

## ارزیابی سامانه‌های آبیاری قطره‌ای و بارانی از لحاظ شاخص‌های اقتصادی بهره‌وری آب در جنوب فرانسه

صغری حسینیان، محمدرضا خالدیان<sup>۱\*</sup> و محمدکریم معتمد

دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان.

safura\_khatib@yahoo.com

دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان و گروه پژوهشی مهندسی آب و محیط زیست، پژوهشکده حوزه آبی دریای خزر.

khaledian@guilan.ac.ir

دانشیار، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان.

motamed@guilan.ac.ir

### چکیده

با محدودیت منابع آبی، استفاده بهینه از آب در بخش کشاورزی بسیار مهم و اساسی است و منجر به جلب توجه به اهمیت بهره‌وری مصرف آب شده است. این پژوهش به منظور ارزیابی سه سامانه آبیاری قطره‌ای سطحی، زیرسطحی و آبیاری بارانی برای ذرت دانه‌ای و در پنج تیمار آبیاری قطره‌ای سطحی (آبیاری کامل و کم‌آبیاری)، آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با فواصل لاترال ۱۲۰ و ۱۶۰ سانتی‌متر و آبیاری بارانی در سال‌های ۲۰۰۷، ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ در موسسه تحقیقاتی ایرستا واقع در شهر مونپلیه (جنوب فرانسه) انجام شد. برای ارزیابی تیمارها از شاخص‌های بهره‌وری WP، NBPB و B/C استفاده شد. نتایج نشان داد در سال ۲۰۰۷ اجرای تیمار آبیاری کامل قطره‌ای سطحی (FI) در مقایسه با کم‌آبیاری قطره‌ای سطحی (DI) و آبیاری بارانی اقتصادی‌تر است. مقدار عملکرد دانه از ۱۳۸۰۰ کیلوگرم بر هکتار در آبیاری بارانی به ترتیب به ۱۶۴۰۰ و ۱۷۴۰۰ کیلوگرم بر هکتار در DI و FI رسیده است. در سال ۲۰۰۸ تیمارهای آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نسبت به آبیاری بارانی از لحاظ شاخص‌های فوق برتری یافت و در سال ۲۰۰۹ بهره‌وری آب تیمارهای زیرسطحی بیشتر از آبیاری بارانی بود اما هیچ یک از تیمارها سود خالصی را به همراه نداشتند. در سال ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ میزان آب مصرفی در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی حداقل ۱۶ درصد نسبت به آبیاری بارانی کاهش داشت و میزان عملکرد دانه حداقل ۱۸ درصد نسبت به آبیاری بارانی افزایش یافت. با توجه به شرایط کشور، مدنظر قرار دادن استفاده از سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی برای گیاه ذرت با لحاظ کردن برخی شرایط توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، اقتصاد آب، کم‌آبیاری، ذرت دانه‌ای.

۱ - آدرس نویسنده مسئول: رشت، گروه مهندسی آب دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان.

\*- دریافت: اردیبهشت ۱۳۹۳ و پذیرش: اردیبهشت ۱۳۹۵

## مقدمه

یکی از مهم‌ترین چالش‌های موجود در بخش کشاورزی کم بودن میزان بهره‌وری نهاده‌ها و منابع تولیدی می‌باشد که در این میان آب از جایگاه ویژه و مهمی برخوردار است. بررسی جهانی حاکی از آن است که جمعیت جهان تا سال ۲۰۲۵ میلادی به ۷/۸ میلیارد نفر خواهد رسید و فشار زیادی بر منابع تولید غذایی وارد خواهد آورد (دهقانی‌سانچ، ۱۳۹۱). بنابراین تولید محصولات کشاورزی با حداقل مصرف آب از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار است و به عنوان یک استراتژی مهم برای کشورهایی که با کمبود آب مواجه هستند مطرح می‌باشد، که این امر با افزایش بهره‌وری آب امکان‌پذیر خواهد بود (سپه‌وند، ۱۳۸۸). تغییرات بهره‌وری آب به اقلیم، مدیریت آب، مدیریت خاک (مواد غذایی موجود در خاک) و مدرن کردن سامانه‌های آبیاری نسبت داده می‌شود و در این میان مدرن کردن سامانه‌های آبیاری در افزایش بهره‌وری آب نقش بسزایی دارد (پلایان و ماتئوس، ۲۰۰۶). امروزه با توجه به کاهش منابع آب موجود و افزایش قیمت آن، کشاورزان به استفاده از سامانه‌های آبیاری با راندمان بالا برای آبیاری گیاهان زراعی تمایل نشان می‌دهند.

در جنوب فرانسه به دلیل توزیع نامنظم بارندگی‌های سالیانه، آب مهم‌ترین فاکتور محدودکننده برای تولید محصولات کشاورزی می‌باشد. بنابراین کاهش میزان آب آبیاری در صورتی که سطح تولید حفظ شود، بسیار مهم و اساسی است. نگهداشت منابع آب در این منطقه کم آب با بهبود بهره‌وری آب میسر خواهد شد (خالدیان و همکاران، ۲۰۱۱). ذرت به صورت گسترده در اروپا و به خصوص در فرانسه، ایتالیا و رومانی کشت می‌شود و به کمبود آب حساس می‌باشد (دی پائولو و رینالدی، ۲۰۰۹). فرانسه دارای اقلیم مدیترانه‌ای می‌باشد و در این اقلیم که با شرایط کم‌آبی مواجه است تولید ذرت به شدت وابسته به آب است. کشور ایران نیز به علت دارا بودن اقلیم خشک و نیمه‌خشک با مشکل تأمین آب کافی

در طول دوره رشد ذرت مواجه می‌باشد. متوسط سالانه بارندگی در ایران ۲۴۰ میلی‌متر در سال است که این مقدار حدوداً ۵۰ تا ۳۰ درصد نیاز آبی گیاه ذرت (۵۰۰ تا ۸۰۰ میلی‌متر) است (خالدیان و روئل، ۱۳۹۱). بنابراین برای جلوگیری از افت شدید عملکرد، انجام آبیاری بسیار ضروری می‌باشد. با توجه به کمبود منابع آب، بهره‌گیری از شیوه‌های نوین آبیاری در کشاورزی امری اجتناب‌ناپذیر است. از جمله این روش‌ها، روش آبیاری قطره‌ای نواری است که علاوه بر کاهش مصرف آب باعث افزایش عملکرد محصول می‌شود (باسال و همکاران، ۲۰۰۹) و در نتیجه بهره‌وری مصرف آب در این سامانه افزایش می‌یابد (قائم‌ی و صدری، ۱۳۸۸).

حامدی و همکاران (۱۳۸۴) در مقایسه سامانه آبیاری قطره‌ای نواری و سطحی عنوان نمودند، عملکرد دانه ذرت در سامانه آبیاری قطره‌ای نواری حدود ۲۰۱۵ کیلوگرم در هکتار نسبت به آبیاری سطحی افزایش یافته و بهره‌وری مصرف آب نیز سه برابر آبیاری سطحی می‌باشد. نتایج تحقیقات سه ساله احمدآلی و خلیلی (۱۳۸۸) نشان داد که تیمارهای آبیاری قطره‌ای نواری در سطح نیاز آبی ۸۰ و ۱۰۰ درصد و تیمار آبیاری نشتی به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار بهره‌وری آب را دارا بودند.

هرناندز و همکاران (۲۰۱۰) میزان عملکرد ذرت را از ۸۲۵۰ تا ۱۰۷۰۰ کیلوگرم در هکتار و بهره‌وری مصرف آب را بین ۱/۲ تا ۱/۲۴ در مکزیک گزارش کردند. سیواناپان (۱۹۹۴) به بررسی و ارزیابی اقتصادی آبیاری قطره‌ای در کشور هند پرداخت، نتایج مطالعه وی در دو حالت صرفه‌جویی و عدم صرفه‌جویی در آب نشان داد که نسبت سود به هزینه در حالت صرفه‌جویی آب بین ۲/۷۸ تا ۳۲/۳۲ و در حالت غیرصرفه‌جویی آب ۱/۳۵ تا ۱۳/۳۵ تغییر می‌کند. اینامدار (۱۹۹۵) با استفاده از معیار نسبت منفعت به هزینه، سامانه آبیاری قطره‌ای در مزارع نیشکر هند را مورد ارزیابی اقتصادی قرار داد براساس

مونپلیه (جنوب فرانسه) در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. این منطقه دارای اقلیم مدیترانه‌ای است و ارتفاع محل از سطح دریا ۳۰ متر می‌باشد. مقادیر بارندگی و تبخیر- تعرق در ماه‌های آبیاری در سال‌های ۲۰۰۷، ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ در شکل ۱ ارائه شده است. همچنین مقادیر دمای هوا در جدول ۱ و مشخصات خاک منطقه در جدول ۲ ارائه شده است.

### روش اجرای طرح

تیمارهای آبیاری، شامل آبیاری قطره‌ای سطحی برای دو شرایط آبیاری کامل (FI) و کم‌آبیاری (DI)، آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با فواصل لوله‌های آبد ۱۲۰ و ۱۶۰ سانتی‌متر و آبیاری بارانی (روش مرسوم در منطقه)، در پنج تکرار برای گیاه ذرت اعمال شد. آرایش تکرارها روی تیمارها به صورت تصادفی صورت گرفت. ابعاد قطعات زراعی ۰/۱۲ هکتار بود. به دلیل اینکه در تیمار آبیاری کامل قطره‌ای (FI) میزان آب آبیاری باید به اندازه نیاز واقعی گیاه صورت گیرد، آبیاری تا هفته آخر ماه ژولای هر روز به مدت سه ساعت (به غیر از روزهای شنبه و یکشنبه که به جای آنها روز جمعه و دوشنبه به اندازه دو برابر هر روز آبیاری می‌شد) و بعد از آن هر روز به مدت دو ساعت تا آخر ماه سپتامبر انجام شد. از آنجا که در تیمار کم‌آبیاری (DI) میزان مصرف آب نسبت به آبیاری کامل کاهش می‌یابد، یک تنش رطوبتی ملایم که حداقل تأثیر سوء را بر عملکرد محصول داشته باشد اعمال گردید.

بدین منظور برای این تیمار، آبیاری یک روز در میان یعنی در روزهای دوشنبه، چهارشنبه و جمعه هر روز به مدت سه ساعت صورت گرفت. در تیمارهای آبیاری قطره‌ای سطحی و بارانی از فاصله کشت ۷۵ سانتی‌متر و برای دو تیمار آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با فواصل لوله‌های آبد ۱۲۰ و ۱۶۰ سانتی‌متر به ترتیب از فواصل کشت ۶۰ و ۸۰ سانتی‌متر (فواصل کشت رایج در منطقه) استفاده شد. نوارهای آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به

نتایج بدست آمده آبیاری قطره‌ای به عنوان یک روش مهم برای افزایش تولید و کارایی اقتصادی مطرح شد.

با توجه به بروز خشکسالی‌های متعدد در جنوب فرانسه در طی سال‌های اخیر (خالدیان و همکاران، ۲۰۱۱)، آبیاری محصولات زراعی در فصل تابستان به روش بارانی که دارای تلفات تبخیر و بادبردگی حدود بیست درصد در منطقه است در سال‌های کم‌آب به تشخیص متولیان امر ممنوع یا محدود می‌شد. لذا محققین به دنبال یافتن گزینه‌های مناسب بودند تا ضمن حفظ سطح عملکرد زراعی، مصرف آب را کاهش دهند. به همین دلیل روش آبیاری قطره‌ای نواری با توجه به هزینه‌ی پایین‌تر نسبت به لوله‌های قطره‌چکان‌دار پیشنهاد شد. برای بررسی این سامانه، آزمایشی مزرعه‌ای به مدت سه سال انجام شد. با توجه به اینکه یکی از عوامل مهم عدم توسعه کشت ذرت در ایران پایین بودن بازدهی آبیاری با روش‌های آبیاری مرسوم و در نتیجه کمبود منابع آب برای افزایش سطح زیرکشت این محصول است (افشار و همکاران، ۱۳۸۶). همچنین کشور ایران همانند فرانسه با مشکل کمبود آب و پراکندگی بارندگی نسبت به ماه‌های سال مواجه است. به همین علت می‌توان از استراتژی این تحقیق برای افزایش شاخص‌های بهره‌وری آب و منفعت به هزینه در ایران استفاده نمود. هدف از این مطالعه ارزیابی آبیاری قطره‌ای سطحی در دو شرایط آبیاری کامل (FI)<sup>۱</sup> و کم‌آبیاری (DI)<sup>۲</sup>، آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (SDI)<sup>۳</sup> با فواصل لوله‌های آبد ۱۲۰ و ۱۶۰ سانتی‌متر و آبیاری بارانی (روش رایج در منطقه) از لحاظ شاخص‌های اقتصادی بهره‌وری آب می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

این تحقیق در موسسه تحقیقاتی ایرستا در عرض جغرافیایی سه درجه و ۵۰ دقیقه شرقی و طول جغرافیایی ۴۳ درجه و ۴۰ دقیقه شمالی، واقع در شهر

1- Full Irrigation  
2- Deficit Irrigation  
3- Subsurface Drip Irrigation

شاخص‌های بهره‌وری آب و نسبت منفعت به هزینه WP<sup>1</sup> معمولاً به صورت نسبت عملکرد محصول به ازای هر واحد آب مصرفی تعریف می‌شود (ویتس، ۱۹۶۲). اندک بودن این شاخص نشانگر ضعف مدیریتی و ناکارآمدی در مصرف آب و نیز ضعف در مدیریت بخش زراعی می‌باشد.

$$WP_1 = \frac{Y}{I} \quad (1)$$

که در آن:

I مقدار آب آبیاری (m<sup>3</sup>/ha) در طول فصل زراعی و Y عملکرد محصول (kg/ha) و WP<sub>1</sub> بر حسب (Kg/m<sup>3</sup>) می‌باشد. افزایش مقدار WP<sub>1</sub> نشان‌دهنده مصرف صحیح‌تر آب است اما نشانگر سود اقتصادی بیشتر نخواهد بود. بنابراین در نظر گرفتن شاخصی که بالاترین درآمد و سود را داشته باشد اهمیت بسیار بالایی دارد (رودریگو و پریار، ۲۰۰۹). شاخص BPD<sup>2</sup> از نسبت درآمد حاصل از فروش محصول به مقدار آب مصرف شده محاسبه می‌شود.

$$BPD = \frac{Y \times W}{I} \quad (2)$$

W ارزش فروش هر کیلو محصول می‌باشد (€/kg) و BPD برحسب (€/m<sup>3</sup>) می‌باشد. در رابطه فوق هزینه‌های تولید محصول در نظر گرفته نشده است از این رو بهترین شاخص برای سنجش بهره‌وری آب NBPD<sup>3</sup> است که از نسبت سود خالص به میزان آب مصرفی گیاه بدست می‌آید (جوان و فال‌سلیمان، ۱۳۸۷).

$$NBPD = \frac{TP - TR}{I} \quad (3)$$

TP سود کل و TR درآمد کل (€/ha) است.

برای ارزیابی اقتصادی تیمارها نسبت منفعت به هزینه B/C<sup>4</sup> محاسبه گردید. عمر اقتصادی پروژه برای آبیاری بارانی ۱۰ سال و برای آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی به ترتیب یک و سه سال با بهره بانکی چهار درصد و نرخ تورم ۱/۵ درصد بنابر ضرایب بهره بانکی و نرخ تورم منطقه مورد مطالعه در نظر گرفته شد. کلیه

صورت یک در میان بین ردیف‌های کشت و در عمق ۳۵ سانتی‌متر کارگذاری شدند. به‌علت عدم تداخل با عملیات خاک‌ورزی، عمق نصب نوارها بیشتر از عمق شخم‌زنی در نظر گرفته شد. در همه تیمارها تراکم کشت صد هزار بوته در هکتار و رقم پیونیر که دارای پتانسیل عملکرد بالا است کشت شد. برای رفع مشکل گرفتگی قطره‌چکان‌ها در اثر نفوذ ریشه به داخل روزنه‌ها، کارخانه سازنده روزنه‌های خروجی قطره‌چکان‌ها را به علف‌کش آغشته کرده بود. میزان سموم دفع آفات Mercantor, Curater و Emblem طبق نظر کارشناسان مربوطه تعیین و اعمال گردید. نوارهای آبیاری قطره‌ای از جنس پلی‌اتیلن و ضخامت ۰/۸ و قطر ۱۶ میلی‌متر با فواصل روزنه ۳۰ سانتی‌متر و دبی ۳/۶۷ لیتر در ساعت در متر و مدل Jains بود. برای مدیریت آبیاری از روش بیلان آب در خاک استفاده شد و برای پایش میزان رطوبت خاک از سری تانسومتر و نوترون پروب استفاده گردید. تانسومترها در اعماق ۱۰، ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۷۵، ۹۰، ۱۱۰ و ۱۳۰ سانتی‌متر نصب شدند و قرائت آن‌ها هر روز صبح قبل از طلوع آفتاب انجام می‌شد.

تعیین رطوبت خاک با استفاده از نوترون پروب هر هفته یک بار صورت می‌گرفت و اندازه‌گیری رطوبت خاک در لایه‌های ۱۵۰-۰ سانتی‌متر و با فواصل ۱۰ سانتی‌متر صورت گرفت. میزان کود نیترا، پتاس و فسفات تریپل مورد نیاز با توجه به توصیه اداره کشاورزی و میزان مواد غذایی موجود در خاک در ابتدای فصل تعیین و اعمال گردید کلیه عملیات مربوط به داشت براساس روال رایج در منطقه انجام شد تا شرایط یک مزرعه واقعی در سایت تحقیقاتی ایجاد گردد. آبیاری‌ها از ماه ژوئن تا سپتامبر صورت گرفت و برای تعیین آب مصرفی از کنتور حجمی استفاده گردید که دقت آن تا لیتر بود پس از رسیدگی فیزیولوژیکی کار برداشت محصول انجام گردید و میزان عملکرد دانه در هکتار به‌دست آمد. مقایسه آماری با بسته نرم‌افزاری SPSS و با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت.

1- Water Productivity  
1- Benfit per Drop  
2- Net Benefit  
3- Benefit to Cost Ratio

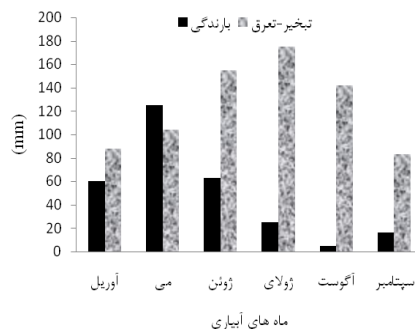
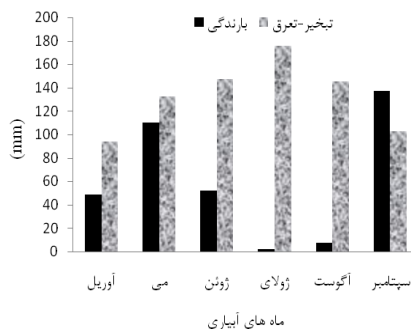
هزینه‌ها با توجه به عمر اقتصادی پروژه به ارزش کنونی و سپس به هزینه سالیانه تبدیل شدند.

## نتایج و بحث

مقادیر آب آبیاری، عملکرد دانه و بهره‌وری آب تیمارهای مورد مطالعه در سال‌های ۲۰۰۷، ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ به ترتیب در جداول ۳، ۴ و ۵ آمده است. همان‌طور که از نتایج پیداست، در سال ۲۰۰۷ مقدار عملکرد دانه از ۱۳۸۰۰ کیلوگرم بر هکتار در آبیاری بارانی به ترتیب به ۱۶۴۰۰ و ۱۷۴۰۰ کیلوگرم بر هکتار در آبیاری قطره‌ای سطحی (DI) و (FI) رسیده است. بین تیمارهای آبیاری قطره‌ای از نظر عملکرد تفاوت معنی‌داری وجود ندارد، اما اختلاف بین عملکرد این دو تیمار با آبیاری بارانی معنی‌دار است. اختلاف عملکرد بین دو تیمار (DI) و (FI) معنی‌دار نبوده اما تیمار (DI) به‌علت کاهش ۲۸ درصد آب مصرفی نسبت به (FI)، برتری نشان داد. بررسی توامان عملکرد و میزان آب مصرفی، نشان از افزایش ۳۲ و ۱/۷ درصد میزان بهره‌وری آب در سامانه آبیاری قطره‌ای (DI) نسبت به سامانه‌های آبیاری قطره‌ای (FI) و بارانی داشت (جدول ۳). در سال ۲۰۰۸ میزان آب مصرفی در دو سامانه SDI 120 و SDI 160 به ترتیب حدود ۴۲ و ۳۰ درصد نسبت به آبیاری بارانی کاهش و میزان عملکرد دانه در هر دو تیمار حدود ۱۸ درصد نسبت به آبیاری بارانی افزایش یافته است. فردی و همکاران (۲۰۰۳) کاهش ۳۵ تا ۵۵ درصدی آب مصرفی در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در مقایسه با روش‌های سنتی آبیاری برای گیاه ذرت را گزارش نمودند. اختلاف میزان عملکرد دو تیمار آبیاری قطره‌ای زیرسطحی معنی‌دار نیست، اما اختلاف بین عملکرد این دو تیمار با آبیاری بارانی معنی‌دار است.

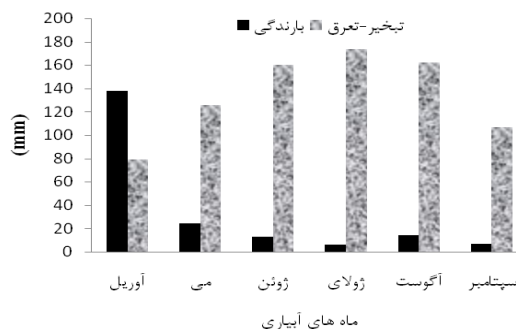
آیارس و همکاران (۱۹۹۹) در تحقیقات ۱۵ ساله خود در آزمایشگاه‌های تحقیقاتی مدیریت آب در کالیفرنیا، بالا بودن میزان عملکرد ذرت و بهره‌وری آب در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی را نسبت به سامانه‌های دیگر گزارش کردند. وایتاکر و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند در روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی عملکرد پنبه هشت درصد و بهره‌وری مصرف آب ۱۵ درصد بیشتر از آبیاری بارانی است. اختلاف عملکرد میان دو تیمار SDI 120 و SDI 160 معنی‌دار نیست اما SDI 120 سبب کاهش ۱۷ درصد مصرف آب نسبت به SDI 160 گردید. بهره‌وری آب در SDI 120 و SDI 160 به ترتیب ۱۰۴ و ۷۰ درصد نسبت به آبیاری بارانی افزایش یافته است (جدول ۴). در سال ۲۰۰۹ میزان آب مصرفی در تیمارهای SDI 160 و SDI 120 به ترتیب حدود ۲۱ و ۱۶ درصد نسبت به سامانه بارانی کاهش یافت در صورتی که میزان عملکرد دانه در هر دو تیمار ۲۸ و ۳۶ درصد نسبت به سامانه بارانی افزایش یافته است.

اختلاف عملکرد بین دو تیمار SDI 120 و SDI 160 با سامانه بارانی معنی‌دار است. بین عملکرد دو سامانه زیرسطحی تفاوت معنی‌داری وجود ندارد، اما سامانه SDI 120 باعث کاهش ۵/۷ درصد آب مصرفی شده است و بهره‌وری آب در دو سامانه SDI 120 و SDI 160 به ترتیب حدود ۶۴ و ۶۳ نسبت به سامانه بارانی افزایش یافته است (جدول ۵). با توجه به اینکه میزان کاهش آب مصرفی در سامانه‌های زیرسطحی نسبت به بارانی در سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ عکس یکدیگر هستند و نیز اختلاف عملکرد بین این دو تیمار در این دو سال معنی‌دار نیست، انتخاب سامانه بهینه مشکل و نیازمند محاسبه سایر شاخص‌های بهره‌وری آب است.



(ب)

(الف)



(ج)

شکل ۱- مقادیر بارندگی و تبخیر-تعرق در ماه‌های مختلف آبیاری سال‌های (الف) ۲۰۰۷، (ب) ۲۰۰۸ و (ج) ۲۰۰۹

جدول ۱- دمای هوا در ماه‌های مختلف فصل زراعی در ایستگاه تحقیقاتی ایرستنا

ماه	۲۰۰۷	۲۰۰۸	۲۰۰۹	بلند مدت ۱۹ ساله
آوریل	۱۵/۳	۱۲/۶	۱۳/۵	۱۳/۵
می	۱۷/۹	۱۶/۷	۱۸/۳	۱۷/۴
ژوئن	۲۱	۲۱/۱	۲۱/۹	۲۱
ژولای	۲۲/۶	۲۲/۸	۲۳/۷	۲۳/۴
آگوست	۲۲/۶	۲۲/۷	۲۴/۴	۲۳/۴
سپتامبر	۱۸/۸	۱۸	۱۹/۹	۱۹/۳

جدول ۲- مشخصات خاک منطقه

عمق (cm)	رس (%)	سیلت (%)	شن (%)	بافت خاک
۰-۳۰	۱۸/۴	۴۲	۳۹/۳	لوم
۳۰-۶۰	۱۷/۶	۴۳/۶	۳۸/۸	لوم
۶۰-۹۰	۲۰/۲	۴۷/۴	۳۲/۴	لوم
۹۰-۱۲۰	۲۰/۲	۵۴/۶	۲۲/۲	سیلتی لوم
۱۲۰-۱۵۰	۲۶/۷	۴۸	۲۵/۲	لوم

جدول ۳- عمق آب آبیاری، عملکرد دانه و بهره‌وری مصرف آب (WP) در تیمارهای سال ۲۰۰۷

تیمار	عمق آب آبیاری (mm/ha)	عملکرد دانه (kg/ha)	بهره‌وری آب (kg/m <sup>3</sup> )
آبیاری بارانی	۲۶۲	۱۳۸۰ <sup>a</sup>	۵/۲۷ <sup>a</sup>
آبیاری قطره‌ای نواری (FI)	۴۳۰	۱۷۴۰ <sup>b</sup>	۴/۰۵ <sup>b</sup>
آبیاری قطره‌ای نواری (DI)	۳۰۶	۱۶۴۰ <sup>b</sup>	۵/۳۶ <sup>b</sup>

جدول ۴- عمق آب آبیاری، عملکرد دانه و بهره‌وری مصرف آب (WP) در تیمارهای سال ۲۰۰۸

تیمار	عمق آب آبیاری (mm/ha)	عملکرد دانه (kg/ha)	بهره‌وری آب (kg/m <sup>3</sup> )
آبیاری بارانی	۳۳۶	۱۳۷۰ <sup>a</sup>	۳/۷۸ <sup>a</sup>
SDI 120	۱۹۴	۱۵۰۰ <sup>b</sup>	۷/۷۳ <sup>b</sup>
SDI 160	۲۳۵	۱۵۱۰ <sup>b</sup>	۶/۴۳ <sup>b</sup>

جدول ۵- عمق آب آبیاری، عملکرد دانه و بهره‌وری مصرف آب (WP) در تیمارهای سال ۲۰۰۹

تیمار	عمق آب آبیاری (mm/ha)	عملکرد دانه (kg/ha)	بهره‌وری آب (kg/m <sup>3</sup> )
آبیاری بارانی	۳۱۵	۹۲۰ <sup>a</sup>	۲/۹۲ <sup>a</sup>
SDI 120	۲۶۳	۱۲۶۰ <sup>b</sup>	۴/۷۹ <sup>b</sup>
SDI 160	۲۴۸	۱۱۸۰ <sup>b</sup>	۴/۷۶ <sup>b</sup>

جدول ۶- درآمد کل، شاخص BPD، هزینه‌ها و شاخص NBPD در تیمارها

تیمار	سال	درآمد کل (€/ha)	BPD (€/m <sup>3</sup> )	هزینه‌ها (€/ha)	NBPD (€/m <sup>3</sup> )
آبیاری بارانی	۲۰۰۷	۲۹۳۹/۹۴	۱/۱۲	۱۸۹۵/۸۲	-۰/۴
آبیاری قطره‌ای نواری (FI)	۲۰۰۷	۳۶۷۰/۲۶	-۰/۸۵	۲۱۷۷/۱۴	-۰/۳۵
آبیاری قطره‌ای نواری (DI)	۲۰۰۷	۳۴۷۶/۴۶	۱/۱۴	۲۰۱۱/۸۵	-۰/۴۸
آبیاری بارانی	۲۰۰۸	۱۸۵۱/۹۴	-۰/۵۵	۱۹۶۰/۱۶	-۰/۰۳
SDI 120	۲۰۰۸	۲۲۸۴/۷۴	۱/۱۸	۱۹۸۸/۰۷	-۰/۱۵
SDI 160	۲۰۰۸	۲۲۹۹/۱۴	-۰/۹۸	۲۰۰۶/۸۶	-۰/۱۲
آبیاری بارانی	۲۰۰۹	۱۳۷۵/۹۴	-۰/۴۴	۱۹۹۴/۴۶	-۰/۲
SDI 120	۲۰۰۹	۱۸۳۸/۳۴	-۰/۷	۲۰۸۰/۰۵	-۰/۰۹
SDI 160	۲۰۰۹	۱۷۳۹/۵۴	-۰/۷	۲۰۲۴/۱۹	-۰/۱۲

داشته است. محاسبه شاخص NBPD نشان داد که که اجرای هر سه سامانه بارانی، قطره‌ای نواری (FI) و (DI) در سال ۲۰۰۷ اقتصادی بوده است و سامانه (DI) بیشترین سود خالص را به همراه داشته است. در سال ۲۰۰۸ اجرای سامانه بارانی اقتصادی نیست و اجرای SDI 120 سود خالص بیشتری را دارا می‌باشد. در سال ۲۰۰۹ مقدار این شاخص برای هر سه تیمار منفی شده است و نشانگر اقتصادی نبودن اجرای تیمارها می‌باشد. بنابراین شرایط اقلیمی نیز بر سودآور یا زیان‌ده بودن یک سامانه مؤثر است. عمق آب آبیاری با توجه به میزان تبخیر- تعرق و بارندگی در ماه‌های آبیاری تعیین شده است. میزان تبخیر- تعرق در سال ۲۰۰۹ بیشتر، در حالی که میزان بارندگی آن کمتر از سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۰۸ بوده است. به علت

مقادیر درآمد کل، هزینه‌ها و شاخص‌های BPD و NBPD محاسبه شد (جدول ۶). قیمت فروش ذرت به ازای هر تن در سال ۲۰۰۷، ۲۰۰۴ یورو بوده است، در صورتی که قیمت آن در سال ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ نسبت به سال ۲۰۰۷ به ترتیب ۱۴۴ و ۱۳۶ یورو یعنی به ترتیب ۲۹ درصد و ۳۳ درصد کاهش داشته است (فائو استات، ۲۰۱۴). برآورد شاخص BPD نشانگر این است که مقدار این شاخص در سال ۲۰۰۷ با تغییر سامانه از بارانی به آبیاری قطره‌ای نواری (به علت آب مصرفی بیشتر) نسبت به روش مرسوم در منطقه (آبیاری بارانی) چندان بهبود نیافته است. در سال ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ به علت آب مصرفی کمتر و عملکرد بیشتر، مقدار BPD در هر دو سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نسبت به سامانه بارانی افزایش

آب و نسبت منفعت به هزینه در تیمار DI بیشتر از FI است، اما مقایسه نسبت تفاوت منافع به هزینه‌ها در تیمارها نشان داد که  $\Delta B/\Delta C > 1$  است در نتیجه طرح با هزینه بیشتر (آبیاری قطره‌ای نواری (FI)) روش اقتصادی‌تر نسبت به DI است. در سال ۲۰۰۸، نسبت منافع به هزینه در تیمارهای قطره‌ای نواری بیشتر از یک است و دارای توجیه اقتصادی است، اما در آبیاری بارانی کمتر از یک است و اجرای طرح اقتصادی نمی‌باشد. محاسبه نسبت تفاوت منافع به هزینه‌ها بین تیمارها نشان داد که سامانه قطره‌ای SDI 120 اقتصادی‌ترین روش در این سال می‌باشد. مقدار B/C در سال ۲۰۰۹ برای هر سه تیمار آبیاری کمتر از یک بوده است و بیانگر اقتصادی نبودن طرح‌ها در این سال می‌باشد.

کمبود آب در سال ۲۰۰۹ امکان آبیاری بیشتر وجود نداشته در نتیجه عملکرد دانه نسبت به سال ۲۰۰۸ کاهش چشمگیری داشته است. از طرفی قیمت فروش محصول هم کاهش یافته و این امر باعث کاهش درآمد کل شد. در نتیجه این سامانه توانست در این سال سود خالصی را برای کشت ذرت به همراه داشته باشد (جدول ۶).

برای ارزیابی اقتصادی تیمارها نسبت منفعت به هزینه محاسبه شده است (جدول ۷). مقدار B/C در سال ۲۰۰۷ در همه تیمارها بیشتر از یک است، هر سه سامانه دارای توجیه اقتصادی است. ترک‌نژاد و همکاران (۱۳۸۵) در ارزیابی اقتصادی دو روش آبیاری قطره‌ای و سطحی برای گندم عنوان کردند، به علت اینکه در هر دو روش آبیاری مقدار  $B/C > 1$  است، هر دو روش دارای توجیه اقتصادی می‌باشند. با اینکه مقدار شاخص‌های بهره‌وری

جدول ۷- شاخص (B/C) در تیمارهای آبیاری مورد مطالعه

تیمار	سال	(B/C)
بارانی	۲۰۰۷	۱/۵۵
آبیاری قطره‌ای نواری (FI)	۲۰۰۷	۱/۶۹
آبیاری قطره‌ای نواری (DI)	۲۰۰۷	۱/۷۳
بارانی	۲۰۰۸	۰/۹۴
SDI 120	۲۰۰۸	۱/۱۵
SDI 160	۲۰۰۸	۱/۱۶
بارانی	۲۰۰۹	۰/۶۹
SDI 120	۲۰۰۹	۰/۸۸
SDI 160	۲۰۰۹	۰/۸۵

میزان بارندگی و افزایش میزان تبخیر-تعرق در این سال است. میزان آب آبیاری نتوانسته نیاز گیاه را به‌طور کامل تأمین کند و همچنین گیاه نتوانسته از ذخیره موجود در خاک به خوبی استفاده کند. هم چنین کاهش قیمت فروش محصول در این سال نسبت به سال ۲۰۰۸ باعث منفی شدن میزان سود خالص شده است. پیشنهاد می‌شود برای جبران چنین مشکلاتی دولت میزان یارانه را افزایش دهد چون مبلغ یارانه به مقدار درآمد کل افزوده می‌شود. افزایش و یا حداقل ثابت ماندن قیمت فروش محصول نسبت به سال ماقبل خود می‌تواند ضررهای ناشی از کمبود آب را تا حدود زیادی جبران نماید. همچنین شبیه-سازی جبهه رطوبتی خاک برای بررسی جذب آب توسط

در سال ۲۰۰۷ با توجه به محاسبه نسبت تفاوت منافع به هزینه تیمار (FI) اقتصادی‌تر و با مصرف آب بیشتر، بیشترین سود خالص را به همراه داشت. در سال ۲۰۰۸ بررسی شاخص‌های بهره‌وری آب برتری تیمارهای زیرسطحی را نسبت به آبیاری بارانی نشان داد و از میان دو تیمار آبیاری قطره‌ای نواری، تیمار SDI 120 به علت مصرف آب کمتر اقتصادی‌تر است و اجرای آن سود خالص بیشتری را به همراه داشت. در سال ۲۰۰۹ شاخص بهره‌وری آب در تیمارهای آبیاری زیرسطحی به علت افزایش عملکرد و کاهش میزان مصرف آب نسبت به آبیاری بارانی بیشتر است. اما با بررسی اقتصادی هیچ یک از تیمارها سود خالصی را دارا نبودند. علت آن کاهش



خوراک دام (به‌خصوص طیور) و دانه‌های روغنی را از خارج کشور وارد می‌کند که ذرت یکی از اقلام آن می‌باشد. با توجه به اینکه یکی از عوامل عدم توسعه کشت ذرت در ایران عدم دسترسی به آب کافی و پایین بودن بازدهی آبیاری با روش‌های آبیاری مرسوم است و کشور ایران همانند فرانسه با مشکل کمبود آب و پراکنش نامناسب زمانی بارش در ماه‌های سال مواجه است، می‌توان از استراتژی ارائه شده در این تحقیق در ایران برای توسعه کشت ذرت استفاده نمود.

محاسبه شاخص‌های WP، BPD، NBPD و B/C نشان داد که بهره‌برداری از SDI 120 در این منطقه که با مشکل کمبود آب مواجه است اقتصادی‌تر است و سود خالص بیشتری را به همراه خواهد داشت. آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به علت کاهش تبخیر از سطح خاک و افزایش راندمان آبیاری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و به همین علت حرکت‌های جهانی به سوی انتخاب و حتی جایگزینی این روش به جای سایر روش‌های آبیاری صورت گرفته است. با توجه به اینکه در کشور ما، ۸۵ درصد هزینه‌های طراحی و اجرای سامانه‌های آبیاری تحت فشار توسط دولت به‌عنوان یارانه در اختیار کشاورز قرار می‌گیرد، اجرای سامانه آبیاری قطره‌ای نواری زیرسطحی می‌تواند مورد توجه سیاست‌گذاران و کارشناسان این بخش قرار گیرد؛ چرا که در حال حاضر تولید کنندگان داخلی توانایی تولید لوله‌های آبدار دارند و بهره‌وری آب این سامانه نیز بسیار مناسب‌تر از سایر سامانه‌ها می‌باشد.

دلیل عمده عدم کشت ذرت در بسیاری از مناطق مرکزی ایران عدم دسترسی به آب کافیست. با توجه به اینکه این سامانه دارای بهره‌وری آب بسیار بالایی است لذا می‌تواند برای توسعه کشت ذرت و سایر محصولات زراعی مدنظر قرار گیرد. در استان قزوین که با مشکل کمبود آب مواجه است یکی از کشاورزان پیشرو به کمک مرکز تحقیقات کشاورزی استفاده از آبیاری قطره‌ای نواری زیرسطحی را برای کشت گندم و یونجه

ریشه در این سال توصیه می‌شود. به‌طور کلی از لحاظ شاخص‌های بهره‌وری آب و B/C روش‌های آبیاری قطره‌ای (سطحی و زیرسطحی) بهتر از آبیاری بارانی (روش مرسوم آبیاری در منطقه) است. پژوهش سافونتاس (۱۹۸۵) نیز نشان داد که آبیاری قطره‌ای باعث افزایش ۳۵ درصدی تولید ذرت در مقایسه با آبیاری بارانی می‌شود. به علت مشکلاتی نظیر جمع‌آوری نوارهای تیپ در پایان فصل، خطر پارگی نوارهای تیپ توسط حشرات جونده، افزایش میزان تبخیر- تعرق و در نتیجه افزایش مصرف آب، روش‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بر روش‌های آبیاری قطره‌ای سطحی ارجح می‌باشد.

پایین نگه‌داشتن شوری در ناحیه ریشه گیاه هنگام استفاده از آب با شوری بالا (اورن و همکاران، ۲۰۰۲) و همچنین توزیع یکنواخت‌تر ریشه‌های ذرت در لایه خاک (ابراهیمی‌زاده و حسن‌لی، ۱۳۸۷) افزایش محصول نسبت به سایر روش‌ها از جمله آبیاری قطره‌ای سطحی و میزان آب کاربردی کمتر (کمپ، ۱۹۹۸ و کمپ و همکاران، ۱۹۸۹) از دیگر دلایل ارجحیت آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بر آبیاری قطره‌ای سطحی می‌باشد. از میان دو تیمار آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، بهره‌برداری از SDI 120 اقتصادی‌تر است. در این تحقیق آبیاری قطره‌ای زیرسطحی SDI 120 به عنوان روش پیشنهادی در منطقه معرفی می‌شود. اما توجه به شرایط اقلیمی منطقه و نوع محصول در انتخاب روش مناسب آبیاری بسیار حائز اهمیت است. چون ممکن است یک سامانه برای یک محصول و منطقه دارای الویت بهره‌برداری باشد اما برای منطقه و محصول دیگر مناسب نباشد.

### نتیجه‌گیری

در این پژوهش سه سامانه آبیاری بارانی، آبیاری قطره‌ای سطحی (FI و DI) و آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (SDI 120 و SDI 160) در منطقه مونپلیه (جنوب فرانسه) از لحاظ شاخص‌های بهره‌وری آب و B/C مورد مقایسه و تحلیل قرار گرفت. کشور ما بخش عمده‌ای از

محدود کننده خاکی از قبیل عمق خاک، وجود سنگریزه و سایر محدودیت‌های مرتبط با سامانه‌های زیرسطحی توجه شود. پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های مشابه برای این سامانه‌ها در شرایط منطقه‌ای در راستای انتخاب مناسب‌ترین روش از جنبه‌های فنی و اقتصادی انجام شود. الگوبرداری از این پژوهش به منظور استفاده بهینه از منابع آب کشور و یارانه اختصاصی به کشاورزان با توجه به بروز خشک‌سالی‌های مستمر و بحران فزاینده آب در کشور توصیه می‌شود.

به کار برده و نتایج مناسبی گرفته است. با توجه به دوام مناسب سامانه و مصرف کمتر آب و انرژی، سودآوری این سامانه نیز بهتر از سایر روش‌ها خواهد بود. در کشاورزی هدف افزایش عملکرد در واحد سطح است، در صورتی که در کشور ما با توجه به محدودیت آب و نه محدودیت زمین باید هدف افزایش تولید به ازای واحد آب مصرفی باشد که این سامانه دقیقاً در راستای این هدف تعریف شده چرا که باعث حذف یا کاهش شدید تبخیر از سطح خاک می‌شود. شایان ذکر است بایستی به محدودیت کاربرد آب‌های شور در سامانه‌های زیرسطحی، عوامل

### فهرست منابع

۱. ابراهیمی‌زاده، م.ع و ع.م. حسن‌لی. ۱۳۸۷. بررسی توسعه ریشه ذرت و تأثیر آن بر کاهش مصرف آب در روش‌های مختلف آبیاری با پساب در دشت نیمه‌خشک کربال در استان فارس، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال ۱۲، شماره ۴۴. ص ۸۲-۶۹.
۲. احمدآلی، ج و م. خلیلی. ۱۳۸۸. بررسی عملکرد و کارایی مصرف آب در سیستم‌های آبیاری قطره‌ای نواری (تیپ) و جوی پشته‌ای در وضعیت کشت یک ردیفه و دو ردیفه در ذرت دانه‌ای، مجله آبیاری و زهکشی ایران، شماره ۲، جلد ۳، ص ۷۸-۷۱.
۳. افشار، ه.، ش. اشرفی، و ه. حسن زاده مقدم. ۱۳۸۶. کاربرد آبیاری قطره‌ای زیر سطحی و سطوح مختلف آبیاری در زراعت ذرت دانه‌ای رقم کرج ۷۰۰ در منطقه مشهد، سمینار علمی طرح ملی آبیاری تحت فشار و توسعه پایدار، ص ۲۹۳-۲۸۳.
۴. ترک‌نژاد، ا.، م. آقای سربرزه، ح. جعفری، ع.ر. شیروانی، ر. روئین‌تن، ع. نعمتی، و خ. شهبازی. ۱۳۸۵. ارزیابی فنی و اقتصادی روش آبیاری قطره‌ای در گندم و مقایسه‌ی آن با روش آبیاری سطحی. مجله پژوهش و سازندگی، شماره ۷۲، ص ۴۴-۳۶.
۵. جوان، ج و م. فال سلیمان، ۱۳۸۷. بحران آب و لزوم توجه به بهره‌وری آب کشاورزی در نواحی خشک، مطالعه موردی دشت موردی: دشت بیرجند، مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۱۱، ص ۱۳۸-۱۱۵.
۶. حامدی، ف.، ح. جعفری، ج. قادری و ر. زنگنه. ۱۳۸۴. مقایسه سیستم آبیاری قطره‌ای نواری و سطحی از طریق سطوح مختلف نیاز آبی بر عملکرد ذرت، مجموعه مقالات نهمین کنگره علوم خاک ایران، دانشگاه تهران.
۷. دهقانی‌سانچ، ح. ۱۳۹۱. عملکرد و کارایی مصرف آب ذرت تحت آبیاری بارانی با سطوح مختلف شوری، مجله آبیاری و زهکشی، شماره ۱، جلد ۶. ص ۵۴-۴۶.
۸. سپه‌وند، م. ۱۳۸۸. مقایسه نیاز آبی، بهره‌وری آب و بهره‌وری اقتصادی آن در گندم و کلزا در غرب کشور در سال‌های پر باران، اصفهان، مجله پژوهش آب ایران، شماره ۴، ص ۶۸-۶۳.

۹. قائمی، ع.ا و س. صدری، ۱۳۹۰. تأثیر کم آبیاری با روش‌های آبیاری قطره‌ای (نواری) و جویچه‌ای معمولی و یک ردیف در میان بر عملکرد چغندر، نشریه دانش آب و خاک، جلد ۲۱، شماره ۳، ص ۱۳۷-۱۲۷.
10. Ayars, J.E., Phene, C.J., Hutmacher, R.B., Davis, K.R., Schoneman, R.A., Vail, S.S and Mead, R.M. 1999. Subsurface Drip Irrigation of Row Crops, a review of 15 years of research at the Water Management Research Laboratory, Agricultural Water Management 42(1): 1-27.
  11. Anonymous, 2014. (in site: <http://faostat.fao.org/site/351/default.aspx>.)
  12. Basal, H., Dagdelen, N., Unay, A and Yilmaz, E. 2009. Effects of deficit drip irrigation ratios on Cotton (*Gossypium Hirsutum*) yield and fiber quality. Agronomy and Crop Science 195(1): 19-29.
  13. Camp, C.R. 1998. Subsurface drip irrigation: A Review. Transactions of the ASAE. 41(5): 1353-1367.
  14. Camp, C.R. Sadler, E.J and Bussche, W.j.r. 1989. Subsurface and alternate middle micro irrigation for the southeastern. Transaction coastal plain of the ASAE 32(2): 451-456.
  15. Di Paolo, E and Rinaldi, M. 2009. Yield response of Corn to Irrigation and Nitrogen Fertilization in a Mediterranean Environment, Field Crops Research 105(3): 202-210.
  16. Freddie, R. Lamm, A.E and Trooien, P. 2003. Subsurface drip irrigation for corn production: a review of 10 years of research in Kansas. Irrigation - Science 22: 195-200.
  17. Hernandez, B., Avila, E.C., Olan, J.J., Lopez, J.F and Navarr., L.A. 2010. Morphological quality of Sweet Corn Ears as Response to Soil Moisture Tension and Phosphate Fertilization in Campech. Mexico Agricultural Water Management 97: 1365-1374.
  18. Inamdar, P. 1995. Economic efficiency of bewail drip irrigation sugarcane production. Bharatiya Sugar 22(2): 43-48.
  19. Khaledian, M.R., Mailhol, J.P., Ruelle, Mubarak, I. and Maraux, F. 2011. Nitrogen balance and Irrigation Water Productivity for Corn, Sorghum and Durum Wheat under Direct Seeding into Mulch When Compared with Conventional Tillage in the Southeastern France. Irrigation Science 16(4): 371- 380.
  20. Khaledian, M.R and Ruelle, p. 2012. Study the Effects of No Tillage System under Crop Mulch on Evapotranspiration. Journal of Water and Soil 26(2): 372-380.
  21. Oron, G., Demalch, Y., Gillerman, L., David, I and Lurie, S. 2002. Effect of Water Salinity and Irrigation Technology on Yield and Quality of Pears. Biosystems Engineering 81(2): 137-247.
  22. Playan, E and Mateos, L. 2006. Modernization and optimization of irrigation systems to increase water productivity. Agriculture Water Management 80(1-3): 100-116.
  23. Rodrigues, G.C and Pereira L.S. 2009. Assessing economic impacts of deficit irrigation as related to water productivity and water costs Biosystems Engineering 103: 536-551.
  24. Safontas, J.E and Di Paola, J.C. 1985. Drip irrigation of maize. Drip/Trickle irrigation congress 2: 575-578.

25. Sivanapan,R.K. 1994. Prospects of Micro Irrigation in India. Irrigation and Drainage Systems 8(1): 49-58.
26. Viets FGJr 1962. Fertilizers and the efficient use of water. Adv Agron 14: 223–264 .
27. Whitaker,R. J., Ritchie, L. G., Bednarzand, W. C and. Mills, I.C. 2008. Cotton Subsurface Drip and Overhead Irrigation Efficiency, Maturity, Yyield, and Quality. Am. Soc. Agron. 100: 1763–1768.