

اثر روش‌های آبیاری قطره‌ای نواری سطحی و زیرسطحی بر عملکرد و کارایی مصرف آب گوجه‌فرنگی و توزیع نمک در پروفیل خاک

مهرداد نوروزی^{۱*} و مختار زلفی باوریانی^۲

چکیده

در استان بوشهر به دلیل وضعیت آب و هوایی خشک و نیمه‌خشک و بارش جوی کم، آب مهم‌ترین عامل محدودکننده توسعه کشاورزی است؛ لذا به کارگیری روش‌های نوین آبیاری با هدف جلوگیری از هدر رفتن آب، امری اجتناب‌ناپذیر است. به تازگی در این استان از نوارهای قطره‌ای برای آبیاری مزارع گوجه‌فرنگی استفاده می‌شود که این شیوه، توسعه خوبی داشته است. برای بررسی اثر روش‌های مختلف قرارگیری نوارهای قطره‌ای بر عملکرد و کارایی مصرف آب گوجه‌فرنگی آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار حالت قرارگیری نوار قطره‌ای شامل T1 قرارگیری نوارهای آبیاری روی سطح زمین؛ T2 قرارگیری نوارهای آبیاری داخل جوی‌های سطحی؛ T3 قرارگیری نوارهای آبیاری در عمق حدود ۱۰ سانتی‌متر و T4 قرارگیری نوارهای آبیاری در عمق حدود ۲۰ سانتی‌متر از سطح زمین، در سه تکرار و طی سه فصل زراعی (۸۹-۱۳۸۶) اجراء شد. برای محاسبه نیاز آبی از روش پنمن-مانتیت-فائو استفاده شد. دور آبیاری به صورت یک روز در میان و برای کنترل میزان آبیاری کرت‌ها از کنتور حجمی استفاده شد. بر اساس نتایج به دست آمده در تیمارهای زیرسطحی، عملکرد محصول و کارایی مصرف آب آبیاری نسبت به استقرار سطحی افزایش داشت؛ به گونه‌ای که بیشترین عملکرد (۴۸ تن در هکتار) و کارایی مصرف آب (۹/۴ کیلوگرم بر مترمکعب) مربوط به T3 بود. همچنین، با افزایش عمق استقرار از ۱۰ سانتی‌متر به ۲۰ سانتی‌متر، عملکرد و کارایی مصرف آب کاهش داشت و کمترین عملکرد و کارایی مصرف آب مربوط به تیمار T1 بود؛ با وجود این تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای T2 و T3 وجود نداشت. در اواخر فصل رشد به دلیل نیاز تبخیر اتمسفر حرکت نمک به سمت بالا افزایش داشت؛ ولی این افزایش تحت تأثیر عمق استقرار نوار قطره‌ای متفاوت بود. لذا روش قرارگیری نوار آبیاری در داخل جوی سطحی به دلیل سهولت مدیریت و بهره‌برداری از سیستم آبیاری و نیز آشنایی بهتر نمک از محیط ریشه پیشنهاد شد.

واژه‌های کلیدی: شوری خاک، مدیریت آبیاری، نیاز آبی، نوار قطره‌ای.

ارجاع: نوروزی م. و زلفی باوریانی م. ۱۳۹۹. اثر روش‌های آبیاری قطره‌ای نواری سطحی و زیرسطحی بر عملکرد و کارایی مصرف آب گوجه‌فرنگی و توزیع نمک در پروفیل خاک. مجله پژوهش آب ایران. ۳۹: ۷۷-۸۶.

۱- استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان بوشهر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بوشهر.
۲- استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان بوشهر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بوشهر.

* نویسنده مسئول: nowroozi50@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۱/۱۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۰۹

مقدمه

استفاده از روش‌های آبیاری نوین، با هدف جلوگیری از هدر رفت آب در بخش کشاورزی امری ضروری است. در این میان، آبیاری قطره‌ای به دلیل خصوصیات فنی خاص و وضعیت مناسبی که در محیط ریشه به لحاظ تغذیه، تهویه، رطوبت و شوری ایجاد می‌کند، از اهمیت ویژه برخوردار است (سلیم و همکاران، ۲۰۱۳). چندین دهه پژوهش، نشان داده است که در وضعیت یکسان، روش قطره‌ای نسبت به سایر روش‌های مرسوم آبیاری باعث افزایش بهره‌وری مصرف آب در محصولات مختلف می‌شود. در سال‌های اخیر، استفاده از نوارهای قطره‌ای (تیپ) برای آبیاری محصولات زراعی به دلیل برخی مزایای نسبی رو به گسترش است. در این روش، روزنه‌هایی در فواصل مساوی در لوله‌های باریک با دیواره انعطاف‌پذیر به نام نوار آبیاری یا نوار قطره‌ای^۱ تعبیه شده‌اند و آب با دبی مشخص از طریق آن‌ها به داخل خاک جریان می‌یابد و خاک ناحیه ریشه را مرطوب می‌کند (فوکیدس، ۲۰۰۷). نوارهای قطره‌ای یا روی سطح زمین یا به صورت مدفون زیر سطح زمین (آبیاری قطره‌ای زیرسطحی^۲) قرار می‌گیرند. روش قطره‌ای زیرسطحی طبق استاندارد شماره S2526.1 انجمن مهندسی کشاورزی آمریکا^۳ عبارت است از پخش آب از طریق قطره‌چکان در زیر سطح خاک با آبدهی مشابه با روش آبیاری قطره‌ای سطحی (سینوباس و همکاران، ۲۰۱۲). در گزارش‌های مختلف کاهش تبخیر، کاهش فرورشت آب و عناصر غذایی، سهولت کنترل علف هرز از مزایای روش قطره‌ای زیرسطحی نسبت به سایر روش‌های معمول آبیاری (روش‌های سطحی و بارانی) و از طرفی احتمال کاهش یکنواختی توزیع رطوبت در اثر گرفتگی قطره‌چکان‌ها و عدم امکان کشف آن و کندی حرکت آب به طرف بالا در خاک‌های درشت بافت از محدودیت‌های آن بیان شده است (لازارویچ و همکاران، ۲۰۰۶). از مزیت‌های دیگر قرارگیری زیرسطحی نوارهای قطره‌ای، می‌توان به افزایش طول عمر آن، سهولت استفاده از ادوات کشاورزی و امکان استفاده زیرسطحی از منابع فاضلابی و جلوگیری از تماس مستقیم انسان با آب‌های آلوده و نیز جلوگیری از پخش بوی فاضلاب در هوا اشاره کرد (مارتینز و رکا، ۲۰۱۴). اساساً آبیاری قطره‌ای

زیرسطحی باعث یکنواختی بیشتر توزیع رطوبت در پروفیل خاک، کاهش تلفات تبخیر و در نهایت، باعث افزایش کارایی مصرف آب می‌شود؛ ولی پارامتر خیلی مهم در طراحی این روش، عمق مناسب قرارگیری نوارهای آبیاری است که تحت تأثیر عواملی مانند نوع خاک، آبدهی و فاصله قطره‌چکان‌ها و عمق ریشه گیاه قرار دارد (مالی و همکاران، ۲۰۱۶)؛ زیرا عمق قرارگیری نوارها، شکل و ابعاد ناحیه خیس شده را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد (پاتل و راجپوت، ۲۰۰۷). به طور کلی افزایش عمق قرارگیری نوارها فراتر از یک حد مشخص، باعث کاهش عملکرد محصول می‌شود؛ برای نمونه در مطالعه برایلا و همکاران (۲۰۰۳) عملکرد باقلا در عمق ۴۵-۳۰ سانتی‌متر بیشتر از عملکرد آن در عمق ۶۰ سانتی‌متر گزارش شده است. همچنین مارولی و سیلوا (۲۰۰۲) گزارش کرده‌اند که افزایش عمق قرارگیری قطره‌چکان‌ها از ۲۰ سانتی‌متر به ۴۰ سانتی‌متر منجر به کاهش ۳۲ درصدی عملکرد گوجه‌فرنگی می‌شود. همچنین بوزکورت و منصوراوغلو (۲۰۱۸) در بررسی پاسخ عملکردی لوبیا سبز به عمق قرارگیری نوارهای قطره‌ای در وضعیت گلخانه‌ای از بین اعماق ۰، ۱۰ و ۲۰ سانتی‌متر، عمق ۱۰ سانتی‌متر را پیشنهاد کردند.

مالی و همکاران (۲۰۱۶) در بررسی اثر عمق قرارگیری نوار آبیاری بر محصول خیار، عمق قرارگیری ۱۰ سانتی‌متر را برای عملکرد و کارایی مصرف آب بیشتر توصیه کردند.

پاتل و راجپوت (۲۰۰۷) در بررسی اثر اعماق مختلف قرارگیری نوار قطره‌ای (۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ سانتی‌متر) بر سیب زمینی در یک خاک لوم شنی مشاهده کردند که در حالت قرارگیری نوارها در اعماق ۵ و ۱۰ سانتی‌متر، لایه سطحی خاک، ولی در دو حالت دیگر به دلیل غلبه نیروی ثقل بر نیروی کاپیلاری حرکت عمقی رطوبت بیشتر و لایه سطحی نسبتاً خشک بود. آنان گزارش کردند عملکرد محصول به دلیل عمق ریشه کم و حساسیت به تنش رطوبتی، به شدت تحت تأثیر عمق قرارگیری نوارها قرار می‌گیرد و بر این اساس عمق ۱۰ سانتی‌متر را برای بیشترین عملکرد پیشنهاد کردند. کونگ و همکاران (۲۰۱۲) در یک پژوهش دو ساله گزارش دادند عمق قرارگیری ۲۰ سانتی‌متر نوار قطره‌ای در یک مزرعه فلفل دلمه منجر به کاهش ۷ درصدی مصرف آب و افزایش ۸/۵

1- Irrigation Tape or Drip Tape

2- Subsurface Drip Irrigation (SDI)

3- American Society of Agricultural Engineers (ASAE)

عملیات زراعی

قبل از قرارگیری سامانه آبیاری، عملیات خاکورزی شامل شخم و دیسک انجام شد. میزان، زمان و شیوه کوددهی بر اساس توصیه کارشناس تغذیه گیاهی شامل کود سوپرفسفات تریپل (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) بود که با کود حیوانی (۲۰ تن در هکتار) با خاک مخلوط شد. کود اوره (۳۸۰ کیلوگرم در هکتار) و سولفات پتاسیم (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) به صورت محلول در آب طی سه مرحله بعد از کاشت نشاءها، شروع گلدهی و شروع میوه‌دهی، مصرف شد. در شروع فصل زراعت گوجه‌فرنگی در منطقه اجرای پژوهش حاضر، خاک سطحی مزرعه در اثر هوای گرم و خشک تابستان، رطوبت لازم برای گیاهانی با ریشه سطحی را ندارد؛ لذا با فرض رطوبت خاک در وضعیت پژمردگی دائم (PWP)، دو روز قبل از انتقال نشاءها همه کرت‌ها، معادل ۴۵ میلی‌متر آب که بتواند تا عمق حدود ۵۰ سانتی‌متر را به وضعیت ظرفیت مزرعه برساند، آبیاری شدند. سپس نسبت به کشت نشاءها در دو طرف نوارهای قطره‌ای و به فاصله افقی حدود ۱۰ سانتی‌متر از لوله‌ها اقدام شد؛ به گونه‌ای که فاصله بوته‌ها روی ردیف ۵۰ سانتی‌متر رعایت شود. برای محاسبه نیاز آبیاری از معادله (۱) استفاده شد (دورنبوس و پروت، ۱۹۷۷):

$$IW = \frac{Kc \times ET_0 - Pe}{1 - LR} \quad (1)$$

که در آن، IW نیاز آبیاری بر حسب میلی‌متر، Kc ضریب گیاهی گوجه‌فرنگی، ET₀ تبخیر و تعرق پتانسیل به روش پنمن مانیتث فائو (آلن و همکاران، ۱۹۹۸) در قالب نرم‌افزار Cropwat 8.0، LR نیاز آیشویی، و Pe بارندگی مؤثر است. ضریب گیاهی در مراحل مختلف رشد با استفاده از روش چهار مرحله‌ای فائو (آلن و همکاران، ۱۹۹۸) برآورد شد که در جدول ۴ ارائه شده است. نیاز آیشویی با استفاده از معادله (۲) (دورنبوس و پروت، ۱۹۷۷) تعیین شد:

$$LR = \frac{ECiw}{2(Max EC_e)} \quad (2)$$

که در آن، ECiw شوری آب آبیاری بر حسب $dS \cdot m^{-1}$ است و $Max EC_e$ سطحی از شوری خاک که عملکرد به صفر می‌رسد و برای گوجه‌فرنگی $dS \cdot m^{-1}$ ۱۲/۵ تعیین شده است (آیزر و وستکات، ۱۹۸۵).

درصدی عملکرد محصول می‌شود. پاتل و راجپوت (۲۰۰۹) هم در گزارش خود عنوان کرده‌اند که حداکثر عملکرد و کارایی مصرف آب پیاز در وضعیت قرارگیری لوله‌ها در عمق ۱۰ سانتی‌متر حاصل می‌شود. اهمیت اقتصادی- اجتماعی گوجه‌فرنگی در استان بوشهر بیشتر به دلیل عرضه خارج از فصل محصول آن به بازار است و در سال‌های اخیر تلاش‌ها و حمایت‌های زیادی توسط دولت برای توسعه روش آبیاری قطره‌ای نواری در مزارع گوجه‌فرنگی استان انجام شده است؛ لذا تیمارهای مورد بررسی در پژوهش حاضر برای بررسی اثر قرارگیری سطحی و زیرسطحی نوارهای قطره‌ای بر عملکرد و کارایی مصرف آب گوجه‌فرنگی در نظر گرفته شدند.

مواد و روش‌ها

این پژوهش طی سه فصل زراعی (۸۹-۱۳۸۶) در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان بوشهر (E_{۳۲}، ۵۱° و ۵۱'N، ۳۵°؛ ارتفاع ۱۰۰ متر از سطح دریا) با وضعیت آب و هوایی خشک و نیمه‌خشک انجام شد. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش در جدول‌های ۱ و ۲ و برخی ویژگی‌های شیمیایی آب آبیاری نیز در جدول ۳ نوشته شده است.

طرح آزمایش و آرایش تیمارها

آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تیمار حالت‌های مختلف قرارگیری نوار قطره‌ای در سه تکرار، شامل ۱- قرارگیری نوار آبیاری روی سطح زمین (T1)، ۲- قرارگیری نوار آبیاری داخل شیارهای سطحی با عمق حدود ۱۰ سانتی‌متر و عرض ۱۵ سانتی‌متر که روش معمول کشاورزان منطقه است (T2)، ۳- قرارگیری نوار آبیاری در عمق حدود ۱۰ سانتی‌متر از سطح زمین (T3) و ۴- قرارگیری نوار آبیاری در عمق ۲۰ سانتی‌متر از سطح زمین (T4) اجراء شد. یک سامانه آبیاری قطره‌ای نواری متناسب با اهداف آزمایش و تیمارهای مورد بررسی طراحی، نصب و راه‌اندازی گردید (شکل ۱). نوار قطره‌ای از نوع SUNSTREAM ساخت کشور ترکیه به قطر ۱۶mm، ضخامت جداره ۰/۲mm، فاصله روزنه‌ها ۲۰cm و دبی اسمی ۲L/h مورد استفاده قرار گرفت. هر کرت آزمایشی به مساحت ۲۸ مترمربع و شامل دو نوار آبیاری به طول ۱۰ متر به فاصله ۱۴۰ سانتی‌متر از یکدیگر بود.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی خاک محل پژوهش

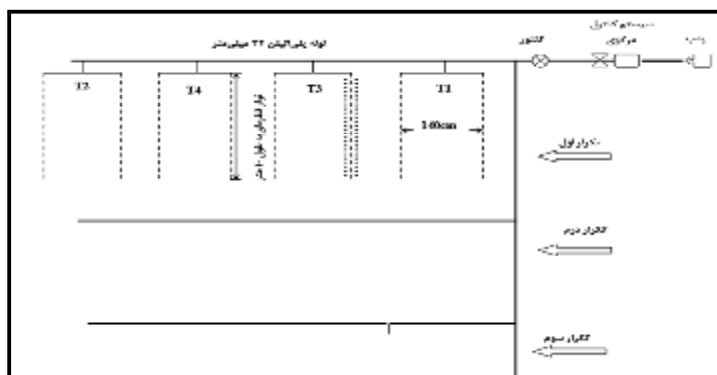
عمق (cm)	ρ_b (g/cm ³)	θ_{FC} (cm ³ .cm ⁻³)	θ_{PWP} (cm ³ .cm ⁻³)	Ksat (cm.hr ⁻¹)	Clay %	Silt %	Sand %	بافت
۰-۳۰	۱/۳۴	۰/۲۷۸	۰/۰۷۶	۱/۳۱	۱۵	۳۰	۵۵	Sandy Loam
۳۰-۶۰	۱/۴۰	۰/۲۶۲	۰/۰۷	-	۱۳	۳۱	۵۷	Sandy Loam
۶۰-۹۰	۱/۴۳	۰/۲۷۰	۰/۰۷	-	۱۲	۳۲	۵۶	Sandy Loam

جدول ۲- برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک محل اجرای پژوهش

عمق (cm)	ECe (ds/m)	pH	CEC %	O.C %	Ca ⁺⁺ Mg ⁺⁺ (meq/l)	Na ⁺ (meq/l)	Cl ⁻ (meq/l)	HCO ₃ ⁻ (meq/l)	SO ₄ ⁻ (meq/l)	SAR
۰-۳۰	۷/۳	۷/۸	۵۸	۰/۴	۵۸	۲۵	۲۰	۴	۵۹	۴/۶

جدول ۳- برخی از ویژگی‌های شیمیایی آب آبیاری در تیمارهای مختلف شوری

EC (dS.m ⁻¹)	pH	HCO ₃ ⁻ (meq/l)	Cl ⁻ (meq/l)	SO ₄ ⁻ (meq/l)	Ca ⁺⁺ Mg ⁺⁺ (meq/l)	Na ⁺ (meq/l)	SAR	LSI
۳/۷	۷/۶	۵/۵	۹/۵	۳۶	۳۶	۱۵	۲/۸	-۰/۴۵



شکل ۱- سامانه آبیاری قطره‌ای نواری اجرا شده متناسب با اهداف آزمایش به صورت شماتیک

(لیتر) و A مساحت کرت آزمایشی (مترمربع) است. برای کنترل میزان آبیاری کرت‌ها از کنتور حجمی استفاده شد. با توجه به کوچک بودن کرت‌های آزمایشی بازدهی آبیاری ۱۰۰ درصد در نظر گرفته شد. دور آبیاری غالباً به صورت یک روز در میان بود. مبارزه با آفات و بیماری‌ها با سمپاشی و وجین علف‌های هرز به صورت دستی برای تمامی تیمارها به طور یکسان انجام شد.

بررسی شوری خاک در تیمارهای مختلف

برای بررسی اثر حالت‌های مختلف قرارگیری نوارهای آبیاری بر توزیع نمک در پروفیل خاک در دو مرحله، یک بار در اواسط فصل رشد (بعد از اتمام بارندگی‌های زمستانه) و بار دیگر پس از برداشت محصول با استفاده از آگر دستی در فواصل ۰، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ سانتی‌متر نسبت به نوار آبیاری و در اعماق ۰-۳۰، ۳۰-۶۰ و ۶۰-۹۰ سانتی‌متر انجام شد. در هر سال آزمایش، از نوارهای آبیاری جدید استفاده شد.

برای تخمین باران مؤثر ده روزه از روش وزارت کشاورزی آمریکا (USDA) استفاده شد (معادله (۳)):

$$Pe = Pt(125 - 0.6Pt) / 125 \quad (3)$$

که در آن، Pt بارندگی کل در ده روز (mm) است. اطلاعات هواشناسی مورد نیاز از ایستگاه هواشناسی سینوپتیک برازجان واقع در ۱۵ کیلومتری محل اجرای آزمایش تهیه شد. کارایی مصرف آب آبیاری (IWUE) با استفاده از معادله (۴) محاسبه شد (پیرا و همکاران، ۲۰۱۲):

$$IWUE = \frac{Y}{V} \quad (4)$$

که در آن Y وزن میوه تازه گوجه‌فرنگی بر حسب کیلوگرم و V حجم آب آبیاری بر حسب مترمکعب است.

حجم آب آبیاری مورد نیاز هر کرت آزمایشی بر اساس معادله زیر محاسبه شد:

$$V_m = IW \times A \quad (5)$$

که در آن Vm حجم آب آبیاری مورد استفاده در هر کرت

جدول ۴- طول مراحل مختلف دوره رشد و درصد پوشش گیاهی

مرحله رشد	متوسط طول مرحله (ماه)	متوسط طول مرحله (روز)	درصد پوشش گیاهی (Ps)	ضریب گیاهی (Kc)
اولیه	از اواسط آبان تا اوایل دی	۴۵	کمتر از ۱۰٪	۰/۴۵
تکامل	از اوایل دی تا اوایل بهمن	۳۵	۱۰٪ تا ۸۰٪	
میانی	از اوایل بهمن تا اوایل فروردین	۵۵	۸۰٪	۱/۱۶
نهایی	از اوایل فروردین تا اواسط اردیبهشت	۳۵	۷۰٪	۰/۸

بررسی یکنواختی پخش قطره چکان‌ها

برای بررسی اثر حالت‌های مختلف قرارگیری نوار آبیاری بر یکنواختی پخش آب از روزه‌ها، هشت عدد روزه در ابتدا، یک سوم، دو سوم و انتهای نوارهای آبیاری انتخاب شدند. پس از نیم ساعت روشن بودن سیستم و برقراری توازن هیدرولیکی، قوطی‌های نمونه‌گیری در نقاط مورد نظر قرار داده شدند. با استفاده از استوانه مدرج آب جمع شده در قوطی‌ها طی مدت یک دقیقه اندازه‌گیری و سپس با استفاده از داده‌های به دست آمده ضریب یکنواختی کریستیانسن (۱۹۴۲) محاسبه شد:

$$UC = 1 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|X_i - \bar{X}|}{\bar{X}} \quad (۶)$$

که در آن UC ضریب یکنواختی کریستیانسن، n تعداد قوطی‌ها، X_i حجم آب جمع شده در قوطی نام و \bar{X} میانگین آب جمع شده در قوطی‌ها است.

تحلیل آماری

تجزیه واریانس داده‌ها (ANOVA) و بررسی معنی‌داری اختلاف میانگین‌ها ($P \leq 0.05$) به روش دانکن با استفاده از نرم افزار MS Excel 2013 انجام شد.

نتایج و بحث

مقادیر کل آب مورد نیاز در سال‌های زراعی

کل آب مورد نیاز گوجه‌فرنگی به تفکیک سال‌های زراعی مختلف شامل آبیاری اولیه، آب آبیاری محاسبه و بارندگی مؤثر در جدول ۵ ارائه شده است.

عملکرد محصول (Y)، کارایی مصرف آب آبیاری (IWUE) و ضریب یکنواختی (UC)

نتایج تجزیه واریانس مرکب مقادیر عملکرد محصول (Y)، کارایی مصرف آب آبیاری (IWUE) و ضریب یکنواختی کریستیانسن (UC) با آزمون دانکن نشان داد که آثار حالت‌های مختلف قرارگیری نوار قطره‌ای بر عملکرد

محصول (Y) و کارایی مصرف آب آبیاری (IWUE) معنی‌دار ($P \leq 0.01$)؛ ولی مقادیر یکنواختی پخش آب از روزه‌ها در تیمارهای مختلف تغییرات معنی‌داری نداشته است (جدول ۶).

بر اساس مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن، بیشترین عملکرد محصول (۴۸ تن در هکتار) مربوط به تیمار T3 (قرارگیری نوار آبیاری در عمق ۱۰ سانتی‌متر) و کمترین آن (۳۹/۱ تن در هکتار) مربوط به تیمار T1 (قرارگیری نوار آبیاری روی سطح زمین) بود و تیمارهای T2 و T3 (قرارگیری نوار آبیاری در داخل جوی‌های سطحی) تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (شکل ۲). از آنجا که در تمام تیمارها میزان آب مصرفی یکسان بود و فقط عملکرد تغییر پیدا کرد، معنی‌داری اثر آن‌ها بر کارایی مصرف آب و عملکرد محصول مشابه هم بود؛ لذا بیشترین کارایی مصرف آب (۹/۴ کیلوگرم بر مترمکعب) مربوط به تیمار T3 و کمترین آن (۷/۷ کیلوگرم بر مترمکعب) مربوط به تیمار T1 بود و تیمارهای T2 و T3 نیز تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (شکل ۲).

این نتایج نشان می‌دهد که با استقرار زیرسطحی نوار قطره‌ای (روش SDI) عملکرد محصول و کارایی مصرف آب آبیاری نسبت به استقرار سطحی آن افزایش پیدا کرد. مشابه این نتیجه در سایر پژوهش‌ها نیز گزارش شده است (سینگ و راجپوت، ۲۰۰۷؛ کونگ و همکاران، ۲۰۱۲؛ پاتل و راجپوت، ۲۰۰۹؛ شردا و همکاران، ۲۰۱۱؛ مالی و همکاران، ۲۰۱۶). سینگ و راجپوت (۲۰۰۷) این موضوع را به توزیع یکنواخت‌تر رطوبت در محیط ریشه و جذب بیشتر رطوبت توسط گیاه نسبت داده‌اند. به طور کلی، توزیع رطوبت در خاک تحت تأثیر شیوه استقرار لاترال است؛ به گونه‌ای که در استقرار سطحی به دلیل افزایش تلفات تبخیر از سطح خاک، رطوبت خاک کاهش پیدا؛ ولی استقرار عمقی‌تر لاترال‌ها، به کاهش تلفات تبخیر و افزایش رطوبت خاک کمک می‌کند (مالی و همکاران، ۲۰۱۶).

جدول ۵- مقادیر آب مصرف شده به تفکیک سال‌های زراعی مختلف

سال زراعی ۱۳۸۹-۹۰	سال زراعی ۱۳۸۸-۸۹	سال زراعی ۱۳۸۷-۸۸	
۴۵	۴۵	۴۵	آبیاری اولیه (mm)
۳۳۱	۳۰۳/۲	۴۲۵/۷	آب آبیاری (mm)
۱۲۶	۱۲۵	۸۲/۵	بارندگی مؤثر (mm)
۵۰۲	۴۷۳/۲	۵۵۳/۱	کل آب مورد نیاز (mm)

جدول ۶- تجزیه واریانس مرکب عملکرد و کارایی مصرف گوجه‌فرنگی و ضریب یکنواختی کریستیانسن (UC)

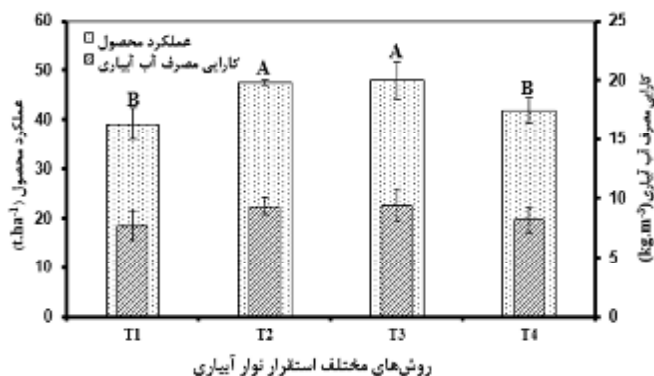
میانگین مربعات	درجه آزادی	منابع تغییر	
UC	Y	IWUE	
۶۱/۰۳ ^{ns}	۵۴/۲۹۸ ^{ns}	۵/۰۶۶ ^{ns}	سال
۹/۰۳	۶۶/۱۴۷	۲/۴۴۵	خطا
۱۷/۱۴ ^{ns}	۱۷۵/۰۸۵**	۶/۴۷۹**	فاکتور A
۱۷/۹۶ ^{ns}	۱۸/۵۵۶ ^{ns}	۰/۶۶۰ ^{ns}	فاکتور A × سال
۱۰/۲۹	۱۷/۰۱۸	۰/۶۵۷	خطای کل
۳/۶۸	۹/۳۵	۹/۳۵	ضریب تغییرات (%)

** آثار تیمار بر پاسخ گیاهی در سطح احتمال ۱% معنی‌دار است

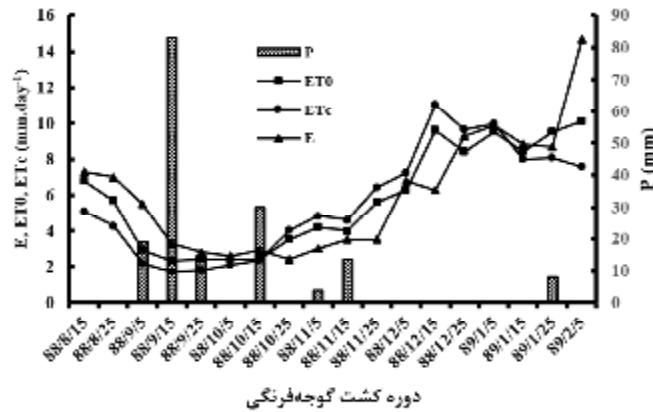
ns: آثار تیمار بر پاسخ گیاهی معنی‌دار نیست

در تیمار T2 سطح خیس شده محدود به عرض کف جوی سطحی و گسترش جانبی آن نسبت به تیمار T1 خیلی محدودتر بود. این امر به کاهش سطح تبخیر، ذخیره بیشتر رطوبت در داخل خاک و آبشویی نمک از محیط ریشه کمک و در نهایت به بهبود عملکرد کمک قابل توجه کرده است. در تیمارهای زیرسطحی (T3 و T4) هم اگرچه سطح خاک مرطوب به نظر می‌رسید، هیچگاه به وضعیت اشباع نرسید؛ بنابر این در تیمار T1 در دوره رشد رویشی که نیاز تبخیر و تعرق افزایش پیدا کرده، رطوبت کمتری در اختیار گیاه قرار گرفته و تحت تأثیر وضعیت تنش رطوبتی عملکرد محصول کاهش پیدا کرده است. این نتیجه با گزارش گاو و همکاران (۲۰۱۱) مطابقت دارد.

در محل اجرای پژوهش دوره رشد رویشی (Vegetative Stages) گوجه‌فرنگی از اواخر آبان تا اواسط بهمن و دوره رشد زایشی (Reproduction Stages) آن از اواسط بهمن تا اواخر فروردین ادامه دارد. تحلیل تغییرات برخی پارامترهای هواشناسی در کل دوره رشد (شکل ۳) نشان می‌دهد نیاز تبخیر اتمسفر در دوره رشد رویشی که با کاهش دما، بارندگی زمستانه و افزایش رطوبت هوا هم‌زمان است، به حداقل می‌رسد. در دوره رشد زایشی، به دلیل فرا رسیدن زود هنگام گرما، بیش از ۵۰ درصد تبخیر کل فقط در دو ماه آخر (اسفند و فروردین) این دوره اتفاق افتاده و تبخیر و تعرق به شدت افزایش داشته است.



شکل ۲- مقایسه میانگین‌های عملکرد و کارایی مصرف آب آبیاری در تیمارهای مختلف با آزمون دانکن (α = ۱%)



شکل ۳- تغییرات تبخیر (E)، تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع (ET0)، تبخیر و تعرق پتانسیل گوجه فرنگی (ETc) و بارندگی (P) در طول دوره رشد (سال زراعی ۸۹-۱۳۸۸)

سیستم فیلتراسیون مناسب و کاربرد نوارهای آبیاری نو در هر بار آزمایش، از وقوع چنین مشکلی جلوگیری به عمل آمد؛ لذا یکنواختی پخش آب قطره‌چکان‌ها در تیمارهای مختلف اختلاف معنی‌داری نداشت.

توزیع نمک در پروفیل خاک

در این پژوهش، توزیع نمک در پروفیل خاک تحت تأثیر چگونگی قرارگیری نوارهای قطره‌ای متفاوت بود. شکل ۴ نشان می‌دهد که تقریباً در همه تیمارهای مورد بررسی، بیشترین تجمع نمک چه در اواسط فصل رشد و چه در پایان آن در لایه سطحی خاک (۳۰-۰ سانتی‌متر) و در فاصله ۳۰ سانتی‌متر از نوار قطره‌ای اتفاق افتاده؛ ولی این تجمع نمک در تیمارهای زیرسطحی (T3 و T4) کمتر بوده است. همچنین با افزایش عمق خاک، شوری خاک کاهش پیدا کرده که این امر در تیمارهای سطحی (T1 و T2) بیشتر مشهود است.

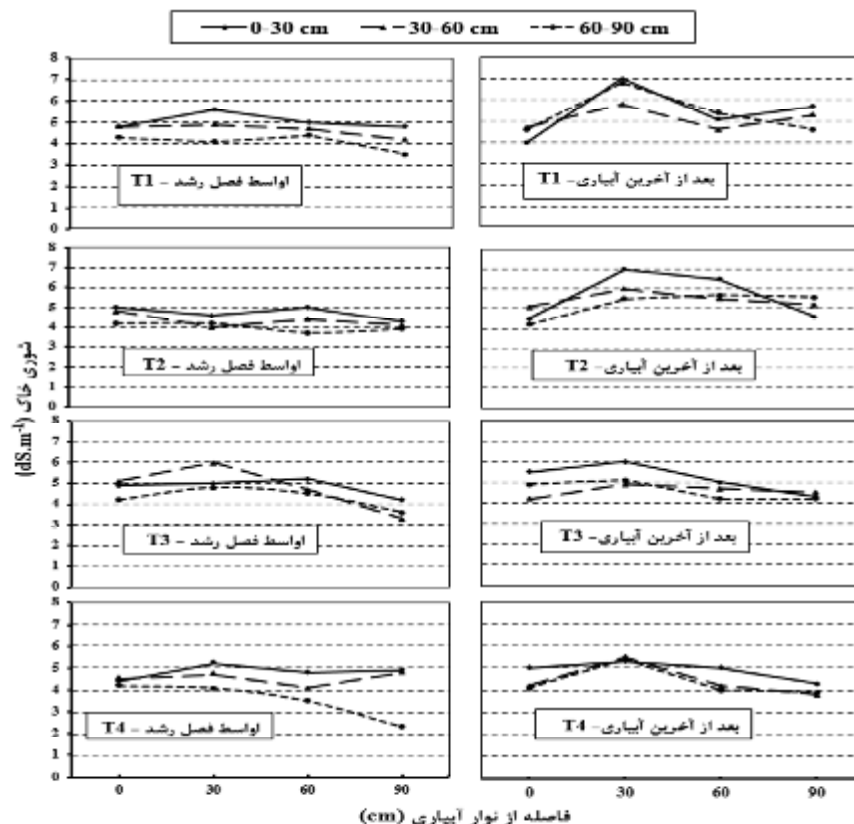
ضمناً، در پایان فصل رشد، در تیمارهای T1 و T2 شوری خاک در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر و در فاصله ۳۰ سانتی‌متر از نوار آبیاری نسبت به تیمارهای T3 و T4 بیشتر و در فاصله صفر از نوار قطره‌ای شوری به میزان قابل توجه کمتر بوده است. به طور کلی، در اثر آبیاری بخش قابل توجهی از نمک آب در محیط ریشه انباشته می‌شود (شوری ثانویه) که در روش قطره‌ای تحت تأثیر حرکت عمودی و جانبی رطوبت است (آبرز و وستکات، ۱۹۸۵). در این روش نمک‌ها بوسیله جبهه رطوبتی به اطراف پیاز رطوبتی رانده و در گوشواره‌های نمکی سطح خاک جمع می‌شوند؛ لذا در این پژوهش، افزایش شوری لایه سطحی

با توجه به شکل ۱ با افزایش عمق قرارگیری نوار از ۱۰ سانتی‌متر به ۲۰ سانتی‌متر، مقادیر عملکرد و کارایی مصرف آب آبیاری کاهش معنی‌دار ($P \leq 0.01$) داشته‌اند. به‌طور مشابه، پاتل و راجپوت (۲۰۰۹) نیز برای بیشترین عملکرد و کارایی مصرف آب پیاز، استقرار نوار قطره‌ای در عمق ۱۰ سانتی‌متر را پیشنهاد کردند. طبق گزارش سینگ و راجپوت (۲۰۰۷) بیشترین عملکرد و کارایی مصرف آب بامیه در یک خاک لوم شنی، در بین تیمارهای زیرسطحی مورد بررسی (۵، ۱۰ و ۱۵ سانتی‌متر)، مربوط به عمق ۱۰ سانتی‌متر بود. همچنین، در بررسی‌های مالی و همکاران (۲۰۱۶)، استقرار لاترال‌ها در عمق ۱۰ سانتی‌متر خاک لوم شنی، باعث بیشترین میزان رطوبت در پروفیل ۵۰ سانتی‌متری خاک و عملکرد بهینه عملکرد و کارایی مصرف آب خیار شد.

ضریب یکنواختی کریستیانسن (UC) بین ۸۶ درصد (در تیمارهای T2 و T3) تا ۸۹ درصد (در تیمار T4) اندازه‌گیری شد که این تغییرات معنی‌دار نبود. یکنواختی توزیع آب در سیستم‌های آبیاری قطره‌ای به یکنواختی آبدهی قطره‌چکان‌ها بستگی دارد و یکی از دلایل اصلی نبود یکنواختی، انسداد قطره‌چکان‌ها در اثر عوامل فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک است (لیو و هوانگ، ۲۰۰۹). در این بین، عوامل فیزیکی بیشترین نقش را و دو عامل دیگر نقش تشدیدکننده را دارند. در تیمارهای زیرسطحی، ذرات خاک هم از سمت ورودی به دلیل فیلتراسیون ناقص و هم از سمت خروجی به دلیل تشکیل خلأ و فشار منفی در داخل نوار آبیاری وارد قطره‌چکان‌ها می‌شود. در این پژوهش، به دلیل استفاده از آب چاه و

که شرایط تبخیر و تعرق بالا و بارندگی کم حاکم است، نمک‌ها با صعود موئینه‌ای به سمت لایه‌های سطحی تجمع پیدا می‌کنند (هنسون و همکاران، ۲۰۰۷).

خاک، در فاصله ۳۰ سانتی‌متر از نوار قطره‌ای امر دور از انتظاری نیست. در حالت استقرار زیرسطحی نوارهای قطره‌ای (روش SDI)، در بالاتر از محل قرارگیری نوارها آبیاری معمول اتفاق نمی‌افتد؛ بلکه مخصوصاً در مناطقی



شکل ۴- توزیع نمک در پروفیل خاک در تیمارهای مختلف استقرار نوار قطره‌ای در اواسط و انتهای فصل رشد

نتیجه‌گیری

به طور کلی با استقرار زیرسطحی نوار قطره‌ای عملکرد محصول و کارایی مصرف آب نسبت به تیمارهای سطحی افزایش داشت؛ به گونه‌ای که بیشترین عملکرد (۴۸ تن در هکتار) و کارایی مصرف آب (۹/۴ کیلوگرم بر مترمکعب) مربوط به تیمار T3 (روش قرارگیری نوارهای آبیاری در عمق ۱۰ سانتی‌متری از سطح خاک) بود. کمترین عملکرد محصول و کارایی مصرف آب مربوط به تیمار T1 (روش استقرار سطحی نوار قطره‌ای) بود که به دلیل رواناب سطحی و افزایش تلفات تبخیر، رطوبت کمتری در دسترس گیاه قرار داشت. در تیمار T2 (استقرار نوار قطره‌ای در داخل جوی سطحی) که روش معمول کشاورزان منطقه است، سطح خیس شده محدود به عرض کف جوی و گسترش جانبی آن نسبت به تیمار T1 کمتر

در این پژوهش در تیمارهای T3 و T4 در اواسط فصل رشد که نیاز تبخیر اتمسفر کم و با وضعیت بارندگی و آبیاری نمک توأم است، تجمع نمک در لایه سطحی کمتر اتفاق افتاده؛ ولی در ماه‌های پایانی فصل که نیاز تبخیر افزایش پیدا کرده و با قطع بارندگی زمستانه آبیاری نمک هم رخ نداده، تجمع نمک در لایه سطحی افزایش داشته است.

در تیمار T4 در عمق ۳۰-۶۰ سانتی‌متر تجمع نمک نسبت به تیمار T3 افزایش داشته است. طبق گزارش کوک و همکاران (۲۰۰۳) عمق نوار آبیاری با تغییر موقعیت جبهه رطوبتی بر توزیع نمک اثر می‌گذارد و میزان رطوبت و نمک رسیده به سطح خاک را عمق استقرار نوار کنترل می‌کند.

- No. 24. FAO. Rome. Italy. 144 p.
8. Gaveh E. A. Timpo G. M. Agodzo S. K. and Shin D. H. 2011. Effect of irrigation, transplant age and season on growth, yield and irrigation water use efficiency of the African eggplant. *Horticulture, Environment and Biotechnology*. 52(1): 13-28.
 9. Hanson B. and May D. 2007. The effect of drip line placement on yield and quality of drip-irrigated processing tomatoes. *Irrigation and Drainage Systems*. 21: 109-118.
 10. Kong Q. Li G. Wang Y. and Huo H. 2012. Bell pepper response to surface and subsurface drip irrigation under different fertigation levels. *Irrigation Science*. 30: 233-245.
 11. Lazarovitch N. Shani U. Thompson T. and Warrick A. 2006. Soil hydraulic properties affecting discharge uniformity of gravity-fed subsurface drip irrigation systems. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 132(6): 531-536.
 12. Liu H. and Huang G. 2009. Laboratory experiment on drip emitter clogging with fresh water and treated sewage effluent. *Agricultural Water Management*. 96: 745-756.
 13. Mali S. S. Singh R. Singh A. K. and Meena M. 2016. Influence of drip lateral placement depth and fertigation level on germination, yield and water-use efficiency of cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Indian Journal of Agricultural Sciences*. 86(2): 178-85.
 14. Marouelli W. A. Y. and Silva W. L. C. 2002. Drip line placement depth for processing tomatoes crop. *Horticultura Brasileira*. 20: 206-210.
 15. Martínez J. and Reza J. 2014. Water use efficiency of surface drip irrigation versus an alternative subsurface drip irrigation method. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 140(10): 04014030(1-9).
 16. Patel N. and Rajput T. B. S. 2007. Effect of drip tape placement depth and irrigation level on yield of potato. *Agricultural Water Management*. 88(1-3): 209-223.
 17. Patel N. and Rajput T. B. S. 2009. Dynamics and modeling of soil water under subsurface drip irrigated onion. *Agricultural Water Management*. 95(1-3): 35-49.
 18. Pereira L. S. Cordery I. and Iacovides I. 2012. Improved indicators of water use performance and productivity for sustainable water conservation and saving. *Agricultural Water Management*. 108: 39-51.
 19. Phocaides A. 2007. Handbook on pressurized irrigation techniques. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Rome. Italy. 282 p.
 20. Selim T. Bouksila F. Berndtsson R. and بود. همچنین در تیمار T2 آب مازاد بر نفوذ به جای ایجاد رواناب، در داخل جوی ذخیره می‌شود و سپس به تدریج در خاک نفوذ می‌کند. این ویژگی هم به ذخیره رطوبت در محیط ریشه و هم آبشویی نمک از خاک کمک شایانی داشت. لذا تیمارهای T3 و T2 تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. توزیع نمک در پروفیل خاک تحت تأثیر تیمارهای مورد بررسی متفاوت بود. تقریباً در همه تیمارهای مورد بررسی، بیشترین شوری خاک در لایه سطحی خاک (۰-۳۰ سانتی‌متر) و در فاصله ۳۰ سانتی‌متر از نوار قطره‌ای و در انتهای فصل رشد اندازه‌گیری شد. به‌طور کلی، در دهه‌های میانی فصل به‌دلیل هم‌زمانی با بارندگی زمستانه و آبشویی نمک در اثر آب باران تجمع نمک در لایه سطحی کمتر بود؛ ولی در دهه‌های پایانی فصل رشد به‌دلیل پایان فصل بارندگی، گرمای زودرس و افزایش نیاز تبخیر اتمسفر حرکت نمک به سمت لایه سطحی افزایش داشت. با توجه به نتایج مورد بحث، برای محل اجرای پژوهش و مناطق مشابه تیمار T2 به‌دلیل سهولت نصب نوار قطره‌ای و مدیریت آن پیشنهاد می‌شود.

منابع

1. Allen R. G. Pereira L. S. Raes D. and Smith M. 1998. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage paper No.56, 301 p.
2. Ayers R. S. and Westcot D. W. 1985. Water quality for agriculture: Irrigation and Drainage Paper No. 29. FAO. Rome. Italy. 174 p.
3. Bozkurta B. and Mansuroglu G. S. 2018. Responses of unheated greenhouse grown green bean to buried drip tape placement depth and watering levels. *Agricultural Water Management*. 197: 1-8
4. Bryla D. R. Bañuelos G. S. and Mitchell J. P. 2003. Water requirements of subsurface drip-irrigated faba bean in California. *Irrigation Science*. 22: 31-37.
5. Christiansen J. E. 1942. Hydraulic of sprinkling systems for Irrigation. *Transaction of the ASCE*. 107: 221-239.
6. Cook F. J. Thorburn P. J. Fitch P. and Bristow K. L. 2003. WetUp: a software tool to display approximate wetting patterns from drippers. *Irrigation Science*. 22: 129-134
7. Doorenbos J. and Pruitt W. O. 1977. Guidelines for predicting crop water requirements. *Irrigation and Drainage Paper*

- Persson M. 2013. Soil Water and Salinity Distribution under Different Treatments of Drip Irrigation. Soil Science Society of America Journal. 77: 1144-1156.
21. Sharda R. Kaushal M. P. Siag M. and Biwalkar N. 2011. Economic evaluation of subsurface drip irrigation system in tomato. Progressive Horticulture. 43: 66-71.
22. Singh D. K. and Rajput T. B. S. 2007. Response of lateral placement depths of subsurface drip irrigation on okra (*Abelmoschus esculentus* L.). International Journal of Plant Production. 1: 73-84.
23. Sinobas L. R. and Rodríguez M. G. 2012. A review of subsurface drip irrigation and its management. In: Shui LT, editor. Water Quality, Soil and Managing Irrigation of Crops. InTech: 171-194.