تحقیقات مهندسی سازه های آبیاری و زهکشی /دوره۲٤/شماره ۹۲ /پاییز ۱٤۰۲/صفحه ۸۸ - ۱۰۵

نوع مقاله: پژوهشی

فاصله و عمق بهینهٔ لوله‌های فرعی سامانه‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در زراعت یونجه

سیدحسن موسوی‌فضل*

۱*- استادیار بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۲۹ تاریخ پذیرش : ۱۴۰۳/۰۱/۲۷

چکیده

به‌منظور بررسی اثر عمق نصب و فاصلهٔ نوارهای آبیاری (لوله‌های فرعی) در روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بر عملکرد و بهره‌وری آب در زراعت یونجه، پژوهشی در سال‌های ۱۳۹۹ و ۱٤۰۰ (به مدت دو سال) در مزرعه ایستگاه تحقیقات کشاورزی دامغان اجرا شد. طرح در قالب نوارهای خرد شده بر پایهٔ بلوک‌های کامل تصادفی با دو فاکتور و سه تکرار پیاده‌شد. فاکتورها شامل : ۱- فاصلهٔ نوارهای آبیاری در سه سطح (۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ سانتی‌متر) و ۲- عمق نصب نوارهای آبیاری در دو سطح (۳۰ و ٤۵ سانتی‌متر زیرسطح خاک) بودند. عمق نصب لوله‌ها به‌عنوان فاکتور اصلی و فاصلهٔ نوارها به‌عنوان فاکتور فرعی در نظر گرفته شد. طول هر کرت ٦۰ متر و عرض کرت‌ها برای فاصلهٔ لوله‌های ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ سانتی‌متر به‌ترتیب ٤، ۵ و ٦ متر انتخاب شد. لوله‌های فرعی از نوع قطره‌چکان‌دار به قطر ۲۰ میلی‌متر با آبدهی ۱/٦ لیتر در ساعت (برای هر قطره‌چکان) و با فاصلهٔ قطره‌چکان‌های ٦۰ سانتی‌متر انتخاب شد. لوله‌های آبیاری پس از آماده‌سازی زمین و کاشت بذر مطابق تیمارها به‌صورت مکانیزه در زیر خاک جاگذاری شدند. آب مورد نیاز گیاه با روش پنمن-مانتیث محاسبه و با دور آبیاری ٤ روز در اختیار گیاه قرار گرفت. نتایج تجزیهٔ مرکب داده‌ها نشان داد اثر فاصلهٔ لوله‌های فرعی بر عملکرد مادهٔ خشک و بهره‌وری آب (مجموع آب آبیاری و بارندگی مؤثر) در سطح یک درصد معنی‌دار است، اما اثر عمق نصب لوله‌ها بر عملکرد و بهره‌وری آب معنی‌دار نیست. اثر متقابل فاصله و عمق لوله‌های فرعی بر عملکرد و بهره‌وری آب معنی‌دار شد. بین عملکرد تیمارها با فاصلهٔ لترال ۸۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. اما با افزایش فاصلهٔ لترال‌ها از ۸۰ به ۱۲۰ سانتی‌متر، عملکرد کل ۲۳۰۳ کیلوگرم در هکتار کاهش یافت (۱۲ درصد). براساس تحلیل اقتصادی، فاصلهٔ ۱۰۰ سانتی‌متر برای لوله‌های فرعی در خاک‌ها با بافت متوسط به سنگین با صرفه است و کاهش عملکرد آن در مقایسه با تیمار ۸۰ سانتی‌متری قابل چشم پوششی است (۵٤۵ کیلوگرم در هکتار معادل ۳ درصد). با توجه به عملکرد تیمارها و هزینه‌های روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، تیمار با فاصلهٔ لترال‌های ۱۰۰ و عمق ٤۵ سانتی‌متر به‌عنوان تیمار برتر پیشنهاد شد. در این پژوهش فقط به موضوع فاصله و عمق نصب نوارها پرداخته شده است و مسایل شوری خاک، گرفتگی قطره چکان‌ها و خسارت جوندگان بررسی نشده است. برای بررسی این موارد لازم است پژوهش‌های تکمیلی در خصوص وضعیت تجمع نمک‌ها در پروفیل خاک، احتمال حرکت ریشه‌ها به سمت لوله‌ها و خطر گرفتگی در مدت زمان طولانی‌تر در برنامه‌ها گنجانده شود، تا بتوان با دقت و اطمینان بیشتری در مورد این روش آبیاری اظهار نظر کرد.

واژه‌های کلیدی: مدیریت آبیاری، بهره‌وری آب، آبیاری قطره‌ای، علوفه

مقدمه

یونجه گیاهی است چندساله با ریشه‌های قوی و عمودی که به علت طویل بودن ریشه، رطوبت اعماق خاک را به‌خوبی جذب و مدت زیادی در مقابل خشکی و گرما مقاومت می‌کند. ریشهٔ گیاه یونجه در شرایط مناسب گاهی تا ۷ متر به‌طور عمودی در خاک نفوذ می‌کند. سرعت رشد یونجه زیاد و در

نگارنده مسئول: **Email**: Hmousavifazl@yahoo.com

https://doi.org/10.22092/IDSER.2024.363549.1559

فصل اول رویش به ۵۰ تا ۶۰ سانتی‌متر می‌رسد و پس از یک سال تا ۱۰۰ سانتی‌متر رشد می‌کند. عمر مفید و اقتصادی گیاه یونجه در مواردی ۵ تا ۷ سال است. یونجه در خاک‌های خیلی مرطوب عملکرد خوبی ندارد زیرا ریشهٔ آن به اکسیژن زیادی نیاز دارد. خاک‌ها با زهکش ضعیف و تهویهٔ نامناسب برای گیاه یونجه مناسب نیستند (Attram Jeremiah et. al. 2016).

یونجه با روش‌های مختلف آبیاری می‌شود. برگ‌های یونجه به سوختگی ناشی از آب‌های بی‌کیفیت در روش آبیاری بارانی حساس است. عملکرد گیاه یونجه با ماندابی شدن حتی موقت سطح خاک در دوره‌های هوای گرم، کاهش می‌یابد. روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (SDI) می‌تواند به‌طور کامل از هر دو موضوع جلوگیری کند (Hengeller, 1995). روش‌های آبیاری قطره‌ای سطحی[1] و زیرسطحی[2] از روش‌های جایگزین روش‌های بارانی برای یونجه هستند.

براساس منابع موجود، سامانهٔ آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (SDI) بیشتر از ۳۰ سال است که در کالیفرنیا استفاده می‌شود. این روش برای اولین بار در محصولات یکسالهٔ ردیفی با ارزش به‌کارگرفته شد. با ساخت و توسعهٔ لوازم و تجهیزات سامانهٔ آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، استقبال از این روش افزایش یافت. این روش برای محصولات چندساله نیز استفاده شده است. تحقیقات زیادی توسط لام و همکاران (Lamm et al. 2007) در روش آبیاری زیرسطحی صورت گرفته است (Ayars et.al. 2015).

لام (Lamm, 2016) معتقد است نیاز آبی یونجه، نسبت به اکثر محصولات زراعی، بیشتراست. بنابراین سامانهٔ آبیاری کارآمدی مانند آبیاری قطره‌ای زیرسطحی می‌تواند در تولید و مصرف بهینهٔ آب برای این محصول نقش مهمی داشته باشد.

این روش، نسبت به دیگر روش‌های آبیاری، می‌تواند عملکرد و کیفیت محصول را افزایش دهد. اما یکی از مخاطرات این روش، آثار تخریبی جوندگانی مانند موش است. بیشترین پژوهش‌ها در مورد روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در کالیفرنیای امریکا بوده است (Hutmacher et al. 1996؛ Kandelous et al. 2012). بزرگترین مشکل در تولید یونجه در درهٔ امپریال کالیفرنیا، سوختگی در قسمت طوقهٔ گیاه در روش آبیاری سطحی به علت گرمای زیاد هواست که در هنگام آبیاری در روزهای تابستان ایجاد می‌شود. بررسی‌ها نشان داده است این مشکل با استفاده از روش آبیاری زیرسطحی کاهش می‌یابد. در روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در این منطقه برای لوله‌های فرعی از نوارهای تیپ استفاده می‌شود. این لوله‌ها دارای قطره‌چکان‌هایی به فاصلهٔ ۳۰ سانتی‌متر در داخل لوله با آبدهی ۱ لیتر در ساعت و فشار کاری ۰/۵ تا ۰/۷ بار هستند. این لوله‌ها در عمق ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متر در زیر سطح خاک و به فاصلهٔ ۰/۷۵ تا ۱/۵ متر از همدیگر قرار می‌گیرند. نتایج پژوهش‌ها نشان داده است که در روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی عملکرد افزایش و مصرف آب کاهش می‌یابد (Lamm et.al. 2007).

در روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، لوله‌های آبده و قطره‌چکان‌ها در زیرسطح خاک قرار می‌گیرند و آب و عناصر غذایی را به طور مستقیم در ناحیهٔ ریشه در اختیار گیاه قرار می‌دهند. این روش برای محصولات باغی و زراعی (پسته، انگور، زیتون، خرما، مرکبات و درختان سیاه ریشه، سیب‌زمینی، ذرت، پنبه و یونجه) کاربرد دارد (Shufang et al. 2018). در این روش، چون سطح خاک اطراف گیاه خشک می‌ماند، شیوع بیماری‌های قارچی مرتبط با با رطوبت خاک زیر سطح سایه انداز گیاه، کاهش می‌یابد (Lamm et.al. 2007). در آبیاری

1 - Drip Irrigation (DI)

2 - Subsurface Drip Irrigation (SDI)

زیرسطحی، لوله‌ها و قطره چکان‌ها در معرض تابش آفتاب و آسیب‌دیدگی‌های مکانیکی قرار ندارند و از این رو، در مقایسه با آبیاری قطره‌ای سطحی عمر بیشتری دارند. در این روش، پیاز رطوبتی خاک کروی‌شکل است، اما در روش قطره‌ای سطحی پیاز رطوبتی به حالت نیم‌دایره است. به همین‌دلیل گیاه ۳۰ تا۴۰ درصد بیشتر به آب دسترسی دارد (Lamm et.al. 2007). در این روش چون قطره‌چکان‌ها مواد شیمیایی را مستقیم در اختیار ریشهٔ گیاه قرار می‌دهند، علف‌کش‌ها کمترین تماس را با سطح خاک دارند، به‌همین دلیل آلودگی‌های ناشی از آنها به‌حداقل می‌رسد (Shufang et al. 2018). در روش آبیاری زیرسطحی قطره‌چکان‌ها در زیر زمین نصب می‌شوند و از این رو تبخیر از اطراف آنها وجود ندارد. این عامل سبب جلوگیری از تجمع نمک‌ها و بی‌کربنات‌ها در اطراف آنها می‌شود (Lamm et.al. 2007).

در روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، هزینه‌های لوله‌گذاری، که متناسب است با فاصله لوله‌های فرعی، ۳۳ تا ۶۰ درصد هزینه‌های خرید لوازم و نصب سامانه را شامل می‌شود. فاصلهٔ لوله‌های فرعی مستقیماً بر هزینه‌های سامانه تاثیر زیادی دارد. انتخاب فاصلهٔ زیاد برای لوله‌های فرعی ممکن است باعث شود آب و مواد غذایی کافی در اختیار گیاه قرار نگیرد، در نتیجه عملکرد محصول کاهش یابد. بنابراین، برای دستیابی به بازده بهینه در این روش، باید بین سرمایه‌گذاری‌های سامانهٔ آبیاری و کاهش عملکرد توازن برقرار کرد (Darrell et. al. 2013). چنانچه در روش آبیاری زیرسطحی عمق نصب لوله‌ها و فاصلهٔ بین آنها به‌طور مناسب تعیین و انتخاب شود، می‌تواند عملکرد محصول و کارآیی مصرف آب را به‌شکلی چشمگیر افزایش دهد (Finger et.al. 2015).

در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، ابعاد جبههٔ رطوبتی و نحوهٔ توزیع رطوبت در خاک دو فاکتور مهم در تعیین عمق و فاصلهٔ مناسب برای دستیابی به توزیع بهینهٔ رطوبت در ناحیهٔ ریشهٔ گیاه است. از این‌رو، تعیین عمق و فاصلهٔ نصب لترال‌ها (لوله‌های فرعی) از مهم‌ترین عوامل مؤثر برای تأمین نیاز آبی گیاه است که سبب موفقیت سامانهٔ آبیاری قطره‌ای زیرسطحی می‌شود (Elmaloglou et.al. 2009). عمق مناسب برای لوله‌های فرعی در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی براساس عواملی مانند خواص فیزیکی خاک، آب مصرفی و عمق ریشه‌ها تعیین می‌شود. تحقیقات نشان داده است که عملکرد محصول، وقتی لوله‌ها در عمق‌های مختلف نصب می‌شوند، به‌طور قابل توجهی تفاوت دارد (Santos et. al. 2014).

پستانداران حفرکننده (عمدتا از خانوادهٔ جوندگان) می‌توانند باعث پارگی لوله‌ها و نشت گستردهٔ آب در مزارع یونجه در روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی شوند (Lamm, 2016). قرار دادن لوله‌های فرعی در عمق بیشتر از ۴۵ سانتی‌متر، یکی از راه‌های کاهش خسارت پستانداران جونده است. از آنجایی‌که یونجه محصولی با ریشهٔ بسیار عمیق است، نصب لوله‌های آبده در عمق بیشتر ممکن است در کاهش خسارت این جانوران مفید باشد. پژوهشی در دانشگاه ایالتی کانزاس که در آن لوله‌های آبده در عمق ۵۰ سانتی‌متر نصب شدند نشان داده است خسارت جوندگان کمتر است (Lamm, 2016).

عمق و فاصلهٔ بهینهٔ لوله‌های فرعی در روش آبیاری زیرسطحی برای عملکرد مناسب یونجه به‌ترتیب ۴۰ سانتی‌متر و ۱۵۰- ۱۰۰ سانتی‌متر توصیه شده است (Kazumba et. al. 2010). کاندولوس و همکاران (Kandelous et al. 2012) عمق نصب لوله‌ها را براساس نوع گیاه و جنس خاک ۲۰ تا ۷۰ سانتی‌متر و فاصلهٔ لوله‌ها ۴۰ تا ۳۰۰ سانتی‌متر پیشنهاد کرده‌اند.

در پژوهشی در ایالت کانزاس امریکا، امکان استفاده از آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در زراعت یونجه در خاک لوم بررسی شد. آزمایش دارای دو فاکتور بود: ۱- فواصل نوارهای آبیاری (۱۵۰، ۱۰۰ و ۷۵ سانتی‌متر) ۲- عمق قرار گرفتن

لوله‌ها (۴۵ و ۳۰ سانتی‌متر). در نزدیکی این مزرعه، پلاتی با روش سنترپیوت برای مقایسه نیز در نظر گرفته شد. تیمارها با فاصلهٔ نوار آبیاری ۱۵۰ سانتی‌متر بر سبز شدن بذر و عملکرد محصول تأثیر منفی داشت. عمق قرارگیری نوارهای آبیاری (۴۵ و ۳۰ سانتی متر)، هیچ تاثیری بر عملکرد محصول نداشت (Mahbub Alam et al. 2002).

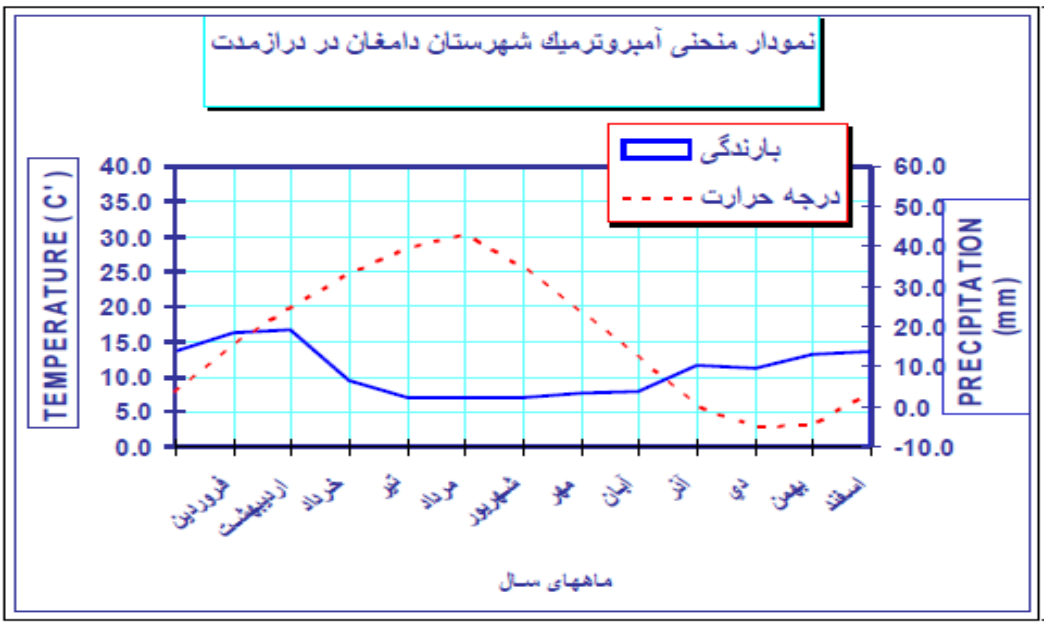
موسوی و همکاران (Mousavi et al. 2014) در پژوهشی اثر کیفیت آب آبیاری، عمق و فاصلهٔ نصب لوله‌های فرعی (لترال‌ها) را در روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بر شاخص-های عملکردی چمن، در دانشگاه شهرکرد بررسی کردند. تیمارها شامل دو کیفیت آب آبیاری (چاه و پساب تصفیه شده)، دو فاصلهٔ نصب (۴۵ و ۶۰ سانتی‌متر) و چهار عمق کارگذاری لوله‌ها (۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ سانتی‌متر از سطح خاک) بودند. در این پژوهش ارتفاع گیاه، مادهٔ خشک، رنگ، تراکم و یکنواختی رشد چمن در سراسر فصل اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد اثر متقابل کیفیت آب، فاصله و عمق نصب لوله‌های فرعی (آبده) بر ارتفاع، مادهٔ خشک و یکنواختی رشد چمن معنی‌دار است. آبیاری با پساب، در مقایسه با آب چاه، منجر به حصول عملکرد بالاتری در پارامترهای ارتفاع و مادهٔ خشک شد. اثر متقابل فاصله و عمق نصب لوله‌های آبده بر تراکم چمن معنی‌دار شد. افزایش عمق و فاصلهٔ نصب لوله‌های آبده موجب کاهش کیفیت بصری و عملکرد چمن شد.

روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در کشور ما نیز برای محصولات زراعی به‌دلیل وجود ابهامات و برخی نقاط تاریک و نامشخص در خصوص کارآمدی آن (گرفتگی خروجی‌ها، تجمع نمک، خطر انسداد لوله‌ها توسط ریشه) توسعه نیافته است. این نگرانی‌ها می‌طلبد پیش از هرگونه توسعهٔ این روش برای محصولات مختلف، پژوهش‌های لازم صورت پذیرد. بنابراین، پرداختن به هرگونه پژوهش در خصوص کارآیی این روش برای یونجه، که یک گیاه ارزشمند علوفه‌ای و اما پرمصرف از نظر آب است، ضروری خواهد بود. پژوهشی که مقالهٔ حاضر برگرفته از نتایج آن است، با هدف بررسی اثر روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بر عملکرد، حجم آب کاربردی یونجه و تعیین فاصله و عمق مناسب لوله‌های فرعی اجرا شده است.

مواد و روش‌ها

مشخصات منطقهٔ مطالعاتی

محل اجرای طرح زمین‌های ایستگاه تحقیقات کشاورزی دامغان با متوسط بارش سالیانهٔ ۱۰۲ میلی‌متر انتخاب شد. براساس آمار، دما و رسم منحنی آمبروترمیک، دورهٔ خشک از اوایل اردیبهشت شروع و تا نیمهٔ آبان ماه ادامه دارد. بقیهٔ ماه‌های سال جزء دورهٔ مرطوب منطقه محسوب می‌گردد. اقلیم منطقه مطابق طبقه‌بندی آمبروژه خشک و سرد است. شکل ۱، منحنی آمبروترمیک را برای شهرستان دامغان در دراز مدت نشان می‌دهد (Gharib, M, and Hosseini, A. 2018).



شکل ۱- منحنی آمبروترمیک شهرستان دامغان

Fig. 1. Ambrothermic curve of Damghan

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و آب آبیاری

برای تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، پیش از مراحل آماده سازی زمین از عمق‌های (۳۰-۰) و (۶۰-۳۰) سانتی‌متر نمونه‌گیری شد. نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل گردید و بعد از خشک کردن و خرد کردن آنها، با عبور دادن از الک ۲ میلی‌متری، بافت خاک با استفاده از روش هیدرومتری تعیین شد. وزن مخصوص ظاهری خاک با روش پارافین (نمونه‌های دست نخورده) و مقدار رطوبت در حد ظرفیت زراعی و نقطهٔ پژمردگی با استفاده از صفحات فشاری در مکش‌های۰/۳ و ۱۵ بار تعیین شد. قلیائیت و شوری عصارهٔ اشباع خاک با روش گل‌اشباع اندازه‌گیری شد. فسفر خاک به روش اسپکتروفتومتر و نیتروژن کل خاک به روش کجلدال تعیین شد. جدول ۱ خصوصیات فیزیکو _ شیمیایی خاک مزرعهٔ آزمایشی را نشان می‌دهد. آب آبیاری این پژوهش از چاه متعلق به اراضی تحقیقات کشاورزی دامغان تأمین شد. ویژگی‌ها شیمیایی آب آبیاری در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول۱- خصوصیات فیزیکی _ شیمیایی خاک مزرعه

Table 1. Physical and chemical properties of soil

Sand	Silt	Clay	OC	T.N.V	EC	pH	**پارامتر** parameter
	(درصد)				**(دسی زیمنس برمتر)**		
۳۹	۳۸	۲۳	۰/۴۶	۲۱	۴/۳	۸/۱	
	$SO4^{2-}$	$CO3^{2-}$	$HCO3^{-}$	Cl^{-}	$Ca^{2+}+Mg^{2+}$	Na^{+}	
	(میلی‌اکی‌والانت بر لیتر)						
	۱۰/۹	-	۴/۹	۲۸/۱	۲۲/۱	۱۶/۲	

جدول۲- خصوصیات شیمیایی آب

Table 2. Chemical properties of water

هدایت الکتریکی (میکروموس برسانتی‌متر) Electrical conduction	pH	کاتیون‌ها (میلی اکی والان بر لیتر)				آنیون‌ها (میلی اکی والان بر لیتر)		SAR
		Ca+Mg	Na^+	K^+	Cl^-	$SO4^-$	$HCO3^- + CO3^{2-}$	
۲۰۵۰	۷/۵	۱۰/۸	۹/۶۲	-	۱۴	۷/۶۲	۴	۲/۹۳

روش اجرای پژوهش

این پژوهش در مزرعهٔ ایستگاه تحقیقات کشاورزی دامغان در سال‌های زراعی ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ (به مدت دو سال) اجرا شد. طرح در قالب نوارهای خرد شده بر پایهٔ بلوک‌های کامل تصادفی با دو فاکتور و چهار تکرار پیاده شد. فاکتورها شامل: ۱- فاصلهٔ لوله‌های فرعی (لترال‌ها) از همدیگر در سه سطح (۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ سانتی‌متر) ۲- عمق نصب لوله‌های فرعی در دو سطح ۳۰ و ۴۵ سانتی‌متر زیرسطح خاک) بود. عمق نصب لوله‌ها فاکتور اصلی و فاصله لوله‌ها فاکتور فرعی درنظرگرفته شد.

برای اجرای این پژوهش، قطعه زمینی به طول ۶۰ و عرض ۱۲۰ متر انتخاب شد؛ طول لوله‌های فرعی ۶۰ متر در نظر گرفته شد. تیمارها و تکرارها در داخل این قطعه زمین قرار گرفتند. طول هر کرت آزمایشی ۶۰ متر و عرض کرت‌ها برای فواصل لوله‌های ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ سانتی‌متر به‌ترتیب ۴، ۵ و ۶ متر انتخاب شد (در داخل هر کرت ۵ خط لوله فرعی جاگذاری شد). در این پژوهش، ۲۴ کرت آزمایشی با عرض ۴، ۵ و ۶ در طول ۶۰ متر وجود داشت (تیمار و تکرار). نمونه-برداری‌ها از محصول در زمان انجام پژوهش از ۳ خط (لوله فرعی) وسط هرکرت و در سه نقطه از طول ۶۰ متر صورت گرفت. لوله‌های فرعی از نوع لوله‌های قطره‌چکان‌دار به قطر ۲۰ میلی‌متر با آبدهی ۱/۶ لیتر در ساعت و با فاصلهٔ هر قطره چکان ۶۰ سانتی‌متر انتخاب شد. لوله‌های زیرسطحی پس از آماده سازی زمین و کاشت بذر در دو عمق ۳۰ و ۴۵ سانتی‌متر مطابق تیمارها با استفاده از دستگاه (ساخته شده برای همین پروژه) قرار گرفتند.

بذر یونجه با هدف تولید علوفه و با فاصلهٔ ردیف ۲۰ سانتی‌متر به صورت مکانیزه کاشته شد. برای جلوگیری از تلفات آب و برای سبز شدن بذرها و استقرار کامل گیاه، آبیاری‌های اول و دوم با سامانهٔ آبیاری نواری تیپ از سطح خاک صورت گرفت. پس از استقرار کامل گیاه، آبیاری با سامانه زیرسطحی و مطابق تیمارها ادامه داده شد. آب آبیاری با روش پنمن- مانتیث محاسبه و با دور آبیاری ۴ روز در اختیار گیاه قرار گرفت (علیزاده، ۱۳۸۵). آب مورد نیاز گیاه از روش پنمن- مانتیث و براساس آمار روزانهٔ هواشناسی (ایستگاه هواشناسی مستقر در اراضی مرکز)، و با استفاده از رابطهٔ ۱ محاسبه شد (Alizadeh, 2015).

$$U_d = ET_o . K_c \quad (۱)$$

در این رابطه :

Ud = نیاز آبی روزانه گیاه (میلی‌متر بر روز)،

ETo = تبخیر و تعرق مرجع (میلی‌متر بر روز)، و

Kc = ضریب گیاهی است.

میزان متوسط تعرق روزانهٔ گیاه در روش آبیاری قطره‌ای از رابطهٔ ۲ محاسبه شد (Alizadeh, 2015).

$$T_d = U_d.\left[\frac{P_s}{100} + .15\left(1 - \frac{P_s}{100}\right)\right] \quad (۲)$$

در این رابطه:

Td = متوسط تعرق روزانه گیاه،

Ud= متوسط آب مصرفی روزانه گیاه، و

Ps= سطح سایه‌انداز گیاه است.

سطح سایه‌انداز گیاه (یا پوشش گیاه) در زمان‌های مختلف در سراسر فصل تعیین شد. عمق ناخالص آبیاری از رابطهٔ ۳ محاسبه شد.

$$I_g = \frac{T_d}{E} = \frac{T_d}{0.90} \quad (۳)$$

مقدار آب مورد نیاز هر بوته از رابطهٔ ۴ محاسبه شد :

$$G = I_g \times S_p \times S_r \quad (۴)$$

در این رابطه :

SP و Sr به‌ترتیب فاصلهٔ بوته‌ها روی ردیف و فاصلهٔ ردیف‌ها (متر)، G حجم آب (لیتر)، و Ig عمق ناخالص آب آبیاری (میلی‌متر) است.

عملکرد محصول در هر برداشت و در هر فصل زراعی اندازه‌گیری شد. پس از پایان پژوهش، نتایج تجزیه و تحلیل آماری شد. پس از تجزیه و تحلیل نتایج، حجم و بهره‌وری آب آبیاری در تیمارهای مختلف تعیین شد.

مشخصات لوله‌های فرعی

لوله‌های فرعی مورد استفاده در این پژوهش، از نوع قطره-چکان‌دار به قطر ۲۰ میلی‌متر با آبدهی ۱/۶ لیتر در ساعت و با فاصله قطره چکان‌های ۶۰ سانتی‌متر انتخاب شد. ضخامت این لوله‌ها ۰/۶۰ میلی‌متر و دامنه فشار کاری آن‌ها برابر ۱/۸-۱ بار بود. برای جلوگیری از ورود ذرات خاک و گرفتگی خروجی‌ها، قطره‌چکان‌های استفاده شده در این لوله‌ها از نوع آنتی‌سیفون انتخاب شدند.

کارگذاری لوله‌های فرعی در زیر سطح خاک

برای جاگذاری لوله‌ها، از یک دستگاه زیرشکن استفاده شد. تیغه‌های زیرشکن برای نصب لوله‌ها در عمق، تا ۵۰ سانتی‌متر، و فاصلهٔ دلخواه طراحی و ساخته شد. دستگاه به-طور مکانیزه پس از کاشت بذر، دو ردیف لوله را در هر بار حرکت تراکتور در عمق و فاصلهٔ دلخواه نصب می‌کرد.

مقایسهٔ تیمارهای آبیاری با روش آبیاری سنتی

برای مقایسه تیمارهای آبیاری در این پژوهش با روش آبیاری سنتی رایج و مدیریت کشاورزان، قطعه زمینی در مجاورت مزرعهٔ آزمایشی به ابعاد ۸۰ ×۳۰ متر مربع با مدیریت کشاورز به‌عنوان شاهد، (مدیریت آبیاری معمول منطقه) در سراسر سال‌های اجرای پژوهش در نظر گرفته شد. در این قطعه زمین، بدون دخالت در برنامهٔ آبیاری، حجم آب آبیاری و عملکرد محصول مانند دیگر تیمارها اندازه‌گیری و داده‌های مربوط جمع‌آوری شد.

بهره‌وری فیزیکی آب

یکی از شاخص‌های بهره‌وری آب کشاورزی، شاخص بهره‌وری فیزیکی است که از نسبت عملکرد محصول به حجم آب کاربردی (مجموع حجم آب آبیاری و بارندگی موثر) به‌دست می‌آید. شاخص بهره‌وری آب در تولید محصول از رابطهٔ (۵) محاسبه شد (Van Halsema & Vincent, 2012).

$$WPp = \frac{\mathrm{Y}}{\mathrm{I} + \mathrm{P}} \quad (۵)$$

در این رابطه:

WPp = بهره‌وری فیزیکی آب (کیلوگرم بر متر مکعب)،

Y= عملکرد خشک محصول (کیلوگرم در هکتار)،

I = حجم آب آبیاری (متر مکعب در هکتار)، و

P = بارندگی موثر (متر مکعب در هکتار) است.

تحلیل اقتصادی پروژه

علاوه بر بهره‌وری فیزیکی، بهره‌وری اقتصادی نیز با استفاده از رابطهٔ ۶ محاسبه شد. شاخص بهره‌وری فیزیکی، نسبت مقدار محصول تولید شده به حجم آب کاربردی، ممکن است برای محصولی بزرگ‌تر از محصولی دیگر باشد، اما این امر دلیلی بر سود اقتصادی بیشتر آن محصول نیست. بنابراین شاخص بهره‌وری اقتصادی برای محصول، شاخصی دقیق‌تر و توانمندتری است (Van Halsema & Vincent, 2012).

$$WPe = \frac{VA}{I + P} \qquad (۶)$$

در این رابطه:

WPe = بهره‌وری اقتصادی آب (ریال به ازای هر متر مکعب در هکتار)،

I = حجم آب آبیاری (متر مکعب در هکتار)،

P = بارندگی موثر (متر مکعب در هکتار)، و

VA= سود ناخالص (ریال در هکتار) است.

برای محاسبه سود ناخالص، هزینه‌های پرداخت شده برای نهاده‌های کشاورزی مانند کود، سم و ادوات، نیروی کار و مقدار آب از درآمد ناشی از تولید محصول کسر می‌شود (Malareza Gassab, et al 2019).

برای تجزیه و تحلیل اقتصادی پروژه از روش هزینه – فایده[1] استفاده شد. تجزیه و تحلیل این روش عبارت است از محاسبهٔ درآمدها و مقایسهٔ آنها با هزینه‌های پروژه. در این روش، نتایج تجزیه و تحلیل به صورت دورهٔ بازپرداخت بیان می‌شوند. یعنی مدت زمانی که این درآمدها نیاز دارند تا هزینه‌های‌شان را بازگردانند.

ارزش حال خالص[2] (NPV)

ارزش حال خالص معیاری است که با توجه به نرخ سود، ارزش فعلی خالص پروژه ها را محاسبه می‌کند. اگر این مقدار مثبت باشد، طرح اقتصادی است. ارزش حال خالص از رابطهٔ (۷) محاسبه شد.

$$NPV = \sum \frac{B_i - C_i}{(1 + r)^i} \qquad (۷)$$

نسبت سود - هزینه[3] (B/C)

نسبت سود به هزینه معیاری است که نسبت مجموع ارزش حال درآمد را به مجموع ارزش حال هزینه‌ها با نرخ سود معین محاسبه می‌کند. در این دو رابطهٔ ۷ و ۸، Bi و Ci به ترتیب بیانگر درآمد و هزینه در سال iام و r نرخ سود است (Gadami Firouzabadi,. and Sidan,. 2018).

$$\frac{B}{C} = \frac{\sum {B_i}/{(1 + r)^i}}{\sum {C_i}/{(1 + r)^i}} \qquad (۸)$$

نتایج و بحث

پس از پایان پژوهش، داده‌ها با استفاده از نرم افزار MSTATC به‌صورت یک‌ساله و دو ساله (تجزیهٔ مرکب) تجزیه و تحلیل آماری شدند. میانگین‌ها نیز با آزمون دانکن مقایسه شدند. نتایج نشان داد در تجزیهٔ مرکب داده‌ها (نتایج دو سال)، اثر فاصلهٔ لوله‌های فرعی (فاکتور A) بر عملکرد محصول (مادهٔ خشک) در سطح یک درصد معنی‌دار است و اثر عمق نصب لوله‌ها بر عملکرد (فاکتور B) معنی‌دار (در سطح ۵ درصد) نیست. اثر متقابل فاصله و عمق لوله‌های فرعی (لترال‌ها) در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد. جدول ۳ تجزیهٔ مرکب داده‌ها را نشان می‌دهد.

1 - Cost-Benefit Analysis

2 - Net Present Value

3 - Benefit per Cost

جدول ۳- تجزیهٔ واریانس مرکب داده های عملکرد

Table 3. Compound variance analysis of data

منابع تغییر Source of variations	درجه آزادی Degrees of freedom	میانگین مربعات Average of squares
سال (y)	۱	۱۱۹۰۷۰۰
تکرار × سال (R×y)	۶	۱۵۸۵۶۵
فاصلهٔ لترال‌ها (A)	۲	۴۷۰۷۰۶۹۷**
فاصلهٔ لترال‌ها × سال (y × A)	۲	۱۵۷۰۰۴ n.s
خطا	۱۲	۲۷۵۳۱۴
عمق لترال‌ها (B)	۱	۹۱۸۷۵
عمق لترال‌ها × سال (y×B)	۱	۸۸۰۲
اثر متقابل فاصله × عمق (A×B)	۲	۶۸۵۴۲*
اثر متقابل فاصله × عمق × سال (y×A×B)	۲	۲۷۴۷۰۹
خطا	۱۸	۶۱۸۰۹۱
کل	۴۷	
ضریب تغییرات	**۱۱/۳۵**	

** بیانگر معنی‌دار بودن صفت در سطح یک درصد، * معنی‌دار بودن در سطح ۵ درصد و n.s معنی‌دار نبودن صفت است

اثر فاصلهٔ لوله‌های فرعی (لترال ها) بر عملکرد (مقایسهٔ میانگین‌ها)

نتایج تجزیهٔ مرکب و سالیانهٔ داده‌ها نشان داد که اثر جداگانهٔ فاصلهٔ لوله‌های فرعی بر عملکرد محصول (مادهٔ خشک) در سطح یک درصد معنی‌دار است. جدول ۴، اثر فاصلهٔ لوله‌های فرعی بر عملکرد را در سال اول و دوم و نیز در تجزیهٔ مرکب دو سال نشان می‌دهد. براساس نتایج این جدول، بین عملکرد تیمارها (سال اول، دوم و تجزیه مرکب) با فاصلهٔ لترال ۸۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. هرچند با افزایش فاصلهٔ لترال‌ها از ۸۰ به ۱۰۰ سانتی‌متر، عملکرد اندکی کاهش یافته است. عملکرد محصول در تیمارها با فاصلهٔ لترال ۱۲۰ سانتی‌متر اختلاف معنی‌داری با دو تیمار ۸۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری دارد. با افزایش فاصلهٔ لترال‌ها از ۸۰ به ۱۲۰ سانتی‌متر، عملکرد به شدت کاهش یافته است. آلام و همکاران (Alam, et al. 2002) نیز در پژوهشی در ایالت کانزاس امریکا، فاصلهٔ نوارهای آبیاری (۷۵ ، ۱۰۰ و ۱۵۰ سانتی‌متر) و دو عمق نصب ۳۰ و ۴۵ سانتی‌متر را برای لوله-های فرعی در سامانهٔ آبیاری قطره‌ای زیرسطحی برای یونجه بررسی کردند و نتیجه گرفتند که فاصلهٔ نوارهای آبیاری ۱۵۰ سانتی‌متر بر سبز شدن بذر و عملکرد تأثیر منفی دارد و عملکرد محصول را کاهش می‌دهد. نتایج این پژوهش با یافته-های آلام و همکاران (Alam, et al. 2002) همخوانی دارد. براساس نتایج این پژوهش فاصلهٔ ۱۰۰ سانتی‌متر برای لوله-های فرعی در خاک‌های با بافت متوسط تا سنگین از نظر اقتصادی با صرفه‌تر است و کاهش عملکرد آن در مقایسه با تیمار فاصله ۸۰ سانتی‌متری قابل چشم پوششی است.

جدول ٤- اثر فاصلهٔ لترال‌ها بر عملکرد مادهٔ خشک

Table 4. The effect of distance of the laterals on the yield of dry matter

فاصلهٔ لترال‌ها (سانتی‌متر) Laterals distance (cm)	عملکرد (کیلوگرم در هکتار) Yield (kg/ha)		
	سال اول Year 1	سال دوم Year 2	تجزیهٔ مرکب Compound analysis
۸۰	۱۹٤۰۹ a	۱۸۸٦٥ a	۱۹۱۳۷ a
۱۰۰	۱۸۷۹۲ a	۱۸۳۹۲ a	۱۸٥۹۲ a
۱۲۰	۱٦۹۸٦ b	۱٦٦۸۳ b	۱٦۸۳٤ b

** حروف مشابه بیانگر نبود اختلاف معنی‌دار و حروف غیر مشابه بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار است.

اثر عمق جاگذاری لوله‌های فرعی بر عملکرد (مقایسهٔ میانگین‌ها)

نتایج تجزیهٔ مرکب و سالیانهٔ داده‌ها نشان می‌دهد اثر جداگانه عمق جاگذاری لوله‌های فرعی (لترال‌ها) بر عملکرد محصول (مادهٔ خشک) معنی‌دار نیست. جدول ۵ اثر عمق جاگذاری لوله‌های فرعی (لترال‌ها) بر عملکرد در سال‌های اجرای پژوهش و نیز تجزیهٔ مرکب دو سال را نشان می‌دهد. با افزایش عمق لترال‌ها، عملکرد کمی افزایش یافته است. براساس نتایج جدول ۵ ، بین عملکرد تیمارها (سال اول، دوم و تجزیهٔ مرکب) در هر دو عمق ۳۰ و ۴۵ سانتی‌متر لوله‌های فرعی، اختلاف معنی‌داری وجود ندارد که با نتایج پژوهش‌های آلام و همکاران (Alam, et al. 2002) مطابقت دارد.

جدول ٥- اثر عمق لترال‌ها بر عملکرد مادهٔ خشک

Table 5. The effect of the depth of the laterals on the yield of dry matter

عمق لترال‌ها (سانتی‌متر) Laterals depth (cm)	عملکرد (کیلوگرم در هکتار) Yield (kg/ha)		
	سال اول Year 1	سال دوم Year 2	تجزیه مرکب Compound analysis
۳۰	۱۷۷۷۱ a	۱۷٤۸۳ a	۱۷٦۲۷ a
٤٥	۱۷۸۸٦ a	۱۷٥٤٤ a	۱۷۷۱٥ a

** حروف مشابه بیانگر نبود اختلاف معنی‌دار و حروف غیر مشابه بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار است.

یکی از بزرگ‌ترین مشکلات در روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی خطر آسیب‌زدن جوندگان به لوله‌های فرعی است و این آسیب‌ها می‌تواند سامانهٔ آبیاری قطره‌ای زیرسطحی را با مشکلات جدی روبه‌رو کند، از این رو افزایش عمق نصب لوله‌ها می‌تواند این خطر را کاهش دهد. افزایش عمق نصب لوله‌ها اگرچه مستلزم صرف نیرو و انرژی بیشتری است، اما در مقایسه با آسیب‌زدگی‌های جوندگان و مشکلات ناشی از آن، قابل توجیه خواهد بود. لام (Lamm. 2016) نیز معتقد است چنانچه لوله‌های فرعی در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در عمق بیشتر از ۴۰ سانتی‌متر قرار گیرند، خطر آسیب‌زدگی‌های

جوندگان کمتر می‌شود. براساس نتایج این پژوهش (نبود اختلاف معنی‌دار بین عملکردها در دو عمق ۳۰ و ۴۵) و یافته‌های دیگر محققان، عمق جاگذاری ۴۵ سانتی‌متر برای لوله‌های فرعی در روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی پیشنهاد می‌گردد.

اثر متقابل (برهم‌کنش) فاصله و عمق لوله‌های فرعی بر عملکرد (مقایسهٔ میانگین‌ها)

جدول شمارهٔ ۶ مقایسهٔ میانگین اثر متقابل فاصله و عمق لترال‌ها را بر عملکرد مادهٔ خشک محصول نشان می‌دهد. نتایج تجزیهٔ مرکب داده‌های دو سال نشان می‌دهد که اثر متقابل فاصله و عمق لوله‌های فرعی بر عملکرد مادهٔ خشک، معنی‌دار است. حداکثر عملکرد محصول از دو تیمار فاصلهٔ لترال ۸۰ و دو عمق ۳۰ و ۴۵ سانتی‌متر لوله‌های فرعی (به‌ترتیب ۱۹۰۵۰ و ۱۹۲۲۴ کیلوگرم در هکتار مادهٔ خشک) به‌دست آمده است. عملکرد این دو تیمار اختلافی با هم ندارد. کمترین عملکرد مادهٔ خشک از دو تیمار فاصلهٔ ۱۲۰ و دو عمق ۳۰ و ۴۵ سانتی‌متر (به‌ترتیب ۱۶۷۰۹ و ۱۶۸۶۱ کیلوگرم در هکتار مادهٔ خشک) حاصل شده است. اختلاف عملکرد این دو تیمار با دیگر تیمارها معنی‌دار است. این دو تیمار با هم از نظر عملکرد ماده خشک اختلاف معنی‌داری ندارند. بنابراین، با توجه به عملکرد تیمارها و هزینه‌های سامانهٔ آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، تیمار فاصلهٔ لترال‌های ۱۰۰ و عمق ۴۵ سانتی‌متر به‌عنوان تیمار برتر پیشنهاد می‌گردد. نگارنده معتقد است برای بررسی کامل تجمع نمک در پروفیل خاک، به‌ویژه در بالای لوله‌ها، و نیز احتمال حرکت ریشه‌ها به سمت قطره‌چکان‌ها، خطر گرفتگی و خسارت ناشی از فعالیت جوندگان در درازمدت برای یونجه با روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی باید پژوهش‌های تکمیلی برنامه‌ریزی شود، تا بتوان با دقت و اطمینان بیشتری اظهار نظر کرد.

جدول ٦- مقایسهٔ میانگین اثر متقابل فاصله و عمق لترال‌ها بر عملکرد مادهٔ خشک

Table 6. Comparison of the average interaction effect of distance and depth of laterals on dry matter yield

ردیف Rank	تیمار Treatment	عملکرد (کیلوگرم در هکتار) Yield (kg/ha)		
		سال اول Year 1	سال دوم Year 2	تجزیه مرکب Compound analysis
۱	فاصلهٔ لوله‌ها ۸۰ و عمق ۳۰ سانتی‌متر	۱۹۱۵۸ ab	۱۸۹٤۲ ab	۱۹۰۵۰ a
۲	فاصلهٔ لوله‌ها ۸۰ و عمق ٤۵ سانتی‌متر	۱۹٦٦۰ ab	۱۸۷۸۷ ab	۱۹۲۲٤ a
۳	فاصلهٔ لوله‌ها ۱۰۰ و عمق ۳۰ سانتی‌متر	۱۸۷۷٤ b	۱۷۹۷۳ b	۱۸۵۳۵ ab
٤	فاصلهٔ لوله‌ها ۱۰۰ و عمق ٤۵ سانتی‌متر	۱۸۱۰۸ b	۱۸۰۱۳ b	۱۸۸۱۵ ab
۵	فاصلهٔ لوله‌ها ۱۲۰ و عمق ۳۰ سانتی‌متر	۱٦۸۸۳ c	۱٦۵۳۵ c	۱٦۷۰۹ c
٦	فاصلهٔ لوله‌ها ۱۲۰ و عمق ٤۵ سانتی‌متر	۱٦۸۹۰ c	۱٦۸۳۱٤ c	۱٦۸٦۱ c

**حروف مشابه بیانگر نبود اختلاف معنی‌دار و حروف غیر مشابه بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار است.

مقایسهٔ اقتصادی تیمارها

در این پژوهش برای تحلیل اقتصادی، از روش درآمد – هزینه استفاده شد. برای انتخاب تیمار برتر، ضروری است هزینه‌های اقتصادی تیمارها شامل خرید نوارهای آبیاری، لوله‌گذاری، درآمد ناشی از عملکرد و خسارت‌های جوندگان به نوارهای آبیاری بررسی شود. بدیهی است دیگر هزینه‌های سامانهٔ آبیاری برای همهٔ تیمارها یکسان خواهد بود. برای سهولت در مقایسهٔ اقتصادی تیمارها، چنانچه افزایش هزینه‌ها در عمق کارگذاری لوله‌ها از ۳۰ به ۴۵ سانتی‌متر با کاهش آسیب‌زدگی‌های جوندگان به نوارهای آبیاری در عمق ۴۵ سانتی‌متر، نسبت به عمق ۳۰ سانتی‌متر، سر به سر در نظر گرفته شود، تغییرات دیگر هزینه‌ها به شرح جدول ۷ خواهد بود.

جدول ۷– مقایسهٔ اقتصادی تیمارها

Table 7. Economic comparison of treatments

ردیف Rank	تیمار Treatment	* هزینهٔ خرید نوارهای آبیاری Cost of irrigation tape	* درآمد ناشی از عملکرد محصول Income from performance	تفاوت هزینهٔ نوارهای آبیاری و عملکرد Difference in cost of irrigation tape and yield
۱	**فاصلهٔ لوله‌ها ۸۰ و عمق ٤٥ سانتی‌متر**	۹۳۷۵۰۰۰۰	۱۳۴۵۶۸۰۰۰	۴۰۸۱۸۰۰۰
۲	**فاصلهٔ لوله‌ها ۱۰۰ و عمق ٤٥ سانتی‌متر**	۷۵۰۰۰۰۰۰	۱۳۱۷۰۵۰۰۰	۵۶۷۰۵۰۰۰
۳	**فاصلهٔ لوله‌ها ۱۲۰ و عمق ٤٥ سانتی‌متر**	۶۲۴۷۵۰۰۰	۱۱۸۰۲۷۰۰۰	۵۵۵۵۲۰۰۰

** هزینه و درآمد (تومان) برای یک هکتار محاسبه شده است. قیمت هر یک متر نوار آبیاری ۷۵۰۰ و هر کیلو گرم یونجهٔ خشک ۸۰۰۰ تومان در نظر گرفته شده است.

با توجه به اینکه عمر اقتصادی زراعت یونجه ۵ تا ۷ سال است (Shahnavazi,. 2019) و عمر نوارهای آبیاری در روش زیرسطحی نیز بیشتر از ۵ سال است و هزینه خرید لوله فقط برای یک سال پرداخت می‌شود، بنابراین در یک دورهٔ پنج‌ساله تفاوت درآمد حاصل از عملکرد منهای هزینهٔ خرید نوارها برای تیمارها با فاصله‌های ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ سانتی‌متر به‌ترتیب ۵۷۹، ۵۸۴ و ۵۲۷ میلیون تومان در هکتار است (جدول ۷). بدین‌ترتیب فاصلهٔ نوارهای ۱۰۰ و عمق نصب ۴۵ سانتی‌متر نسبت به دیگر تیمارها اقتصادی‌تر است و این تیمار به‌عنوان تیمار برتر پیشنهاد می‌گردد.

حجم آب کاربردی

جدول ۸ طول دورهٔ رشد، تعداد آبیاری، تبخیر و تعرق، بارندگی و حجم آب کاربردی را در سال‌های اجرای پژوهش نشان می‌دهد. میانگین حجم آب کاربردی در سراسر فصل زراعی سال‌های اجرای پژوهش، برابر ۸۸۷۰ مترمکعب در هکتار محاسبه شده است.

جدول ۸ – حجم آب آبیاری در سال‌های انجام پژوهش

Table 8 . Volume of irrigation water in the years of research

سال Year	طول دورهٔ آبیاری (روز) Length of irrigation period (day)	تعداد آبیاری Number of irrigation	تبخیر و تعرق (میلی‌متر) Evapo- transpiration (mm)	بارندگی (میلی‌متر) Rainfall (mm)	حجم آب آبیاری (مترمکعب در هکتار) Water use (m^3/ha)	
					قطره‌ای زیرسطحی	سنتی (شیاری)
۱۳۹۸	**کشت در اول شهریور**	۵	۲۰۸۰	۱۱۲	۱۵۶۰	۲۶۵۰
۱۳۹۹	۲۰۶	۴۱	۲۰۹۰	۹۹	۸۶۴۰	۱۴۳۸۰
۱۴۰۰	۲۱۱	۴۳	۲۱۱۵	۹۳	۹۱۰۰	۱۵۱۰۰

** اعداد ستون‌های تبخیر و تعرق و بارندگی (سالیانه) براساس آمار هواشناسی منطقه است.

بهره‌وری فیزیکی آب کاربردی

برای محاسبهٔ بهره‌وری فیزیکی آب در تیمارهای مختلف، عملکرد خشک محصول در هر تیمار بر حجم آب کاربردی (آب آبیاری به‌اضافهٔ بارندگی موثر) تقسیم شد. جدول ۹ بهره‌وری فیزیکی آب را در تیمارهای مختلف نشان می‌دهد. حداکثر بهره‌وری آب از تیمارها با فاصلهٔ نوار ۸۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر در عمق‌های ۳۰ و ۴۵ سانتی‌متر به‌دست آمد. تیمار فاصلهٔ نوار آبیاری ۱۲۰ سانتی‌متر، کمترین مقدار بهره‌وری فیزیکی آب را دارد.

بهره‌وری اقتصادی آب کاربردی

بهره‌وری اقتصادی آب کاربردی در تیمارهای مختلف از تقسیم سود ناخالص محصول در هر تیمار بر حجم آب کاربردی محاسبه شد (Malareza Gassab, et al. 2019). قیمت یونجهٔ خشک در بازار ۸۰۰۰ تومان (میانگین دو سال) برای هر کیلوگرم در نظر گرفته شد. جدول ۹ بهره‌وری اقتصادی آب کاربردی را در تیمارهای مختلف نشان می‌دهد. تیمار فاصله‌های لوله‌های فرعی ۸۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر در دو عمق ۳۰ و ۴۵ سانتی‌متری اختلاف معنی‌داری ندارند. بنابراین تیمار با لوله‌هایی با فاصله‌های ۱۰۰ و عمق ۴۵ سانتی‌متر پیشنهاد می‌گردد.

جدول ۹– بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب کاربردی در تیمارها

Table 9- Physical and economic productivity of applied water in treatments

ردیف Rank	تیمار Treatment	بهره‌وری فیزیکی (کیلوگرم بر متر مکعب) Water Productivity (Kg/m^3)	بهره‌وری اقتصادی (تومان برای هر متر مکعب‌آب) Economic Water Productivity (Tomans for each cubic meter)
۱	**فاصلهٔ لوله‌ها ۸۰ و عمق ۳۰ سانتی‌متر**	**۲/۱۵** ^{a}	**۱۷۲۰۰** ^{a}
۲	**فاصلهٔ لوله‌ها ۸۰ و عمق ٤۵ سانتی‌متر**	**۲/۱۷** ^{a}	**۱۷۳٦۰** ^{a}
۳	**فاصلهٔ لوله‌ها ۱۰۰ و عمق ۳۰ سانتی‌متر**	**۲/۰۷** ^{ab}	**۱٦۵٦۰** ^{ab}
٤	**فاصلهٔ لوله‌ها ۱۰۰ و عمق ٤۵ سانتی‌متر**	**۲/۱۲** ^{ab}	**۱٦۹٦۰** ^{ab}
۵	**فاصلهٔ لوله‌ها ۱۲۰ و عمق ۳۰ سانتی‌متر**	**۱/۸۸** ^{c}	**۱۵۰٤۰** ^{c}
٦	**فاصلهٔ لوله‌ها ۱۲۰ و عمق ٤۵ سانتی‌متر**	**۱/۹۰** ^{c}	**۱۵۲۰۰** ^{c}

**حروف مشابه بیانگر نبود اختلاف معنی‌دار و حروف غیر مشابه بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار است.

مقایسه با روش سنتی

در این پژوهش، برای بررسی و مقایسهٔ حجم آب کاربردی و عملکرد محصول در دو روش آبیاری سنتی (سطحی) و آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، در مجاور مزرعهٔ آبیاری قطره‌ای زیر سطحی، کرتی به ابعاد ۸۰ ×۳۰ با مدیریت کشاورز به‌عنوان شاهد، (مدیریت آبیاری معمول منطقه) در نظر گرفته شد. در این کرت، حجم آب کاربردی و عملکرد محصول در طول سال-های اجرای پژوهش اندازه‌گیری شد (جدول ۱۰). متوسط عملکرد مادهٔ خشک در این روش برابر ۱۶۹۲۵ کیلوگرم در هکتار و میانگین حجم آب کاربردی در روش آبیاری سطحی (شیاری) ۱۴۷۴۰ مترمکعب در هکتار به‌دست آمد. میانگین بهره‌وری فیزیکی آب کاربردی در این روش برابر ۱/۱۵ کیلوگرم بر مترمکعب شد.

جدول ۱۰- عملکرد و حجم آب کاربردی یونجه در روش آبیاری شیاری (سنتی)

Table 11. Yield and volume of water consumption of alfalfa in the Furrow irrigation method (traditional)

تیمار	سال(Year) ۱۳۹۹		۱۴۰۰	
	عملکرد (کیلوگرم در هکتار) Yield (Kg/ha)	حجم آب کاربردی (مترمکعب در هکتار) Water use (m^3/ha)	عملکرد (کیلوگرم در هکتار) Yield (Kg/ha)	حجم آب کاربردی (مترمکعب در هکتار) Water use (m^3/ha)
آبیاری شیاری (سنتی)	۱۷۱۰۰	۱۴۳۸۰	۱۶۷۵۰	۱۵۱۰۰

آسیب‌رساندن جوندگان به نوارهای آبیاری زیرسطح خاک

جوندگان که معمولا از گروه پستانداران هستند، می‌توانند بزرگ‌ترین تهدید و خطر برای این سیستم آبیاری باشند.. این گروه از جانوران عمدتا برای سایش دندان‌های خود به جویدن و ایجاد پارگی تجهیزات آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در مزارع یونجه روی می‌آورند و نشت گسترده آب را موجب می‌شوند. سوراخ شدن نوارهای آبیاری زیرسطحی به‌دلیل نامشخص بودن محل پارگی می‌تواند مشکلات زیادی را برای سیستم آبیاری و یکنواختی توزیع آب ایجاد کند. براساس تجربیات افراد محلی، مزارع یونجه به علت ویژگی ها ریشه این گیاه (اینکه جوندگان علاقهٔ زیادی به آن دارند) محل تجمع این گروه از جوندگان است. بررسی‌ها در این پژوهش نشان داده است که به‌رغم مبارزهٔ شدید و بموقع با این جانوران (طعمه گذاری در فصول مختلف سال و آبیاری زمستانه)، آسیب‌زدگی آنها به نوارهای آبیاری نسبتا زیاد بود. به‌گونه‌ای که در بخش-هایی از مزرعه در سال دوم پژوهش، غیر یکنواختی رشد گیاه کاملا مشهود بود. در تیمارهایی که نوارهای آبیاری در عمق ۴۵ سانتی‌متر قرار داشتند نسب به تیمارهایی که نوارهای آبیاری در عمق ۳۰ سانتی‌مترکارگذاری شده بود، آسیب‌زدگی جوندگان کمتر بود. توصیه می‌شود در مناطقی که خطر بالقوه این جانوران وجود دارد، این روش آبیاری با احتیاط بیشتری اجرا شود.

نتیجه‌گیری

براساس نتایج این پژوهش، حجم آب کاربردی در روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نسبت به روش آبیاری سنتی (با مدیریت زارع)، ۴۰ درصد کاهش نشان داد که رقم قابل توجهی است. از طرف دیگر، تداخل‌نداشتن آبیاری در این

روش، با تردد ماشین‌های کشاورزی (مخصوصا در زمان‌های برداشت) بر توانایی و قابلیت این روش می‌افزاید. اما از مشکلات این روش، آسیب‌های جوندگان به لوله‌های فرعی در زیر سطح خاک است که مشخص کردن محل‌های آسیب و ترمیم آنها دشوار است. براساس نتایج حاصل از این پژوهش، برای جلوگیری از آسیب‌های جوندگان، مبارزۀ بموقع با آنها و نیز افزایش عمق نصب لوله‌های فرعی تا ۴۵ سانتی‌متر توصیه می‌شود. اجرای آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در خاک‌ها با بافت متوسط تا سنگین، به دلیل ممکن بودن انتخاب فاصله‌های ۱۰۰ سانتی‌متر برای لوله‌های فرعی، با صرفه است و در مناطق گرم و خشک با قدرت تبخیر زیاد توصیه می‌شود.

پیشنهادها

روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بر توزیع نمک در پروفیل خاک موثر است. این امر خود را در دراز مدت در آب و خاک شور به‌خوبی نشان می‌دهد. پیشنهاد می‌شود پژوهش‌هایی در خصوص وضعیت توزیع نمک و تجمع آن در لایه‌های خاک در روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی برای دوره‌ای نسبتا طولانی (۵ ساله) صورت پذیرد. از طرف دیگر، در روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی برای محصولاتی مانند یونجه، که دارای سیستم ریشه‌ای قوی است، خطر حرکت و نفوذ ریشه‌ها به داخل لوله-های آبیاری وجود دارد. پرداختن پژوهش‌هایی در این زمینه نیز ضروری است.

منابع

Ayars, J.E., Fulton, A. and Taylor, B. 2015. Subsurface drip irrigation in California-Here to stay?. Agricultural Water Management. (157) 39–47.

Attram, J., Acharya, S., Smith, E. and Thomas, J. 2016. Yield and net return from alfalfa cultivars under irrigation in south. Canadian Journal of Plant Science. 96(2): 165-175.

Alam, M., Trooien, TP., Dumler, TJ. and Rogers, DH. 2002. Using subsurface drip irrigation for alfalfa. Journal of the American water resources association. 2002; 38(6): 1715-1721.

Alizadeh, A. 2015. Design of irrigation systems under pressure. The second volume. Publications of Imam Reza University. (In Persian).

Darrell, J., Bosch, L., powell, A. and Scott, W. 2013. Investment Returns from Three Sub-surface Micro irrigation Tubing Spacing. Agricultural Economics.

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

Finger, L., Wang, J., Malano, H., Chen, D. and Morris, M. 2015. Productivity and water use of grazed subsurface drip irrigated perennial pasture in Australia. Irrigation Science. 33(2):141-152.

Gadami Firouzabadi, A. and Sidan, S. M. 2018. Investigation of irrigation water efficiency and economic analysis of alfalfa crop production in rain and surface irrigation systems. Scientific Research Journal of Irrigation and Water Engineering of Iran. No. 37. pp. 149-136. (In Persian).

Gharib, M, and Hosseini, A. 2018. Investigation of ambrothermic curves in the interpretation of drought phenomenon (case study in Semnan Province). The 5th National Conference of Watershed Sciences and Engineering of Iran. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. (In Persian).

Hengeller, J. 1995. Use of drip irrigation on alfalfa. In Proc. of the Central Plains Irrigation Short course, Feb. 7-8, 1995, Garden City, Kansas. Kansas State Univ. Extension Biol. And Agric. Engr. Dept., Manhattan, KS. pp. 160-167.

Hutmacher, R.B., Davis, K.R., Schoneman, R.A., Vail, S.S. and Mead, R.M. 1996. Subsurface drip irrigation of row crops: a review of 15 years of research at the Water Management. Agric. Water Manage.42, 1–27.

Kandelous, MM., Kamai, T., Vrugt, JA., Hanson, B., and Hopmans, JW. 2012. Evaluation of subsurface drip irrigation design and management parameters for alfalfa. Agricultural Water Management. 109 (9): 81-93.

Kazumba, S., Gillerman, L., Demalach, Y. and Oron, G. 2010. Sustainable domestic effluent reuse via subsurface drip irrigation (SDI): alfalfa as a perennial model crop. Water Science & Technology A Journal of the International Association on Water Pollution Research. 61(61): 625-632.

Lamm, F.R., Ayars, J.E. and Nakayama, F.S. 2007. Micro irrigation for Crop Production –Design, Operation, and Management. Elsevier, Amsterdam, pp. 618.

Lamm, F.R. 2016. Subsurface drip irrigation and possibilities in alfalfa. Proceedings, California Alfalfa and Forage Symposium, November, Reno, Nevada.

Mahbub, A., Trooien, T. P., Dumler, T. J. and Danny, Rogers. 2002. Using subsurface drip irrigation for alfalfa. Journal of the American Water Resources Association. 38(6), 1715- 1721.

Malareza Gassab, F., Abdshahi, A. and Marzban, A. 2019. Determining the physical and economic water productivity (case study of Dezful city). Journal of Agricultural Economics Research. Vol 12, No. 3. pp. 42-79. (In Persian).

Mousavi, S. M., Mirlatifi, S. M. and Tabatabaei S. H. 2014. The effect of the depth and distance of installing subsurface irrigation pipes on the growth of grass under the conditions of using urban wastewater. Journal of Agricultural Sciences and Techniques, Water and Soil Sciences. No. 72. pp. 138-129. (In Persian).

Santos, LNS., Goncalves, IZ., Barbosa, EAA., Tuta, NF., Feitosa, D. and Pires, R. 2014. Subsurface irrigation quality at two depths of placement of drip tapes. Vii Congreso Iberico De Agroingenieria Y Ciencias Horticolas: Innovar Y Producir Para El Futuro. Innovating and Producing for the Future. 1134-1138

Shufang, W., Xiyun, J., Weihua, G., Jian, L., Yungang, B. and Liping, W. 2018. Adaptability of shallow subsurface drip irrigation of alfalfa in an arid desert area of Northern Xinjiang. PLoS ONE 13(4): e0195965.

Shahnavazi, A. 2019. Investigating the profitability of alfalfa cultivation, according to the humidity index in Iran. Fodder and animal feed promotional magazine. Vol 1, No 2. pp 42-33. (In Persian).Van Halsema, G.E., and Vincent, L. 2012. Efficiency and productivity terms for water management: A matter of contextual relativism versus general absolutism. Agricultural Water Management, 108: 9-15.

Irrigation and Drainage Structures Engineering Research/Vol.24/No.92/Autumn 2024/P: 88-105

Original Research

Optimization Distance and Depth of laterals in Subsurface Drip Irrigation Systems (SDI) alfalfa

Syeed Hassan Mousavifazl*

*** Corresponding Author:**Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Department, Agricultural and Natural Resources Research Center Semnan province (Shahrood), AREEO, Shahrood, Iran.
Received:18 February 2024 **Accepted:** 15 April 2024
Email: Hmousavifazl@yahoo.com
https://doi.org/ 10.22092/IDSER.2024.365036.1574

Introduction

Alfalfa is irrigated by drip, strip, Furrow and rain irrigation methods. Surface irrigation methods are unjustifiable and not economical due to the low potential of irrigation efficiency in dry areas. Rain irrigation methods cannot be justified in hot and dry areas due to high evaporation and high water requirement of alfalfa. Alfalfa is a plant whose leaves are sensitive to burns caused by poor quality water as a result of water spraying in the rain irrigation method (Hengeller, 1995). Micro irrigation methods (surface and subsurface drip) are among the alternative methods of rain methods. The subsurface drip irrigation method has not been developed in Iran due to the existence of ambiguities and some dark and unclear points regarding its efficiency for crops (clogged outlets, salt accumulation, risk of blockage of pipes by roots). These concerns require that before any development of subsurface drip irrigation method for different crops, necessary researches should be done in this field. Therefore, conducting any research on the efficiency of this method for alfalfa, which is a valuable fodder plant but requires a lot of water, seems necessary. This research was conducted with the aim of investigating the effect of subsurface drip irrigation method on alfalfa yield, the amount of water consumed and determining the appropriate distances and depths for sub-pipes.

Methodology

In order to investigate the effect of installation depth and distance of irrigation strips (laterals) in subsurface drip irrigation method on yield and water use efficiency in alfalfa cultivation, a study was conducted for two years on the farm of Damghan Agricultural Research Station. The design was implemented in the form of split strips based on randomized complete blocks with two factors and three replications. Factors included: 1- Distance of irrigation strips from each other in three levels (80, 100 and 120 cm) 2- Depth of installation of irrigation strips in two levels (30 and 45 cm below the soil surface). Depth of strips installation was considered as the main factor and distances as the sub-factor. The length of each experimental plot was 60 m and the width of the plots for the distances of 80, 100 and 120 cm were selected as 4, 5 and 6 m, respectively. Strips irrigation with a with a diameter of 20 mm with a discharge of 1.6 (lit/hr) and a distance of 60 cm for each dropper were selected. After preparing the ground and sowing the seeds, the subsurface irrigation pipes were placed (according to the treatments) with using the machine. Irrigation water was calculated by Penman-Monteith method and was given to the plant with an irrigation cycle of 4 days.

Results and Discussion

The results showed that the effect of pipe spacing on product yield (dry matter) and water use efficiency was significant, but the effect of pipe installation depth on yield and water use efficiency was not significant. The interaction effect of distance and depth of tapes irrigation on crop yield and water use efficiency was significant. There was no significant difference between crop yield in treatments with lateral distance of 80 and 100 cm. With increasing lateral distance from 80 to 120 cm, crop yield decreased sharply. Due to the yield of treatments and the cost of subsurface drip irrigation, the treatment of lateral distance of 100 and depth of 45 cm was suggested as the superior treatment.

Conclusions

The subsurface drip irrigation method for perennial crops is one of the efficient and appropriate methods. This method has a much higher efficiency than other irrigation methods due to the reduction of evaporation losses and the increase of irrigation efficiency especially in arid and semi-arid areas. The non-interference of irrigation in this method with the traffic of agricultural machines (especially during harvest) increases the ability and functionality of this method. But one of the problems of this method is the damage of rodents to the sub-pipes under the soil surface, which makes it difficult to determine the places of damage and repair them. Based on the results of this research, to prevent the damage of rodents, it is recommended to fight against these rodents and also to increase the installation depth of secondary pipes up to 50 cm. Clogging of droppers caused by poor filtration performance and penetration into and around the pipes are other problems of this method. To avoid these problems, it is recommended to inject acid and herbicide regularly into the irrigation system.

Keywords: Irrigation Management, Productivity, Drip Irrigation, Forage