار حجم خالص آب موردنیاز در واحد طول جویچه در معادله نفوذ کوستیاکف-لوییس که ضرایب آن از طریق معادله موازنه حجمی و به روش دو نقطه‌ای محاسبه شده بودند، قرار داده شد (رابطه ۱) و از طریق سعی و خطا مقدار فرصت نفوذ لازم در انتهای جویچه تخمین زده شد. بدین ترتیب زمان آبیاری با اضافه نمودن زمان پیشروی به فرصت لازم برای نفوذ و کسر زمان پسروی برای هر تیمار محاسبه گردید. در جویچه‌هایی که زمان پسروی به هر دلیلی اندازه‌گیری نشد، زمان مذکور معادل ۱۰ دقیقه در نظر گرفته شد (Walker 2005).

$$T = \frac{V}{a} + t_0 \quad (1)$$

که در آن V حجم نفوذ تجمعی در واحد طول (مترمکعب بر متر)، T زمان (دقیقه)، a ، k و t_0 نفوذ پایه (m³/m/min) ضرایب ثابت معادله هستند.

رابطه پیشروی آب در شیار با زمان در داخل شیار با استفاده از رابطه توانی زیر محاسبه شد:

$$x = pt^r \quad (2)$$

طرفین جویچه ۵۰ سانتی‌متر و فاصله خطوط کاشت روی پشته ۴۰ سانتی‌متر (A₂) بوده و کرت‌های فرعی شامل تثبیت شیار با غلطک در نوبت‌های مختلف در چهار سطح: یک نوبت غلطک-زنی (B₁)، دو نوبت غلطک‌زنی (B₂)، سه نوبت غلطک‌زنی (B₃) و بدون غلطک زنی به عنوان تیمار شاهد (B₀)، بودند. نوبت اول غلطک‌زنی بعد از کاشت برای تیمارهای B₁، B₂ و B₃ انجام گرفت. دومین غلطک‌زنی بعد از آبیاری دوم (قبل از آبیاری سوم) و به محض گاو رو شدن مزرعه برای تیمارهای B₂ و B₃ صورت گرفت. سومین غلطک‌زنی بعد از آبیاری هفتم و در حالت گاو رو شدن مزرعه، فقط برای B₃ انجام شد. قطر غلطک ۵۵ سانتی‌متر و عرض آن ۱۵ سانتی‌متر انتخاب شد و از وزنه ۲۵ کیلوگرم برای تامین فشار لازم برای تحکیم بستر شیار استفاده شد (Mohammadi Mazraeh and Nourjou 2004). از بذر رقم منوژم ۷۷۳۳ ایرانی به میزان ۱۳ کیلوگرم در هکتار استفاده شد. فاصله بوته‌های روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر و طول کرت‌ها در حدود ۱۰۰ متر با عرض ۷/۲ متر بوده و کاشت توسط ردیفکار صورت گرفت. کلیه عملیات زراعی از جمله آبیاری، تنک، وجین، کولتیواتورزنی به منظور کنترل علف‌های هرز، سله‌شکنی و سمپاشی علیه آفات و بیماری‌ها، برای تمام تیمارها به‌طور یکسان انجام شد. نیاز کودی طبق نمونه‌برداری از خاک در عمق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی‌متری ۳۵ کیلوگرم فسفات آمونیوم و ۳۵ کیلوگرم پتاس و ۵۰ کیلوگرم کود اوره تعیین و قبل از کاشت به زمین داده شد. برای جلوگیری از صدمه آفات، سمپاشی بر علیه کک و سرخرطومی در اواسط تیرماه با سم دورسیان به مقدار دو در هزار انجام شد.

جهت نمونه‌گیری در هنگام برداشت دو ردیف سمت راست و چپ هر کرت به منظور حذف اثر حاشیه‌ای صرف نظر شده و از ردیف‌های وسط در قطعات ده متری یک در میان نمونه‌گیری شد. به منظور یکنواخت شدن نمونه‌ها از هر تیمار سه نمونه ده‌تایی از طول کرت‌های هر تیمار برداشت و پس از

که بر اساس چهار ساعت آزمایش در دو شیار معمولی و غلطک خورده تعیین شده بود، تغییرات چندانی نداشت و برای کل جویچه‌ها یکسان در نظر گرفته شد. ضریب زبری مانینگ برای آبیاری اول در شیاریهای معمولی ۰/۰۴ و در آبیاری‌های بعدی ۰/۰۳ و در شیاریهای غلطک خورده در کلیه آبیاری‌ها ۰/۰۳ در نظر گرفته شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه مرکب دو سال آزمایش (۱۳۸۸ و ۱۳۸۹) در جدول ۱ آورده شده است. چنانچه در جدول مشاهده می‌شود، تأثیر عامل سال روی عملکردیسه چغندر قند، عملکرد شکرناخالص و بهره‌وری مصرف آب در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است. عوامل محیطی مانند نور، میزان دی اکسید کربن، دما، رطوبت و غیره از سالی به سال دیگر متفاوت بوده و این عوامل روی عملکرد و سایر خصوصیات گیاه و محصول مؤثر هستند.

که در آن t زمان لازم (ساعت) برای رسیدن جبهه آب در شیار تا مسافت x (متر)، p و r ثابت‌های معادله مذکور هستند. برای تخمین ضرایب معادله نفوذ کوستاکف- لوئیس و رابطه پیشروی آب در شیار از روش دو نقطه‌ای الیوت و واکر (Elliott and Walker 1982) استفاده شد. ۸۰ متر از طول ۱۰۰ متری هر کرت با فواصل ده متری توسط میخ چوبی علامت‌گذاری شد و زمان پیشروی و رسیدن آب به هر میخ چوبی در نقاط تعیین شده، یادداشت گردید. زمان پیشروی (محو شدن آب از سطح خاک) نیز پس از قطع آبیاری یادداشت گردید و در نهایت زمان کل آبیاری با لحاظ نفوذ آب در انتهای شیار محاسبه گردید. با نصب دو عدد فلوم WSC در ابتدا و انتهای جویچه، میزان آب ورودی و خروجی اندازه‌گیری شد.

مشخصات مقطع شیاریهای معمولی و غلطک خورده با استفاده از مقطع سنج اندازه‌گیری شد و با رسم در محیط نرم‌افزار اتوکد تابع مساحت و عمق برآورد گردید. در این آزمایش سرعت نفوذ پایه از روش ورودی- خروجی تعیین گردید. سرعت نفوذ پایه

جدول ۱ جدول میانگین مربعات واریانس در تجزیه مرکب دو ساله آزمایش

میانگین مربعات						
منابع تغییر	درجه آزادی	عملکرد ریشه (تن در هکتار)	درصد قند	عملکرد شکر ناخالص (تن در هکتار)	بهره‌وری مصرف آب (بر مترمکعب)	بهره‌وری مصرف آب (برای عملکرد شکر (کیلوگرم بر مترمکعب))
Y سال	۱	۱۶۰۹/۹۶***	۱/۷۷ns	۶۰/۵۲***	۷/۵۸***	۰/۳۰***
R*Y (تکرار در سال)	۴	۵۳/۷۷ns	۰/۰۷ns	۱/۶۰ns	۰/۳۲ns	۰/۰۱ns
فاکتور A (آرایش کاشت)	۱	۵۸۴/۵۷***	۶/۶۰ns	۳۰/۵۶***	۲۵/۵۹***	۰/۹۹***
Y*A	۱	۵۴/۴۶ns	۰/۱۶ns	۲/۸۶ns	۱/۰۴*	۰/۰۵ns
خطا	۴	۹/۹۶	۱/۲۳	۱/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۱
فاکتور B (غلطک‌زنی)	۳	۱۰/۷۶ns	۱/۵۶ns	۰/۰۳ns	۰/۹۹***	۰/۰۵***
Y*B	۳	۲/۹۱ns	۱/۱۷ns	۰/۱۴ns	۴/۰۵ns	۰/۰۳ns
A*B	۳	۹/۴۴ns	ns/۱۷	۰/۳۰ns	۰/۰۴ns	۰/۰۰۱ns
Y*A*B	۳	۹/۵۷ns	۰/۲۶ns	۰/۲۶ns	۰/۰۵ns	۰/۰۰۳ns
خطا	۲۴	۲۱/۰۷	۰/۵۳	۰/۷۶	۰/۱۴	۰/۰۰۵
C.V		٪۹/۵۱	٪۴/۱۱	٪۱۰/۲۳	٪۹/۶۵	٪۱۰/۴۰

*، **، *** و ns به ترتیب وجود اختلاف معنی‌دار در سطح پنج، یک درصد و عدم وجود اختلاف معنی‌دار

می‌یابد. این نتیجه با تحقیقات نورجو و همکاران (2005) نیز تطابق دارد.

آرایش کاشت و غلظت‌زنی روی درصد قند ریشه تأثیر معنی‌دار نگذاشتند. ولی تاثیر آرایش کاشت بر شکر قابل استحصال در سطح یک درصد معنی‌دار شد طوری که در آرایش دو ردیفه شکر قابل استحصال ۹/۳۴ تن در هکتار و در آرایش یک ردیفه ۷/۷۴ تن در هکتار شد. بدین ترتیب می‌توان با تغییر آرایش کاشت یک ردیفه به دو ردیفه، میزان شکر قابل استحصال را ۲۰/۷ درصد افزایش داد. دفعات غلظت‌زنی و اثرات متقابل تیمارها روی شکر قابل استحصال تأثیر معنی‌دار نداشتند (جدول ۱ و ۲).

غلظت‌زنی (فاکتور B) و تعدد آن بر عملکرد ریشه تأثیر معنی‌دار نداشت. اثر تیمارهای آرایش کاشت (فاکتور A) بر عملکرد ریشه چغندر قند در سطح آماری یک درصد معنی‌دار شد. متوسط عملکرد ریشه چغندر قند در آرایش کاشت دو ردیفه ۴۰×۵۰ سانتی‌متر و یک ردیفه ۵۰ سانتی‌متر به ترتیب ۵۱/۷۴ و ۴۴/۷۶ تن در هکتار به دست آمد (جدول ۲). تغییر آرایش کاشت معمول منطقه (یک ردیفه ۵۰ سانتی‌متر) به آرایش کاشت دو ردیفه ۴۰×۵۰ سانتی‌متر به افزایش ۱۵/۶ درصدی عملکرد انجامید. ترابی و جهاد اکبر (2005) در تحقیقی اعلام کردند که عملکرد چغندر قند در منطقه اصفهان با انتخاب آرایش کاشت ۴۰×۵۰ سانتی‌متر از ۳۹/۳۰ تن در هکتار (در آرایش معمول ۵۰ سانتی‌متر) با ۱۶/۷ درصد بهبود به ۴۵/۸۵ تن در هکتار افزایش

جدول ۲ گروه‌بندی میانگین برخی صفات اندازه‌گیری شده و بهره‌وری آب در تیمارهای مختلف (۸۹-۱۳۸۸)

تیمار	مصرف آب (مترمکعب در هکتار)	عملکرد ریشه (تن در هکتار)	بهره‌وری آب مقدار تولید ریشه به ازای مصرف یک واحد آب (کیلوگرم در مترمکعب)	درصد قند ناخالص	عملکرد شکر (تن در هکتار)	بهره‌وری آب مقدار تولید قند به ازای مصرف یک واحد آب (کیلوگرم در مترمکعب)
آرایش کاشت						
یک ردیفه ۵۰ سانتی‌متر	۱۳۸۷۷	۴۴/۷۶b	۳/۲۳b	۱۷/۲۸a	۷/۷۴b	۰/۵۶ b
دو ردیفه ۴۰×۵۰	۱۱۰۵۸	۵۱/۷۴a	۴/۶۹a	۱۸/۰۲a	۹/۳۴a	۰/۸۵ a
غلظت‌زنی						
یک نوبت	۱۲۵۱۵	۴۸/۴۵a	۳/۹۵ab	۱۷/۶۶a	۸/۵۶a	۰/۷۰ a
دو نوبت	۱۱۸۶۷	۴۸/۱۲a	۴/۱۴a	۱۷/۷۸a	۸/۶۰a	۰/۷۴ a
سه نوبت	۱۱۴۱۰	۴۷/۰۶a	۴/۲۰a	۱۸/۱۱a	۸/۵۱a	۰/۷۶ a
بدون غلظت‌زنی	۱۴۰۸۰	۴۹/۳۶a	۳/۵۶b	۱۷/۱۶a	۸/۵۰a	۰/۶۱ b

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن ندارند.

نمود طوری که بهره‌وری مصرف آب در تیمار بدون غلظت ۳/۵۶ کیلوگرم ریشه به ازای یک مترمکعب آب مصرفی حداقل بوده و با افزایش تعداد غلظت‌زنی بر میزان آن افزوده شد، به طوری که

اثر آرایش کاشت و غلظت‌زنی بر بهره‌وری مصرف آب تولید ریشه چغندر قند در سطح آماری یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۱). غلظت‌زنی افزایش بهره‌وری مصرف آب را فراهم

مصرف آب تاثیر مثبت گذاشتند به طوری که با یک نوبت، دو نوبت و سه نوبت غلطک زنی، مقدار مصرف آب نسبت به تیمار بدون غلطک به ترتیب ۱۱/۱، ۱۵/۷ و ۱۹/۰ درصد کاهش یافت. در ترکیب تیمارها نیز بیشترین مصرف آب مربوط به آرایش یک ردیفه و بدون غلطک (۱۵۴۹۰ مترمکعب در هکتار) و کمترین آن مربوط به تیمار کاشت دو ردیفه با دو نوبت غلطک زنی (۱۰۵۰۰ متر مکعب در هکتار) بود.

مشخصات هندسی و هیدرولیکی جویچه‌ها در تیمارهای مختلف در اولین، سومین و هشتمین آبیاری به طور خلاصه در جدول ۳ آورده شده است. عوامل هندسی و هیدرولیکی مقطع و همچنین ضرایب معادله نفوذ در کلیه تیمارها و در نوبت‌های مختلف آبیاری (تغییرات زمانی) متفاوت از همدیگر هستند. برای این تفاوت‌ها می‌توان دلایل مختلفی نظیر تغییرات زمانی و مکانی نفوذپذیری و ضریب زبری و تأثیرپذیری آن از مراحل مختلف رشد گیاه، نحوه عملیات زراعی را نام برد که تاکنون رابطه یا فرمول خاصی برای تعیین آنها ارائه نشده است (Abbasi *et al.* 2009). بنا به باور رسول‌زاده و سپاسخواه (Rasoulzadeh and Sepaskhah 2003) خصوصیات نفوذ آب به داخل خاک ممکن است در مقادیر متفاوت سرعت جریان آب در جویچه، شکل هندسی مقطع جریان آب و حجم جریان ورودی تغییر نماید، از این رو ارائه یک معادله عمومی برای نفوذ بسیار مشکل بوده و مدیریت آبیاری جویچه‌ای را پیچیده‌تر می‌نماید.

در سه نوبت غلطک زنی، بهره‌وری مصرف آب به ۴/۲۰ کیلوگرم ریشه به ازای یک مترمکعب افزایش یافت. با انتخاب آرایش کاشت دو ردیفه بهره‌وری مصرف آب تولید شکر به طور معنی-داری (در سطح ۱٪) به میزان ۵۱/۴ درصد نسبت به آرایش کاشت یک ردیفه افزایش یافت. همچنین غلطک زنی موجب ارتقاء بهره‌وری مصرف آب به میزان ۱۱ الی ۱۸ درصد نسبت به تیمار بدون غلطک شد (جدول ۲). اثر غلطک زنی در نوبت اول بیشتر بوده و از اثر آن در غلطک زنی‌های بعدی کاسته شد زیرا در اولین غلطک زنی زبری جدار شیار به علت عملیات آماده‌سازی مزرعه بیشتر بوده وجود کلوخ‌ها و قطعات کنده شده از خاک‌ها نیز مزید علت بود. نظر به این است که پیشروی آب در شیار به علت افزایش ضریب زبری و همچنین افزایش میزان نفوذ به دلیل افزایش خلل و فرج، به شدت کاهش می‌یابد، با اولین آبیاری بستر شیار وضعیت آن از نظر ضریب زبری و سرعت پیشروی آب بهبود یافته و در آبیاری‌های بعدی تقریباً به وضعیت ثبات می‌رسد. در این میان بدیهی است که اولین غلطک زنی (قبل از اولین آبیاری) تأثیر بیشتری بر پارامترهای نفوذ و راندمان آبیاری در مقایسه با غلطک زنی‌های بعدی خواهد داشت.

تیمارهای منتخب میزان مصرف آب را تحت تأثیر قرار دادند. به طور متوسط مصرف آب با انتخاب آرایش دو ردیف کاشت روی یک پشته در مقایسه با آبیاری یک ردیفه به میزان ۲۰/۳ درصد کاهش یافت و از ۱۳۸۷۷ مترمکعب در هکتار به ۱۱۰۵۸ مترمکعب در هکتار رسید. دفعات غلطک زنی نیز بر کاهش

جدول ۳ مشخصات هندسی و هیدرولیکی جویچه‌ها در تیمارهای مختلف در اولین، سومین و هشتمین نوبت آبیاری

تیمارها								عوامل
A2B0	A2B3	A2B2	A2B1	A1B0	A1B3	A1B2	A1B1	
اولین آبیاری								دبی ورودی (l/s)
۰/۸۸	۰/۸۳	۰/۸۹	۰/۸۵	۰/۸۳	۰/۸۵	۰/۸۲	۰/۸۳	زمان قطع آبیاری (min)
۹۵	۷۰	۶۰	۷۵	۶۰	۵۰	۴۵	۵۰	ضرایب معادله نفوذ
۰/۴۵۶	۰/۶۶۳	۰/۷۷۶	۰/۶۳۶	۰/۲۳۶	۰/۴۲۲	۰/۴۵۹	۰/۴۳۵	a
۰/۰۰۲۴	۰/۰۰۱۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱۳	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۲۶	۰/۰۰۲۱	۰/۰۰۲۲	K
۰/۰۰۲۳	۰/۰۰۲۳	۰/۰۰۲۳	۰/۰۰۲۳	۰/۰۰۲۳	۰/۰۰۲۳	۰/۰۰۲۳	۰/۰۰۲۳	Fo(m ³ /m/min)
سومین آبیاری								دبی ورودی (l/s)
۰/۸۸	۰/۸۰	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۹۴	۰/۸۱	۰/۸۸	۰/۹۳	زمان قطع آبیاری (min)
۱۰۵	۴۵	۱۰۰	۴۰	۱۰۰	۴۵	۷۵	۵۰	ضرایب معادله نفوذ
۰/۱۷۲	۰/۲۰۲	۰/۱۷	۰/۳۹۴	۰/۱۷۵	۰/۲۴۲	۰/۳۳۳	۰/۱۴۷	a
۰/۰۰۳۵	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۳۹	۰/۰۰۱۹	۰/۰۰۴	۰/۰۰۳۵	۰/۰۰۳۳	۰/۰۰۴۹	K
۰/۰۰۰۲۳	۰/۰۰۰۲۳	۰/۰۰۰۲۳	۰/۰۰۰۲۳	۰/۰۰۰۲۳	۰/۰۰۰۲۳	۰/۰۰۰۲۳	۰/۰۰۰۲۳	Fo(m ³ /m/min)
هشتمین آبیاری								دبی ورودی (l/s)
۰/۷۲	۰/۷۱	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۶۴	۰/۶۹	۰/۶۹	۰/۶۵	زمان قطع آبیاری (min)
۱۰۰	۹۵	۱۰۵	۱۱۰	۱۴۵	۱۰۰	۱۵۰	۱۱۰	ضرایب معادله نفوذ
۰/۸۴۲	۰/۳۱۱	۰/۸۱۸	۰/۰۴۹	۰/۴۸	۰/۲۴۶	۰/۴۷۸	۰/۰۶۵	a
۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۲۲	۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۴۸	۰/۰۰۱۹	۰/۰۰۳۲	۰/۰۰۲۱	۰/۰۰۵۴	K
۰/۰۰۰۲۳	۰/۰۰۰۲۳	۰/۰۰۰۲۳	۰/۰۰۰۲۳	۰/۰۰۰۲۳	۰/۰۰۰۲۳	۰/۰۰۰۲۳	۰/۰۰۰۲۳	Fo(m ³ /m/min)

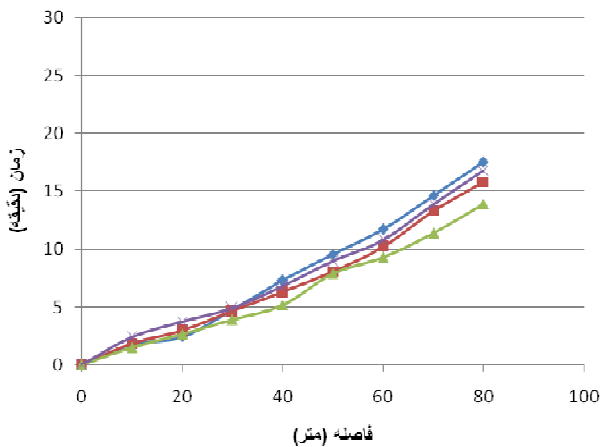
در این جدول A₁ کاشت یک ردیفه با فاصله خطوط کاشت ۵۰ سانتی‌متر، A₂ کاشت دو ردیفه، فاصله خطوط کاشت در طرفین جویچه ۵۰ سانتی‌متر و فاصله خطوط کاشت روی پشته ۴۰ سانتی‌متر، B₁ یک نوبت غلطک‌زنی، B₂ دو نوبت غلطک‌زنی، B₃ سه نوبت غلطک‌زنی و B₀ بدون غلطک‌زنی بعنوان تیمار شاهد هستند.

نشان دادند که مسافت پیشروی آب در فاروهای متراکم شده تقریباً ۴۰ درصد بیشتر از فاروهای معمولی است. بررسی منحنی‌های پیشروی آب در تیمارهای غلطک‌زنی در آبیاری اول (A₁B₁، A₁B₂ و A₁B₃) نشان می‌دهد که یک نوبت غلطک‌زنی در سه شیار متفاوت اثر تقریباً یکسانی در زمان رسیدن آب به انتهای شیار و سرعت پیشروی دارد و تقریباً بر هم منطبق هستند و تغییرات جزئی بین آنها ناشی از تفاوت در دبی ورودی، تغییرات

در اشکال ۱ تا ۳ نتایج پیشروی آب در شیارهای غلطک‌خورده با شیار غلطک‌نخورده به ترتیب در آبیاری‌های اول، سوم و هشتم مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهد که سرعت جریان آب در جویچه در شیارهای غلطک‌خورده بیشتر از شیار معمولی است و جبهه جریان آب زودتر به انتهای جویچه می‌رسد. در اولین آبیاری غلطک‌زنی سرعت پیشروی آب در جویچه را حدود ۳۰ درصد افزایش داد. این مهم به دلیل کاهش ضریب زبری جدار شیار و حذف کلوخه‌ها است. فورنستوم و همکاران (1985) نیز

دانست و در نتیجه غلطک‌زنی قبل از آبیاری اول تأثیر بیشتری در مقایسه با غلطک‌زنی‌های بعدی داشته است. علاوه بر این جریان آب طی دو نوبت آبیاری منجر به صاف شدن بستر و کاهش ضریب زبری شده و غیریکنواختی بستر جریان آب در طول شیار را کاهش می‌دهد و در نهایت اثرگذاری غلطک‌زنی‌های بعدی در مقایسه با غلطک‌زنی اول را به دنبال دارد.

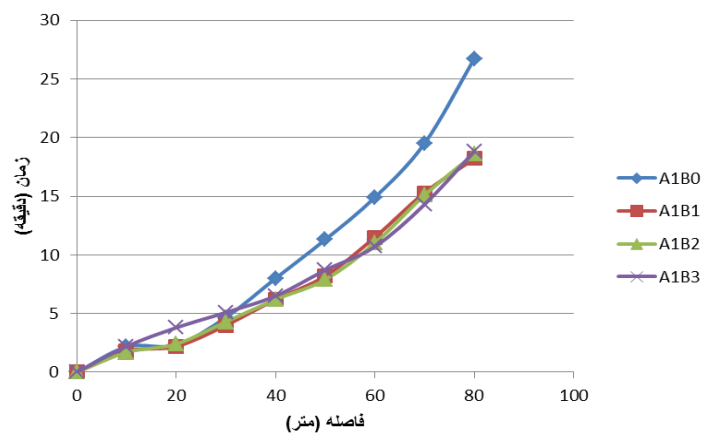
در شکل ۳ میرایی و تأثیر تکرار غلطک‌زنی را در آبیاری‌های بعدی می‌توان مشاهده نمود. تکرار غلطک‌زنی موجب افزایش سرعت پیشروی آب شده است. هم‌چنین زمان پیشروی آب در آبیاری هشتم در مقایسه با آبیاری سوم افزایش نشان می‌دهد که ممکن است ناشی از عریض شدن بستر جریان آب بر اثر آبیاری‌های قبلی و وجود برگ چغندر قند و علف‌های هرز در بستر شیار و تخریب فاروها به علت عملیات زراعی باشد.



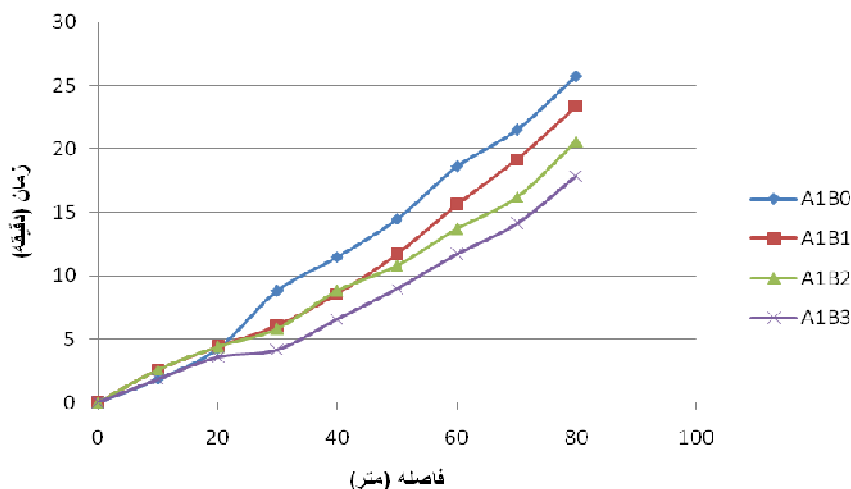
شکل ۳ تغییرات زمانی پیشروی آب در جویچه غلطک خوره و غلطک نخورده در آبیاری سوم

ضریب زبری، تغییرات جزئی شیب شیار و وجود درز و ترک در مسیر جریان آب و غیره می‌باشد.

در شکل ۲ پیشروی آب در آبیاری سوم مورد بررسی قرار گرفت. غلطک‌زنی قبل از آبیاری سوم در تیمارهای B2 و B3 برای دومین بار انجام شد (نوبت اول غلطک‌زنی قبل از آبیاری اول در تیمارهای B1، B2 و B3 انجام شده بود). منحنی پیشروی آب در تیمار B1 که فقط یک نوبت غلطک‌زنی قبل از آبیاری اول داشته است، نزدیک به منحنی پیشروی آب در تیمار بدون غلطک (B0) است که نشان از میرایی اثر غلطک‌زنی در شیار دارد. مقایسه شکل‌های ۱ و ۲ نشان می‌دهد که تأثیر دومین غلطک‌زنی در مقایسه با غلطک‌زنی اول کمتر است که علت آن را می‌توان در زبری بیشتر بستر شیار در عملیات تهیه زمین در فاروی تازه احداث شده، وجود کلوخ و ذرات درشت در کف فارو حاصل از عملیات آماده سازی بستر و کاشت بذر در آبیاری اول



شکل ۱ تغییرات زمانی پیشروی آب در جویچه غلطک خوره و غلطک نخورده در آبیاری اول



شکل ۳ تغییرات زمانی پیشروی آب در جویچه غلطک خوره و غلطک نخورده در آبیاری هشتم

۲۴/۶ درصد و بر اساس عملکرد ریشه به ترتیب ۱۰/۹، ۱۶/۳ و ۱۸ درصد بهبود یافت. به همین دلیل، انجام عملیات تحکیم بستر شیار برای بهبود کارایی آب آبیاری در زراعت چغندر قند پیشنهاد می‌گردد. غلطک‌زنی کاهش مصرف آب را به دنبال داشت. یک نوبت غلطک‌زنی مصرف آب را ۱۶۵۶ مترمکعب در هکتار در طول فصل زراعی کاهش داد. تکرار غلطک‌زنی نیز در کاهش مصرف آب مفید بود. بر این اساس، توصیه می‌شود قبل از اولین آبیاری به علت بهم ریختگی جویچه‌ها و عدم ثبات دیواره و بستر جویچه یک نوبت غلطک‌زنی صورت گیرد و در صورت امکان بعد از دومین و هفتمین آبیاری و هنگام گاورو شدن مزرعه نسبت به غلطک‌زنی‌های نوبت دوم و سوم اقدام شود. در نهایت آرایش کاشت دو ردیفه ۴۰×۵۰ سانتی‌متر و دو نوبت غلطک‌زنی در طول دوره رشد برای مزارع چغندر منطقه، قابل توصیه است.

به طور کلی چنین نتیجه‌گیری می‌شود که آرایش کاشت دو ردیفه بر عملکرد ریشه و قند قابل استحصال تأثیر معنی‌دار در سطح یک درصد داشت و به ترتیب موجب افزایش ۱۵/۶، ۲۰/۷ درصدی نسبت به کاشت یک ردیفه شد. هم‌چنین در کشت دو ردیفه مقدار مصرف آب ۲۰/۳ درصد کاهش یافت و بهره‌وری مصرف آب بر پایه تولید ریشه و شکر، به طور معنی‌داری (در سطح احتمال ۱٪) به ترتیب ۴۵/۲ و ۵۱/۸ درصد بهبود یافت. به همین دلیل، آرایش کاشت دو ردیفه ۴۰×۵۰ سانتی‌متر در منطقه قابل توصیه است. هم‌چنین غلطک‌زنی بستر نشتی در سیستم آبیاری سطحی بر اساس تعداد غلطک‌زنی (یک، دو و سه نوبت در طول فصل زراعی)، موجب کاهش مصرف آب و افزایش بهره‌وری مصرف آب شد. بهره‌وری مصرف آب بر پایه تولید شکر برای یک، دو و سه نوبت تحکیم بستر شیار، به ترتیب ۱۴/۷، ۲۱/۳ و

References:

Abbasi F, Joleine M, Tayfeh Rezaei H, Shoshtaree MM. Development of mathematical model for evaluation and design surface irrigation systems. Agricultural Engineering Research Institute. 2009.45 p. Final report No 122. (in Persian, abstract in English)

منابع مورد استفاده:

- Allen RR, Schnider AD. Furrow water intake reduction with surge irrigation or traffic compaction. *Applied Engineering in Agriculture*. 1992. 8(4):455-460.
- Borrelli J, Fornstrom KJ, Brosz DJ, Jackson GD. Sediment yield and its control from fann land in the Bitter Creek drainage at Powell. Final report submitted to State of Wyoming, Department of Environmental Quality, Cheyenne, Wyoming. 1982.
- Elliott RL, Walker WR. Field evaluation of furrow infiltration and advance functions. *Transaction of the ASAE*. 1982. 25(2):396-400.
- Esfandyarei, M. 1998. Improving water efficiency with laser leveling in farmland. *Proceedings of the Second Seminar on strategies to improve Surface irrigation systems*. karaj:202-207. (in Persian, abstract in English)
- Fornstrom KJ, Michel JA, Jr., Borrelli J, Jackson GD. Furrow firming for control of irrigation advance rates. *Transactions of the ASAE*. 1985. 28(2):529-536.
- Khalid M, Smith JL. Control of furrow infiltration by compaction. *Transaction of the ASAE*. 1978. 21(4):654-657.
- Mohammadi Mazraeh H, Nourjou A. Design and manufacture of planter furrow firm rollers for improvement irrigation parameters. West Azarbaijan Agricultural and Natural resources Research Center. 2004. 29 p. Final report No 83/310.(in Persian, abstract in English)
- Molden D, Oweis T, Steduto P, Bindraban P, Hanjra MA, Kijne J. Improving agricultural water productivity: Between optimism and caution. *Agricultural Water Manag*. 2010. 97: 528–553.
- Musick JT, Dusek DA, Schneider D. Deep tillage of irrigation pull man clay loam a long-term evaluation. *Transaction of the ASAE*. 1981. 24:1515–1519.
- Nourjou A, Mehdikhanee P, Bagaee kia M. Study of effects of sowing pattern and irrigation management on quantity and quality yield of sugar beet. *The 27th Iranian manufactures' of sugar beet seminars*. 2005. Mashhad- Iran. (in Persian, abstract in English)
- Raine SR, Shannon EL. Improving the efficiency and profitability of furrow irrigation for sugarcane production in Sugarcane. *Research Towards Efficient and Sustainable Production*. 1996. p211-2 (Eds JR Wilson, DM Hogarth, JA Campbell and AL Garside), CSIRO Division of Tropical Crops and Pastures, Brisbane.
- Rasoulzadeh A, Sepaskhah AR. Scaled infiltration equations for furrow irrigation. *Biosystem Engineering*. 2003.86(3):375-383.
- Rezaverdinejad V, Nourjou A. Optimization of Furrow Irrigation Performance using WinSRFR under Furrow Firming Conditions of Sugarbeet Cultivation. *Journal of Water and Soil*. 2014. 27(1):1281-1293.(in Persian, abstract in English)

- Sepaskhah AR. Deficit Irrigation by alternative furrow irrigation. Iranian National Committee on Irrigation and Drainage Ltd. 1986. 291-305.(in Persian)
- Torabi M, Jahad Akbar MR. The effect of furrow irrigation, single row and double row planting on water use efficiency, quantity, and quality of sugar beet yield. Journal of agricultural engineering research. 2005. 6(22):15-26. (in Persian, abstract in English)
- Valizadeh N, Dehghanee Sanej H, Zarehee G and Gorjee A. Prospects of development of pressurized irrigation systems in Iran. The 12th Congress of Iranian National Committee on Irrigation and Drainage. 2009. Paper No. 21.(in Persian)
- Walker WR. 2005. Multilevel calibration of furrow infiltration and roughness. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, 131(2): 129–136.
- Wichelns D. Do Estimates of Water Productivity Enhance Understanding of Farm-Level Water Management?. Water 2014. 2014. 6: 778-795.