

نتایج نخستین کاربرد سامانه آبیاری قطره‌ای بر عملکرد و بهره‌وری آب در باغ‌های چای

کوروش مجد سلیمی^{۱*} و رضا آزادی گنبد^۲

چکیده

به‌منظور بهینه‌سازی مصرف آب و کود در سامانه آبیاری قطره‌ای در باغ‌های چای، برای نخستین بار آزمایشی طی سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ در باغ چای کشاورز در منطقه بازکیاگوراب لاهیجان (استان گیلان) اجرا شد. این آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو فاکتور مقدار آب آبیاری و کود نیتروژنی در سه تکرار به اجرا درآمد. کود به‌عنوان عامل اصلی شامل چهار سطح صفر، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و آبیاری به‌عنوان عامل فرعی، شامل پنج سطح صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبیاری در نظر گرفته شد. برنامه آبیاری قطره‌ای در دوره تنش‌آبی به‌صورت هفته‌ای دو بار براساس پایش رطوبت خاک و کود نیتروژنی به‌صورت هفته‌ای یک بار طی دوره رشد به روش کودآبیاری در عمق توسعه ریشه‌ها انجام گرفت. این روش آبیاری باعث شد تا بیشترین میانگین عملکرد چای ساخته‌شده (۲۵۸۱ کیلوگرم در هکتار) و میانگین بهره‌وری آب (۰/۶۸۵ کیلوگرم بر مترمکعب) با میانگین مصرف آب ۳۸۴۵ مترمکعب و ۱۵۰ کیلوگرم کود نیتروژنی طی دوره رشد به‌دست آید. کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم کود نیتروژنی سرک در شرایط بدون آبیاری (۱۹۲/۷ میلی‌متر بارندگی مؤثر منجر به تولید ۸۰۳ کیلوگرم چای ساخته‌شده با بهره‌وری آب بارندگی ۰/۴۲ کیلوگرم بر مترمکعب شد. با توجه به افزایش عملکرد (۳۰۰ درصد) و بهره‌وری آب (۶۰ درصد) حاصل از کاربرد سامانه کود آبیاری قطره‌ای در مقایسه با شرایط دیم، استفاده از این روش آبیاری به‌منظور تولید اقتصادی چای با مصرف کمتر آب و کود در مناطق چای‌کاری به‌ویژه اراضی شیب‌دار و مرتفع توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آبیاری موضعی، بهینه‌سازی مصرف آب، تولید اقتصادی چای، کودآبیاری.

ارجاع: مجد سلیمی ک. و آزادی گنبد ر. ۱۴۰۰. نتایج نخستین کاربرد سامانه آبیاری قطره‌ای بر عملکرد و بهره‌وری آب در باغ‌های چای. مجله پژوهش آب ایران. ۱۵: ۴۲-۹۰.

۱- مربی پژوهش پژوهشکده چای، موسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، لاهیجان، ایران.
۲- استادیار پژوهشکده چای، موسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، لاهیجان، ایران.

* نویسنده مسئول: k.majdsalimi@gmail.com

تاریخ پذیرش: 1400/05/17

تاریخ دریافت: 1400/02/29

مقدمه

محصول یا عملکرد چای شامل شاخساره‌هایی است که از چندین برگ که به بلوغ مناسب رسیده‌اند (معمولاً ۲ یا ۳ برگ و یک جوانه انتهایی)، تشکیل شده که برای تولید انواع چای ساخته شده (سبز و سیاه) از آن‌ها استفاده می‌شود (مجد سلیمی، ۱۳۹۵).

آب و کود نیتروژنی مهم‌ترین نهاده‌های کشاورزی در تولید برگ‌ها و شاخساره‌های چای به‌عنوان عملکرد هستند (مجد سلیمی و همکاران، ۱۳۹۳؛ کار، ۲۰۱۰a؛ استیفنز و کار، ۱۹۹۴). از عوامل اصلی کمبود نیتروژن در خاک اراضی چای‌کاری می‌توان برداشت متوالی برگ و شاخساره‌های چای (محصول) و تلفات زیاد این عنصر به‌علت تصعید و آبشویی یون نیترات در اثر بارندگی یا بیش‌آبیاری را نام برد (چن و همکاران، ۲۰۱۵؛ ماقانگا و همکاران، ۲۰۱۳). به‌طور کلی، واکنش چای به سطوح مختلف نیتروژن به میزان رطوبت موجود در خاک، شرایط آب‌وهوایی، خصوصیات خاک و قابلیت جذب عناصر غذایی دیگر بستگی دارد (چن و همکاران، ۲۰۱۵؛ چیروت و همکاران، ۲۰۱۰؛ اوور و همکاران، ۲۰۱۱).

برداشت متوالی برگ سبز چای در ایران از اوایل اردیبهشت تا آبان در سه فصل بهار، تابستان و پاییز انجام می‌شود. در برخی از ماه‌ها (اواسط خرداد تا اوایل شهریور)، میزان بارندگی کمتر از نیاز آبی بوته‌های چای است و میزان و کیفیت محصول در اثر تنش ناشی از کم‌آبی، به مقدار بسیار زیادی کاهش می‌یابد که این موضوع معیشت کشاورزان و اقتصاد منطقه را با تهدید مواجه می‌سازد؛ بنابراین تأمین آب مورد نیاز گیاه چای با استفاده از آبیاری تکمیلی و اصول صحیح بهره‌برداری، مهم‌ترین مسئله در افزایش کمیّت، کیفیت و بازارپسندی چای تولیدی و بازدهی اقتصادی آن است (مجد سلیمی و شایگان، ۱۳۹۶). همچنین کیفیت چای به میزان زیادی تحت تأثیر فواصل آبیاری و دوره‌های خشک طولانی قرار می‌گیرد (نالیئا و همکاران، ۲۰۱۸؛ کیان و همکاران، ۲۰۱۸).

گزارش‌ها نشان می‌دهد که بیش از ۶۰ درصد از باغ‌های چای در استان‌های گیلان و مازندران در مناطق کوهپایه‌ای و شیب‌دار قرار دارند (مجد سلیمی و امیری، ۱۳۹۳). هم‌اکنون، از روش‌های آبیاری بارانی برای آبیاری کمتر از ۵ درصد از کل مناطق چای‌کاری (حدود ۲۰ هزار

هکتار)، استفاده می‌شود؛ درحالی‌که تولید در سایر مناطق به‌طور کامل وابسته به ریزش‌های جوّی است (مجد سلیمی و همکاران، ۱۳۹۴). محدودیت‌های فنی (مانند شیب زیاد و توپوگرافی نامنظم و نداشتن زیرساخت‌های لازم) و محدودیت‌های مربوط به طراحی و اجرای روش‌های آبیاری بارانی در این مناطق، از دلایل اصلی توسعه نیافتگی اراضی فاریاب در مناطق چای‌کاری هستند (مجد سلیمی و همکاران، ۱۳۹۴). این موضوع و عدم دسترسی به منابع آبی مطمئن در این مناطق، اهمیت زیاد به‌کارگیری روش آبیاری قطره‌ای^۱ را در باغ‌های چای مشخص می‌سازد؛ بنابراین چالش اصلی در این شرایط، اجرا و توسعه روش‌های آبیاری مؤثر و کم‌هزینه‌ای است که دارای کارایی مصرف آب بالایی هستند و برای کشاورزان مقرون‌به‌صرفه باشد.

تحقیقات کاربردی برای استفاده این روش آبیاری در باغ‌های چای دنیا از سال ۲۰۰۷ شروع شده است (فقط سه تا چهار مطالعه در این زمینه انجام شده است). نتایج این تحقیقات در کشورهایی مانند تانزانیا، کنیا، مالاوی و سریلانکا نشان داد که مصرف هم‌زمان آب و کود (کود-آبیاری) در باغ‌های چای، موجب افزایش محصول به میزان دو برابر در مقایسه با روش آبیاری بارانی می‌شود (با کاربرد ۵۰ درصد آب مصرفی کمتر نسبت به روش بارانی)؛ همچنین نیروی کارگری ۵۰ درصد و هزینه‌ها به‌میزان ۸۰ درصد در مقایسه با سامانه آبیاری بارانی کاهش می‌یابد (کیگالو و همکاران، ۲۰۰۸؛ مولر و ودرهد، ۲۰۰۷). در آزمایشی برای بررسی تأثیر آبیاری قطره‌ای بر روی کلون‌های مختلف در تانزانیا، نتیجه گرفته شد که میانگین بیشترین میزان عملکرد برگ سبز حدود ۵۲۰۰ کیلوگرم در هکتار با تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبیاری به‌دست آمد (مسومبا و همکاران، ۲۰۱۸).

استفاده از روش مرسوم مصرف کود در منطقه، یعنی کودپاشی مخلوط با خاک در اراضی دیم (بدون آبیاری) و فاریاب (با روش آبیاری بارانی) دارای تلفات زیاد و کارایی پایینی است (به‌عنوان مثال، ۴۰۰ و ۸۰۰ کیلوگرم کود اوره به‌ترتیب برای اراضی دیم و فاریاب توصیه می‌شود) (مجد سلیمی، ۱۳۹۵).

بنابراین بهینه‌سازی مصرف آب و کود از طریق اجرا و توسعه روش‌های آبیاری مؤثر و اعمال مدیریت صحیح

با عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۲۲ دقیقه و طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۹۴ دقیقه اجرا شد. ارتفاع منطقه ۱۷ متر بالاتر از سطح دریای آزاد بود و دارای آب و هوای مرطوب و معتدل است. میزان بارندگی طی ماه‌های فروردین تا مهر در سال ۱۳۹۶ به ترتیب برابر با ۱۱۱، ۱۸، ۱۷، ۳۱، صفر، ۱۴۰ و ۳۵۳ میلی‌متر و برای سال ۱۳۹۷ برابر با ۲۶، ۱۷، ۵۴، ۱۱، ۷۰، صفر و ۱۹۶ میلی‌متر ثبت شد.

آزمون خاک محل آزمایش نشان داد که بافت خاک تا عمق توسعه ریشه (۶۰ سانتی‌متری) یکنواخت و از نوع لومی-شنی بود (جدول ۱). همچنین آب آبیاری براساس روش آزمایشگاه شوری خاک آمریکا، دارای شوری بسیار کم و کیفیت مناسب بود (جدول ۲).

آبیاری و کود می‌تواند علاوه بر افزایش عملکرد کتی و کیفی و کاهش هزینه‌های تولید، زیان‌های ناشی از کمبود منابع آب سالم را نیز جبران و شرایط برای توسعه کشاورزی پایدار را فراهم کند. در این مقاله، نتایج نخستین کاربرد سامانه آبیاری قطره‌ای بر عملکرد و بهره‌وری آب در باغ‌های چای به‌منظور تولید اقتصادی چای با مصرف کمتر آب و کود در مناطق چای‌کاری، بررسی شد.

مواد و روش‌ها

موقعیت پژوهش (مشخصات اقلیمی، خاک و شرایط آب و هوایی محل انجام پژوهش)

این پژوهش طی دوره رشد سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ در باغ چای کشاورز در منطقه بازکیاگوراب شهرستان لاهیجان (واقع در کیلومتر پنج جاده لاهیجان به سیاهکل)

جدول ۱- خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک محل آزمایش

عمق خاک (cm)	اسیدیته (۱:۱)	کربن آلی (%)	هدایت الکتریکی (dS.m ⁻¹)	نیترژن کل (%)	فسفر قابل جذب (ppm)	پتاسیم قابل جذب (ppm)	بافت خاک
۰ تا ۲۰	۴/۳	۱/۵	۰/۳۸	۰/۱۶۵	۱۶۵	۱۶۰	لوم شنی
۲۰ تا ۴۰	۴/۴	۱/۱	۰/۲۵	۰/۱۴	۱۰۱	۱۳۰	لوم شنی
۴۰ تا ۶۰	۴/۳	۰/۸	۰/۱۸	۰/۰۹۳	۲۰	۱۲۰	لوم شنی

جدول ۲- خصوصیات کیفی آب آبیاری محل آزمایش

آنیون‌ها و کاتیون‌های محلول در آب (meq.l ⁻¹)											
هدایت الکتریکی (dS.m ⁻¹)	اسیدیته	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ + K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻ + HCO ₃ ⁻	نسبت جذب سدیم	طبقه‌بندی ^۱		
۰/۷۱۲	۷/۳۸	۱/۱۳	۲/۶۳	۱/۱۴	۰/۰۵	۲/۲	۰/۲۱	۰/۹	۰/۳۹	۰/۸۲	CI-S1

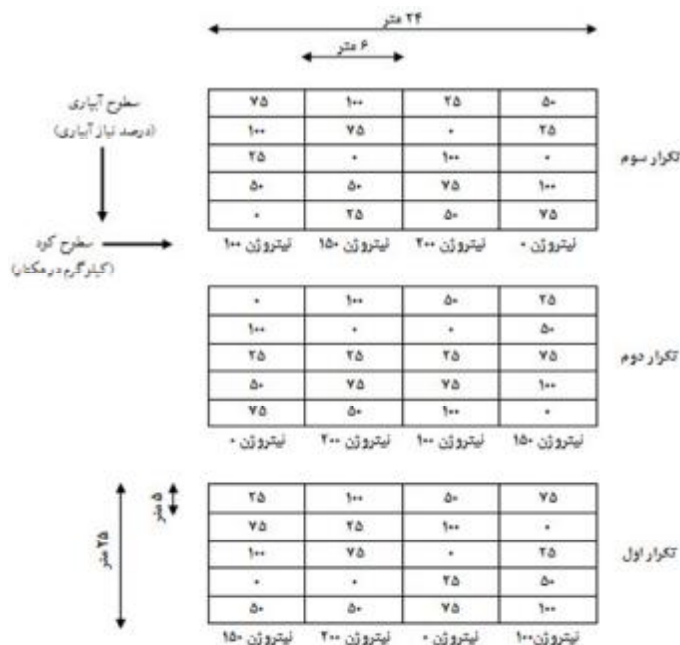
۱- طبقه‌بندی براساس روش آزمایشگاه شوری خاک آمریکا است.

مشخصات طرح آزمایشی

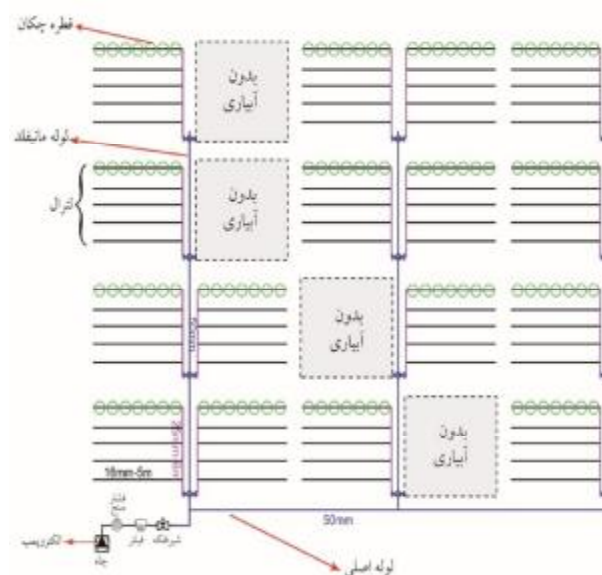
این آزمایش به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو فاکتور مقدار آب آبیاری کود نیتروژنی در سه تکرار انجام شد. کود نیتروژنی به‌عنوان عامل اصلی شامل چهار سطح صفر، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (N₀ تا N₃) و آبیاری به‌عنوان عامل فرعی شامل پنج سطح صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبیاری (I₀ تا I₄) در نظر گرفته شد (شکل ۱).

مشخصات سامانه کودآبیاری قطره‌ای

مشخصات طرح سامانه آبیاری قطره‌ای این تحقیق در شکل ۲ ارائه شده است. لوله‌های فرعی به طول تقریبی ۵ متر در وسط هر دو ردیف بوته چای در کل قطعه آزمایشی قرار داده شد (به جز کرت‌های بدون آبیاری). هفت عدد قطره‌چکان با فاصله ۰/۷ متر (یک عدد قطره‌چکان برای هر بوته)، روی لوله‌های فرعی ۱۶ میلی‌متری نصب شد (شکل ۲). در سامانه آبیاری این تحقیق از قطره‌چکان‌های روی خط (آبیاری قطره‌ای سطحی) شرکت نتافیم با دبی طراحی چهار لیتر در ساعت استفاده شد.



شکل ۱- نقشه طرح آزمایشی (شامل کرت‌های اصلی و فرعی و سطوح مختلف تیمارهای آبیاری و کود نیتروژنی)



شکل ۲- نمای برش‌خورده سامانه آبیاری قطره‌ای (تکرار اول) در محل آزمایش

در روش کودآبیاری برای تمام سطوح ۲۵ درصد، ۵۰ درصد، ۷۵ درصد و ۱۰۰ درصد نیاز آبیاری، تیمار کود نیتروژنی از تقسیط مقادیر ثابت ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار از منبع اوره (۴۶ درصد نیتروژن) به‌صورت هفتگی (از ابتدای دوره رشد در فروردین تا پایان دوره رشد در مهر) وارد منطقه توسعه ریشه بوته‌های بالغ چای شد. به‌منظور کوددهی همراه با آب آبیاری

برای کنترل فشار و جریان ورودی آب به هر کرت، یک عدد شیرکنترل در ابتدای لوله مانیفولد نصب شد (شکل ۲). همچنین در این سیستم برای اندازه‌گیری میزان جریان آب ورودی به لوله‌های فرعی در کرت‌ها، از چهار عدد کنتور حجمی ۰/۵ اینچ برای چهار کرت استفاده شد (هر کنتور در ابتدای لوله مانیفولد و بعد از شیر کنترل نصب شد).

که در آن، WP_P بهره‌وری آب مصرفی ناشی از بارندگی مؤثر (کیلوگرم بر مترمکعب)، $WP_{(I+P)}$ بهره‌وری آب واقعی یا تبخیر-تعرق^۵ (کیلوگرم بر مترمکعب)، Y عملکرد چای ساخته‌شده (کیلوگرم در هکتار)، P بارندگی مؤثر (متر مکعب)، $V_{(I+P)}$ حجم ناخالص آب مصرفی یا مجموع ناخالص آب آبیاری و بارندگی مؤثر (مترمکعب) است.

اندازه‌گیری عملکرد

عملکرد برگ سبز در واحد سطح در تمامی برداشت‌ها در طول دوره رشد، اندازه‌گیری شد. در دوره رشد سال ۱۳۹۶ چهار مرتبه و در سال ۱۳۹۷ پنج مرتبه برداشت جداگانه برگ سبز در فواصل زمانی مختلف انجام گرفت. در این آزمایش، برداشت برگ سبز چای به صورت شاخساره‌های استاندارد (۲ یا ۳ برگ و یک جوانه انتهایی) به طور هم‌زمان در تمام کرت‌ها انجام و وزن آن‌ها به وسیله ترازو تعیین شد. برای تبدیل وزن برگ سبز چای^۶ به عملکرد چای ساخته‌شده^۷ از ضریب تبدیل ۲۲/۵ درصد (غلامی، ۱۳۸۷)، استفاده شد.

تجزیه واریانس ساده عملکرد چای برای سال‌های آزمایش به صورت جداگانه و پس از اطمینان از یکنواختی واریانس خطاهای آزمایشی^۸ (آزمون بارتلت)، تجزیه مرکب دو سال برای عملکرد با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ و مقایسه میانگین با استفاده از آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

اثر متقابل سطوح آبیاری و نیتروژن بر عملکرد چای

همان‌طوری که از شکل‌های ۳ و ۴ مشاهده می‌شود، منحنی تغییرات عملکرد با سطوح کود نیتروژنی برای تمام سطوح آبیاری در سال‌های آزمایش، به صورت تابع درجه دوم است. با این تفاوت که در سال اول و دوم آزمایش، تغییرات برای سطوح بدون آبیاری (I_0) و آبیاری ناقص I_1 با شیب ملایم شروع و تا محدوده ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن ادامه و سپس به طور جزئی کاهش می‌یافت یا تقریباً ثابت می‌ماند؛ اما در سطوح آبیاری I_2 تا I_4 (آبیاری کامل) از ابتدا با شیب زیاد شروع شده و تا حدود ۱۵۰ کیلوگرم

(کودآبیاری قطره‌ای)، محلول کودی مناسب هر تیمار تهیه و از طریق تزریق، وارد لوله‌های مانیفولد در هر کرت شد. قابل‌ذکر است که برای سطح بدون آبیاری در تمام سطوح کودی، کود نیتروژنی به صورت مخلوط با خاک در دو تقسیط مساوی از منبع کود اوره و در دو زمان (نیمه اول اردیبهشت و نیمه اول تیر) براساس عرف کارشناسی مناطق چای‌کاری به خاک کرت‌ها اضافه شد.

اندازه‌گیری و محاسبات تعیین آب مصرفی و بهره‌وری آب

در طول دوره رشد، به منظور تعیین میزان رطوبت حجمی و تنش در خاک تیمارهای آبیاری، پایش رطوبت در خاک در سه عمق ۰ تا ۲۰، ۲۰ تا ۴۰ و ۴۰ تا ۶۰ سانتی‌متری از پروفیل خاک و با استفاده از روش انعکاس‌سنجی زمانی^۱ یا دستگاه (Eijkelkamp Agrisearch Equipment) TDR (Trime FM-2) انجام شد. ۱۰ عدد لوله یک متری مخصوص قرائت دستگاه مذکور در تمامی کرت‌های مربوط به دو سطح نیتروژن N_1 و N_2 در بلوک دوم قرار داده شد. قرائت دستگاه به صورت هر هفته دو بار و در صورت نیاز قبل و بعد از آبیاری و بارندگی انجام گرفت. براساس تغییرات رطوبت خاک، مقادیر آب آبیاری و بارندگی و با استفاده از معادله بیلان رطوبتی، میزان تبخیر-تعرق واقعی چای و میزان آبیاری، محاسبه شد.

در این آزمایش، بهره‌وری آب^۲ (کارآیی مصرف آب^۳) برای تیمارهای ترکیبی در کل دوره رشد از تقسیم عملکرد کل چای ساخته‌شده (برحسب کیلوگرم در هکتار) بر حجم آب مصرفی یا مجموع آب آبیاری و بارندگی مؤثر (مترمکعب)، به دست آمد. برحسب تعریف در تیمار بدون آبیاری (دیم^۴) از شاخص بهره‌وری آب مصرفی ناشی از بارندگی مؤثر (معادله (۱)) و در سایر تیمارهای آبیاری از شاخص‌های بهره‌وری آب مصرفی واقعی (معادله (۲)) یا تبخیر-تعرق (آب آبیاری ناخالص ورودی به سیستم و بارندگی مؤثر) استفاده شد.

$$WP_P = \frac{Y}{P} \quad (1)$$

$$WP_{(I+P)} = \frac{Y}{V_{(I+P)}} \quad (2)$$

5- Evapotranspiration
6- Tea green leaf
7- Made tea
8- Experimental errors

1- Time domain reflectory
2- Water productivity (WP)
3- Water use efficiency (WUE)
4- Rain fed

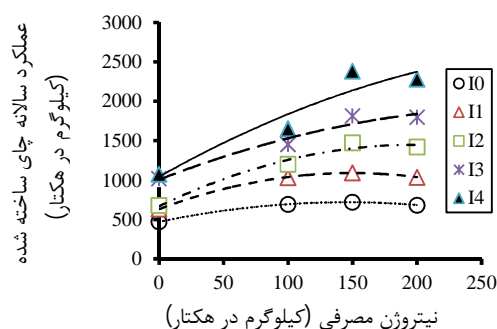
به‌منظور تعیین بیشترین میزان عملکرد در سطوح بدون آبیاری (I_0) در اثر مصرف مقادیر مختلف کود نیتروژنی و با استفاده از مشتق‌گیری تابع تغییرات آن می‌توان به‌طور دقیق نتیجه گرفت که بیشترین میزان عملکرد در این شرایط به‌ترتیب با مصرف حدود ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در دو سال آزمایش به‌دست می‌آید؛ اما با توجه به اختلاف کم عملکرد حاصل از مصرف ۱۵۰ کیلوگرم در مقایسه با ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (به‌ترتیب ۲۸ و ۱۴۸ کیلوگرم چای در هکتار)، مصرف ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌عنوان بهترین سطح از لحاظ تولید عملکرد برای شرایط بدون آبیاری (به‌ترتیب با عملکرد گرفته می‌شود. روند مشابهی برای تعیین بهترین سطح کود نیتروژن مصرفی برای تیمارهای آبیاری ناقص قابل‌محاسبه است؛ به‌طوری‌که بهترین سطح از لحاظ تولید عملکرد البته با پذیرش مقدار بسیار کمی کاهش محصول با هدف دستیابی به کیفیت بیشتر، یعنی افزایش کیفیت چای با مصرف نیتروژن کمتر (اوور و همکاران، ۲۰۱۱) و در نظر گرفتن ملاحظات اقتصادی (کاهش هزینه‌های تولید) و زیست‌محیطی (کاهش آلودگی منابع آب و خاک) می‌توان مصرف کود نیتروژنی به میزان ۱۰۰ تا ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار برای سطوح آبیاری ۲۵ درصد، ۵۰ درصد و ۷۵ درصد و کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم کود نیتروژنی برای سطح آبیاری کامل را توصیه کرد.

این نوع واکنش و تغییرات را می‌توان به‌علت راندمان پایین مصرف نیتروژن (تلفات زیاد) ناشی از فقدان رطوبت مناسب در خاک طی ماه‌های خشک (خرداد، تیر و مرداد) دانست که با وجود افزایش کاربرد نیتروژن، باعث تغییرات اندک در عملکرد بوته‌های چای می‌شود (مجد سلیمی و همکاران، ۱۳۹۳).

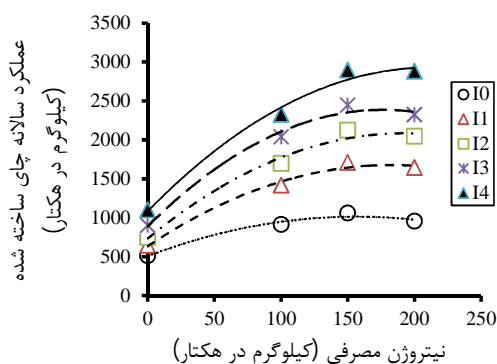
براین‌اساس، میانگین دو سالانه بیشترین میزان عملکرد چای ساخته‌شده برای تیمارهای آبیاری I_0 تا I_4 به‌ترتیب برابر با ۸۰۳، ۱۲۲۵، ۱۴۴۹، ۲۱۳۰ و ۲۶۴۰ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد.

به‌طورکلی می‌توان بیان کرد که آبیاری کامل طی دوره کم‌آبی هر دو سال موجب شد تا عملکرد در این سطح از آبیاری برای تمام سطوح نیتروژن مصرفی (و بدون مصرف کود نیتروژنی) بالاتر از سایر سطوح ترکیبی آبیاری و نیتروژن متناظر با آن قرار گیرد.

نیتروژن در هکتار ادامه داشت و پس از آن تقریباً ثابت می‌ماند یا افزایش جزئی پیدا می‌کرد.



شکل ۳- اثرات کود نیتروژنی و آب آبیاری در سامانه کود آبیاری قطره‌ای بر عملکرد چای در سال ۱۳۹۶



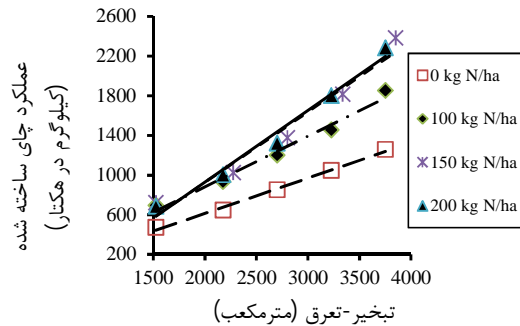
شکل ۴- اثرات کود نیتروژنی و آب آبیاری در سامانه کود آبیاری قطره‌ای بر عملکرد چای در سال ۱۳۹۷

تحقیقات در ایران (مجد سلیمی، ۱۳۹۵؛ مجد سلیمی و شایگان، ۱۳۹۶) و در مناطق چای‌کاری دنیا (کار، ۲۰۱۰b؛ چیروت و همکاران، ۲۰۱۰؛ استیفنز و کار، ۱۹۹۴) نشان داد که واکنش عملکرد چای به مقادیر کود نیتروژنی اغلب به‌صورت تابع درجه دوم هستند و بیشترین میزان عملکرد در شرایط استفاده از سامانه آبیاری بارانی مربوط به کاربرد ۲۰۰ تا ۴۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار است.

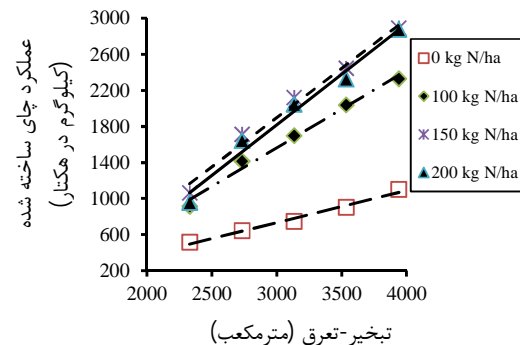
شیب کمتر تغییرات عملکرد در سطوح آبیاری ناقص با مصرف بیشتر نیتروژن را می‌توان به‌علت جذب نیتروژن کمتر به‌وسیله ریشه‌های گیاه ناشی از فقدان رطوبت مناسب در خاک طی ماه‌های خشک دانست که با وجود افزایش کاربرد نیتروژن، باعث تغییرات اندک در تولید شاخساره و عملکرد بوته‌های چای می‌شود (چیروت و همکاران، ۲۰۱۰).

تابع تولید و بهره‌وری مصرف آب

در این پژوهش برای محاسبه تابع ریاضی عملکرد و تبخیر-تعرق واقعی، مقادیر عملکرد چای ساخته‌شده در مقابل تبخیر-تعرق واقعی گیاه در دوره رشد برای سطوح مختلف کود نیتروژن کاربردی رسم شدند (شکل‌های ۵ و ۶). در این شکل‌ها از بین معادلات برازش‌شده، معادله درجه اول یا خطی دارای بالاترین ضریب همبستگی بود. همان‌طور که از شکل ۵ مشاهده می‌شود، توابع عملکرد در سال ۱۳۹۶ وابسته به سطح کود نیتروژن مصرفی بود؛ به‌طوری‌که بیشترین شیب افزایش عملکرد به‌ازای آب مصرفی از سطح ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌دست آمد.



شکل ۵- واکنش میانگین عملکرد چای به تبخیر-تعرق در شش سطح کود نیتروژنی در سال ۱۳۹۶



شکل ۶- واکنش میانگین عملکرد چای به تبخیر-تعرق در شش سطح کود نیتروژنی در سال ۱۳۹۷

این موضوع بدین معنی است که مصرف بیشتر کود نیتروژن (۲۰۰ کیلو در هکتار) باعث کاهش بهره‌وری آب شد. برای سطوح بدون کود و ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار، این افزایش به‌ترتیب ۰/۲۵۶ و ۰/۴۵۸ کیلوگرم چای ساخته‌شده به‌ازای هر مترمکعب آب مصرفی به‌دست آمد.

بیشترین شیب تغییرات در سال دوم آزمایش برابر با ۱/۱۲۴ کیلوگرم چای ساخته‌شده به‌ازای هر مترمکعب تبخیر-تعرق برای سطح ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن ($Y(N_3) = 1/124 (ETa) - 1555$, $R^2=0/98$) وجود داشت (شکل ۶). علی‌رغم وجود شیب‌های متفاوت در توابع عملکرد نیتروژن مصرفی ۲۰۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار در این سال، منحنی خطی این سطوح بسیار به هم نزدیک بودند؛ اما تابع خطی حاصل از سطح بدون کود، فاصله زیادی با توابع خطی دیگر داشت (شکل ۶). اختلاف زیاد بین توابع ذکرشده در این سال را می‌توان ناشی از تأثیر منفی کمبود نیتروژن موجود در خاک، حاصل از اعمال تیمارهای کودی در دو سال متوالی دانست. شیب این تغییرات برای دو سطح N_0 و N_1 به‌ترتیب برابر با ۰/۸۵۸ و ۰/۳۵۵ کیلوگرم در هکتار به‌ازای هر مترمکعب آب مصرفی به‌دست آمد.

همان‌گونه که از شکل‌های ۵ و ۶ مشاهده می‌شود، نیاز آبیاری در سال اول آزمایش بیشتر از سال دوم بود؛ اما با توجه به محدودیت‌های آب‌وهوایی موجود، میزان عملکرد برگ سبز چای در سال اول کمتر از عملکرد در سال دوم آزمایش به‌دست آمد. براین‌اساس، برای سطح آبیاری کامل (I_4) در سال‌های اول و دوم آزمایش به‌ترتیب ۲۲۲۵ و ۱۶۱۰ مترمکعب آب آبیاری با استفاده از سامانه قطره‌ای به‌کار برده شد. به‌همین ترتیب آب آبیاری به‌کاررفته برای سطوح آبیاری ناقص I_3 برابر ۱۶۶۸ و ۱۲۰۵ مترمکعب؛ I_2 برابر ۱۱۱۳ و ۸۰۵ مترمکعب و I_1 برابر ۵۵۶ و ۴۰۳ مترمکعب برآورد شد.

میزان آب بارندگی مؤثر طی دوره رشد چای در دو سال آزمایش به‌ترتیب ۱۵۲/۵ و ۲۳۳ میلی‌متر اندازه‌گیری شد؛ بنابراین مجموع آب مصرفی سطوح آبیاری I_1 ، I_2 ، I_3 ، I_4 و I_0 در سال اول آزمایش به‌ترتیب ۳۷۵۰، ۳۲۲۵، ۲۷۰۰، ۲۱۷۵ و ۱۵۲۵ مترمکعب و در سال دوم آزمایش به‌ترتیب ۳۹۴۰، ۳۵۳۵، ۳۱۳۵، ۲۷۳۳ و ۲۳۳۰ مترمکعب برآورد شد.

براین‌اساس و با کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار، مقدار ۰/۷۸۱ کیلوگرم چای ساخته‌شده به‌ازای هر مترمکعب آب مصرفی تولید شد ($Y(N_3) = 0/781 (ETa) - 675/8$, $R^2=0/97$). برای سطوح نیتروژن مصرفی دیگر، شیب این تغییرات کمتر از مقدار بالا بود (شکل ۵).

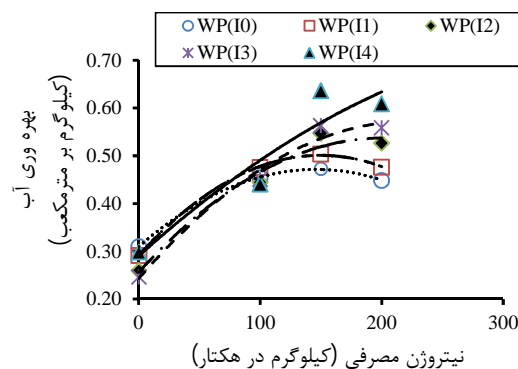
۷۵٪ نیاز آبی (I_3) بالاتر از دو سطح آبیاری دیگر (۵۰ درصد و ۲۵ درصد) قرار داشت. بیشترین مقدار بهره‌وری آب برای سطوح آبیاری ناقص I_3 ، I_2 و I_1 مربوط به مصرف ۱۵۰ کیلوگرم کود نیتروژنی به ترتیب برای سال ۱۳۹۶ برابر با ۰/۵۶، ۰/۵۵ و ۰/۴۸ کیلوگرم بر مترمکعب آب مصرفی و برای سال ۱۳۹۷ برابر با ۰/۶۹، ۰/۶۸ و ۰/۶۳ کیلوگرم بر مترمکعب آب مصرفی بود. کمترین میزان بهره‌وری آب برای سطوح آبیاری ناقص در شرایط بدون مصرف کود برای دو سال آزمایش (به ترتیب با میانگین ۰/۲۷ و ۰/۲۵ کیلوگرم بر مترمکعب آب مصرفی) به دست آمد.

میزان بهره‌وری آب در سطح بدون آبیاری (I_0) هر دو سال آزمایش با افزایش مصرف کود نیتروژنی تا حد ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار افزایش و پس از آن (تا کاربرد ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) کاهش بسیار اندکی یافت. همچنین کمترین میزان بهره‌وری آب مصرفی در سطح بدون آبیاری متعلق به سطح بدون مصرف کود بود (به ترتیب ۰/۳۱ و ۰/۲۲ کیلوگرم بر مترمکعب آب مصرفی).

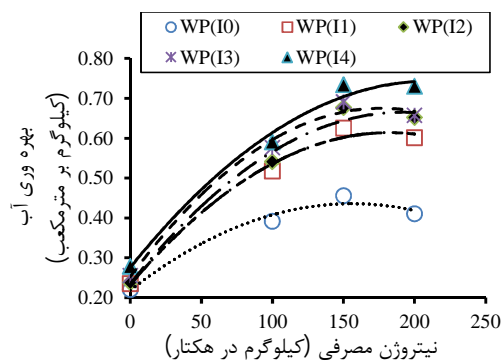
نتیجه‌گیری

براساس نتایج این پژوهش، عملکرد چای در باغ‌های چای بدون آبیاری (دیم) و بدون مصرف کود نیتروژنی (حدود ۴۸۰ کیلوگرم در هکتار) کمتر از سایر سطوح کود نیتروژنی در این شرایط بود. بیشترین میزان عملکرد و بهره‌وری آب بارندگی در شرایط بدون آبیاری (۱۹۲۷ میلی‌متر بارندگی مؤثر) و با کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم کود نیتروژنی سرک به ترتیب برابر با ۸۰۳ کیلوگرم چای ساخته‌شده و ۰/۴۲ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمد که این موضوع اهمیت مصرف بهینه کود نیتروژنی به صورت مخلوط با خاک را در باغ‌های چای بدون آبیاری نشان داد. در این تحقیق، استفاده از روش کودآبیاری قطره‌ای باعث شد تا بیشترین میانگین عملکرد چای ساخته‌شده (۲۵۸۱ کیلوگرم در هکتار) و میانگین بهره‌وری آب (۰/۶۸۵ کیلوگرم بر مترمکعب) با میانگین مصرف آب ۳۸۴۵ مترمکعب و ۱۵۰ کیلوگرم کود نیتروژنی طی دوره رشد به دست آید. با توجه به افزایش عملکرد (۳۰۰ درصد) و بهره‌وری آب (۶۰ درصد) حاصل از کاربرد سامانه کود آبیاری قطره‌ای در مقایسه با شرایط دیم، استفاده از این روش آبیاری به منظور تولید اقتصادی چای با مصرف کمتر

بیشترین بهره‌وری آب در سطح آبیاری کامل (I_4) و با مصرف ۱۵۰ کیلوگرم کود نیتروژنی برای دو سال ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ به ترتیب برابر ۰/۶۴ و ۰/۷۳ کیلوگرم چای در هکتار به ازای هر مترمکعب آب به دست آمد (شکل‌های ۷ و ۸).



شکل ۷- تأثیر مقادیر مختلف کود نیتروژنی و آب آبیاری در سامانه کودآبیاری قطره‌ای بر بهره‌وری آب در سال ۱۳۹۶



شکل ۸- تأثیر مقادیر مختلف کود نیتروژنی و آب آبیاری در سامانه کودآبیاری قطره‌ای بر بهره‌وری آب در سال ۱۳۹۷

کمترین بهره‌وری آب در سطح آبیاری کامل متعلق به شرایط بدون مصرف کود نیتروژنی بود (به ترتیب برابر با ۰/۳ و ۰/۲۸ کیلوگرم بر مترمکعب آب مصرفی در سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷).

کیگالو و همکاران (۲۰۰۸) نشان دادند که واکنش و بهره‌وری آب در سامانه کودآبیاری قطره‌ای برای کلون‌ها در سال‌های مختلف با هم متفاوت بودند و از ۲ تا ۹/۳ کیلوگرم چای خشک به ازای هر میلی‌متر آب مصرفی تغییر می‌کرد.

در تمام سطوح آبیاری ناقص I_3 ، I_2 و I_1 سال‌های آزمایش، افزایش میزان کود نیتروژن باعث افزایش بهره‌وری آب شد؛ به طوری که مقادیر بهره‌وری مربوط به سطوح آبیاری ناقص

۵. مجدسلیمی ک. و شایگان ش. ۱۳۹۶. بهبود عملکرد و خصوصیات کیفی چای (*Camellia sinensis* L.) با بهینه‌سازی کاربرد کود نیتروژنی و آب آبیاری. پژوهش‌های تولید گیاهی. ۲۴(۱): ۱-۱۶.

۶. مجدسلیمی ک. امیری ا. و صلواتیان س. ب. ۱۳۹۳. ارزیابی عملکرد و کارایی مصرف آب در تولید اقتصادی چای تحت تأثیر تیمارهای آبیاری تکمیلی و کود نیتروژن. پژوهش آب در کشاورزی. ۲۸(۳): ۵۷۱-۵۸۳.

7. Carr M. K. V. 2010a. The role of water in the growth of the tea (*Camellia sinensis* L.) crop: a synthesis of research in eastern Africa. 1. water relations. *Experimental Agriculture*. 46(3): 327-349.
8. Carr M. K. V. 2010b. The role of water in the growth of the tea (*Camellia sinensis* L.) crop: a synthesis of research in eastern Africa. 2. water productivity. *Experimental Agriculture*. 46(3): 351-379.
9. Chen P. A. Lin S. Y. Liu C. F. Su Y. S. Cheng H. Y. Shiau J. H. and Chen I. Z. 2015. Correlation between nitrogen application to tea flushes and quality of green and black teas. *Scientia Horticulturae*. 181(2): 102-107.
10. Cheruiyot E. K. Mumera L. M. Ng'etich W. K. Hassanali A. and Wachira F. N. 2010. High fertilizer rates increase susceptibility of tea to water stress. *Journal of Plant Nutrition*. 33(1): 115-129.
11. Kigalu J. M. Kimambo E. I. Msite I. and Gembe M. 2008. Drip irrigation of tea (*Camellia sinensis* L.) 1. Yield and crop water productivity responses to irrigation. *Agricultural Water Management*. 95(11): 1253-1260.
12. Maghanga J. K. Kituyi J. L. Kisinyo P. O. and Ng'etich W. K. 2013. Impact of Nitrogen Fertilizer Applications on Surface Water Nitrate Levels within a Kenyan Tea Plantation. *Journal of Chemistry*. 2(4): 1-4.
13. Möller M. and Weatherhead E.K. 2007. Evaluating drip irrigation in commercial tea production in Tanzania. *Irrigation and Drainage Systems*. 21(1): 17-34.
14. Msomba S. W. Reuben S.O.W.M. Rweyemamu C. L. and Kamunya S. M. 2018. Evaluation of improved tea (*Camellia sinensis* L.) genotypes to differential drip-irrigation levels in Tanzania. *Res. J. of Agriculture and Forestry Sci*. 6(6): 1-13.
15. Nalina M. Soroja S. Rajkumar R. Radhakrishnan B. Nagarathan, K. and Chandrashekar KN. 2018. Variations in

آب و کود در مناطق چای‌کاری به‌ویژه اراضی شیب‌دار و مرتفع توصیه می‌شود.

برای آبیاری بوته‌های چای با توجه به نوع برنامه‌ریزی آبیاری می‌توان از قطره‌چکان‌های با دبی حداکثر چهار لیتر در ساعت به‌ازای هر بوته چای استفاده کرد. برنامه آبیاری به‌صورت هفته‌ای دو بار توصیه می‌شود. لوله‌های فرعی باید در بین هر دو ردیف بوته چای قرار داده شوند. برنامه کوددهی (کودآبیاری قطره‌ای) می‌تواند به‌صورت هفته‌ای یک‌مرتبه طی دوره رشد انجام شود. به‌طورکلی، برای عملکرد بیشتر از ۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم کود نیتروژنی و عملکرد کمتر، کاربرد ۱۰۰ تا ۱۲۰ کیلوگرم کود نیتروژنی به‌صورت محلول توصیه می‌شود.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از جناب آقای مهندس محمدرضا طاهرزاده، مدیر عامل محترم و جناب آقای مهندس حبیب جهانسانز رئیس محترم هیئت‌مدیره صندوق حمایت از توسعه صنعت چای به‌منظور حمایت‌های لازم برای اجرای پروژه «بهینه‌سازی مصرف آب و کود در روش آبیاری قطره‌ای در باغ‌های چای»، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌کنم.

منابع

۱. غلامی م. ۱۳۸۷. طرح برنامه راهبردی تحقیقات چای. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، پژوهشکده چای. گزارش نهایی. شماره مصوب ۱-۲۱-۲۱-۸۶۰۱.
۲. مجدسلیمی ک. ۱۳۹۵. تأثیر کود نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد چای در شرایط آبیاری تکمیلی و دیم. پژوهش‌های تولید گیاهی. ۲۳(۲): ۱۴۵-۱۶۳.
۳. مجدسلیمی ک. و امیری ا. ۱۳۹۳. تحلیل بهره‌وری اقتصادی آب و کود نیتروژن در تولید چای با روش آبیاری بارانی. حفاظت منابع آب و خاک. ۳(۳): ۳۷-۴۷.
۴. مجدسلیمی ک. امیری ا. و شایگان ش. ۱۳۹۴. ارزیابی بهره‌وری آب در تولید چای (*Camellia sinensis* L.) در مناطق چای‌کاری استان گیلان. بوم‌شناسی کشاورزی. ۷(۲): ۱۹۰-۲۰۱.

- quality constituents of green tea leaves in response to drought stress under south Indian condition. *Scientia Hort.* 233(2): 359-369.
16. Owuor P. O. Kamau D. M. Kamunya S. M. Msomba S. W. Uwimana M. A. Okal A. W. and Kwach B. O. 2011. Effects of genotype, environment and management on yields and quality of black tea. *Genetics, Biofuels and Local Farming Systems*. 7(1): 277-307.
17. Qian W. Hu J. Zhao L. and Zhang X. 2018. Response of Tea Plants to Drought Stress. In book: *Stress Physiology of Tea in the Face of Climate Change*. pp. 63-81.
18. Stephens W. and Carr M. K. V. 1994. Responses of tea (*Camellia sinensis*) to irrigation and fertilizer. IV. Shoot population density, Size and Mass. *Experimental Agriculture*. 30(2):189-205.