

ارزیابی عملکرد و کارایی مصرف آب در تولید اقتصادی چای تحت تاثیر تیمارهای آبیاری تکمیلی و کود نیتروژن

کوروش مجدسلیمی^{۱*}، ابراهیم امیری و سید بابک صلواتیان

محقق بخش تحقیقات فنی و مهندسی مرکز تحقیقات چای کشور.

k_majdsalimi@yahoo.com

دانشیار گروه کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان.

eamiri57@yahoo.com

محقق بخش تحقیقات فنی و مهندسی مرکز تحقیقات چای کشور.

salvation@yahoo.com

چکیده

تولید اقتصادی چای در شرایط پایدار منوط به استفاده صحیح از منابع آب و کود می‌باشد. بدین منظور نقش آبیاری تکمیلی و کود نیتروژن در تولید اقتصادی در باغ‌های چای با ارزیابی عملکرد، تابع تولید، کارایی مصرف آب و نسبت درآمد به هزینه و بازده نهایی طی سه سال (۱۳۸۷ تا ۱۳۸۹) در ایستگاه تحقیقات چای فومن در استان گیلان بررسی شد. برای اجرای آزمایش از سیستم آبیاری بارانی تک شاخه‌ای و طرح آزمایشی کرت‌های خردشده نواری در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی استفاده گردید. تیمارها شامل شش سطح نیتروژن صفر، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰ و ۵۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به صورت مخلوط با خاک (از منبع کود اوره) به عنوان عامل اصلی و پنج سطح آبیاری شامل آبیاری کامل (I_4)، آبیاری ناقص (I_1, I_2, I_3) و سطح بدون آبیاری (I_0) به عنوان عامل فرعی بودند که در چهار تکرار قرار داده شدند. آبیاری کامل با روش بارانی (۳۴۲ میلی‌متر) و مصرف ۳۲۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در بوته‌های بالغ چای باعث شد تا بیشترین میزان عملکرد برابر ۳۹۲۸ کیلوگرم چای فرآوری‌شده در هکتار و کارایی مصرف آب تا حد ۷/۲ کیلوگرم در هکتار به ازای هر میلی‌متر آب مصرفی به دست آمد. در شرایط دیم با بارندگی ۲۳۰ میلی‌متر، بیشترین میزان عملکرد (۱۴۰۳ کیلوگرم در هکتار) و کارایی مصرف آب (۶/۱ کیلوگرم در هکتار به ازای هر میلی‌متر آب بارندگی) با مصرف ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به دست آمد. میانگین نسبت درآمد به هزینه برای سطوح آبیاری کامل و بدون آبیاری به ترتیب برابر ۱/۷۵ و ۱/۱۷ حاصل شد. بر این اساس، اگرچه در آبیاری کامل، هزینه‌ها افزایش می‌یافت اما افزایش درآمد و سود حاصل از تولید برگ سبز بیشتر و با کیفیت مرغوب‌تر چای (برگ سبز درجه یک)، هزینه‌ها را جبران می‌کرد.

واژه های کلیدی: آبیاری بارانی، تابع تولید، کاربرد نیتروژن، عملکرد چای، مصرف آب.

۱- آدرس نویسنده مسئول: گیلان، لاهیجان، خیابان شیخ زاهد گیلانی، مرکز تحقیقات چای کشور

* پذیرش: دی ۱۳۹۲ و دریافت: آبان ۱۳۹۳

مقدمه

حداقل بارندگی مورد نیاز سالانه برای رشد مناسب چای بین ۱۱۵۰ تا ۱۴۰۰ میلی‌متر گزارش شده است (پاندا، ۲۰۰۳). در مناطقی که میزان بارندگی و توزیع آن در دوره بهره‌برداری (رشد) مناسب نباشد، استفاده از آبیاری تکمیلی به منظور جبران کمبود آب مورد نیاز باغ‌های چای امری اجتناب‌ناپذیر است (کار، ۲۰۱۰a). برداشت برگ سبز چای در ایران از اوایل اردیبهشت تا آبان ماه به صورت متوالی در فواصل ۱۵ تا ۴۰ روزه انجام می‌شود. در برخی از ماه‌های دوره رشد (اواسط خرداد تا اوایل شهریور)، میزان بارندگی کمتر از نیاز آبی بوته‌های چای است و کمیت و کیفیت محصول در اثر تنش ناشی از کم آبی و عوامل محیطی، به مقدار بسیار زیادی کاهش می‌یابد که این مساله تولید اقتصادی چای را با تهدید مواجه می‌سازد (مجدسلیمی و همکاران، ۱۳۸۹a).

تحقیقات انجام گرفته در جنوب تانزانیا نشان می‌دهد که انجام آبیاری در دوره کم‌آبی (ماه می تا نوامبر)، تولید محصول را به میزان دو برابر افزایش داده است. به طوری که کاهش تعداد و مقدار آبیاری، موجب کاهش عملکرد به میزان قابل توجهی شده است (کار، ۲۰۱۰b). هم‌چنین، مصرف بهینه کود نیتروژن با هدف حفظ تعادل بین عملکرد و کیفیت محصول (اوور و همکاران، ۲۰۱۱، ۲۰۰۸a) در باغ‌های چای، بسیار حائز اهمیت است. از عوامل اصلی کمبود نیتروژن در خاک اراضی چای کاری می‌توان برداشت متوالی برگ و شاخساره‌های چای (محصول)، انجام هرس‌های مختلف (اوور و همکاران، ۲۰۱۱) و تلفات زیاد این عنصر به علت تصعید و آبشویی یون نیترات در اثر بارندگی و یا بیش آبیاری (کار، ۲۰۱۰b) را نام برد.

به‌طور کلی، واکنش چای به سطوح مختلف نیتروژن به میزان رطوبت موجود در خاک، شرایط آب و هوایی، خصوصیات خاک و قابلیت جذب عناصر غذایی دیگر بستگی دارد (بونهور و ویلسون، ۱۹۹۲). در صورتی که

نیتروژن از دست رفته جبران نشود، خاک به تدریج حاصل‌خیزی خود را از دست داده و کاهش در رشد بوته‌ها و میزان محصول روی می‌دهد. مصرف زیاد نیتروژن در صورتی که مقدار سایر عناصر غذایی کافی نباشد، دوره رشد گیاه را طولانی‌تر کرده و میزان عملکرد و کیفیت کاهش می‌یابد (اوور، ۲۰۱۱). ویلسون، ۱۹۹۹). در اراضی چای کاری شمال کشور تا به امروز توصیه مشخص و علمی برای کاربرد نیتروژن ارائه نشده است و کشاورزان اقدام به افزایش کاربرد نیتروژن (بیشتر از ۴۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به ترتیب برای اراضی فاریاب و دیم) با تصور دستیابی به محصول بیشتر و تولید اقتصادی می‌نمایند.

تحقیقات نشان می‌دهد که مصرف مازاد نیتروژن نه تنها عملکرد را افزایش نمی‌دهد بلکه باعث کاهش کیفیت و بازار پسنندی چای تولیدی می‌شود (اوور و همکاران، ۲۰۱۰، ۲۰۰۸a). استیفنز و کار (۱۴) گزارش کردند که در طی دوره کم‌آبی و در شرایط یکسان مصرف کود نیتروژن، عملکرد تیمارهای بدون آبیاری چهار تا هشت درصد و تیمارهای آبیاری کامل بین ۳۲ تا ۴۹ درصد از کل عملکرد سالانه را تشکیل می‌دادند. آنها عنوان نمودند که میزان افزایش عملکرد چای در مقابل نیتروژن مصرفی وابسته به آبیاری بوده و افزایش محصول در اثر استفاده از آبیاری موثرتر از کاربرد نیتروژن به تنهایی است.

بر اساس مطالعات انجام شده در کشورهای مختلف چایکاری، میزان کارایی مصرف آب بین ۰/۱۵ تا ۰/۹ کیلوگرم چای آماده در هکتار به ازای هر متر مکعب آب مصرفی گزارش شده است که این تغییرات به نوع سیستم آبیاری، میزان بارندگی و آبیاری، نوع کلون، میزان و نوع کود مصرفی، فصل، شرایط آب و هوایی، عملیات داشت و برداشت و سن بوته‌ها بستگی داشت (استیفنز و کار، ۱۹۹۱).

در مطالعه انجام شده طی دوره هشت ساله،

تاثیر سطوح مختلف کود نیتروژن و آبیاری بارانی بر تغییرات عملکرد، کارایی مصرف آب و بازدهی اقتصادی ناشی از مدیریت مصرف بهینه آب و کود نیتروژن مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش طی سه سال ۱۳۸۷ تا ۱۳۸۹ در ایستگاه تحقیقات شهید افتخاری فشالم در شهرستان فومن از استان گیلان اجرا شد. ارتفاع منطقه از سطح دریای آزاد ۱۰- متر بوده و دارای آب و هوای مرطوب و معتدل می‌باشد. اطلاعات مربوط به شرایط آب و هوایی و اقلیم محل اجرای آزمایش در شکل‌های (۱) و (۲) ارائه شده است. جمع کل بارندگی سالانه در سه سال به ترتیب ۹۳۲ ، ۱۰۸۱ و ۱۰۹۵ میلی‌متر با ریزش غیر یکنواخت بود. در دوره رشد چای (اردیبهشت تا آبان) کمترین میزان بارندگی و بیشترین تنش آبی در ماه‌های تیر و مرداد به خصوص در سال سوم آزمایش اتفاق افتاد بنابراین، بیشترین میزان آبیاری در سال سوم انجام شد جدول (۱). هم‌چنین در این دوره گیاه چای با عوامل ایجاد کننده تنش محیطی مانند دمای هوای بیشتر از ۲۵ درجه سانتی‌گراد و کمبود فشار بخار اشباع هوای بیشتر از ۲/۱ کیلوپاسکال در ساعاتی از روز در این دوره مواجه است (شکل‌های ۱ و ۲).

دامنه تغییرات عملکرد خالص سالانه به آب مصرفی واقعی برای کلون ۶/۸ در شرایط بدون آبیاری و آبیاری کامل با کاربرد ۲۲۵ کیلوگرم نیتروژن به ترتیب بین ۲/۳ تا ۵/۳ و ۲/۷ تا ۴/۶ کیلوگرم در هکتار به ازای هر میلی‌متر آب مصرفی گزارش شد (کار، ۲۰۱۰b).

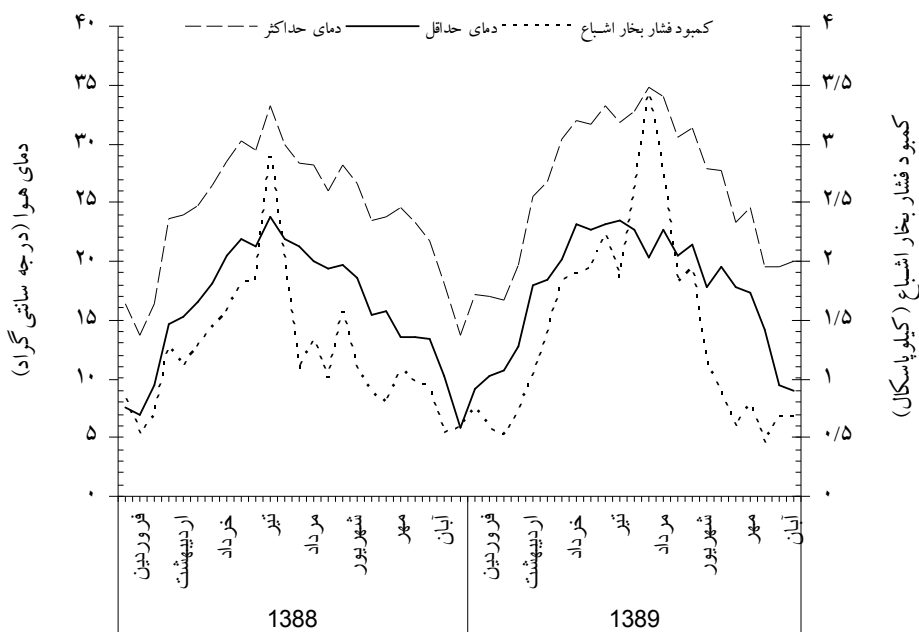
در مطالعه‌ای که طی یک دوره بهره‌برداری در منطقه فومن در استان گیلان انجام شد مصرف ۱۸۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار همراه با انجام آبیاری بارانی کامل در دوره خشک باعث افزایش عملکرد چای به میزان ۱۵۰ درصد نسبت به شرایط بدون آبیاری و مصرف ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار گردید (مجد سلیمی و میرلطیفی، ۱۳۸۷) اما با این وجود، بیش از ۹۵ درصد اراضی چای‌کاری (۳۰ هزار هکتار) در شمال کشور به صورت دیم هستند (مجد سلیمی، ۱۳۸۷) به طوری که، میانگین تولید عملکرد در اراضی چای‌کاری فاریاب و دیم به ترتیب حدود ۲۵۰۰ و ۱۰۰۰ کیلوگرم چای فرآوری شده در هکتار است (غلامی، ۱۳۸۷) و چای تولیدی در این مناطق، تقریباً ۲۰ درصد از مصرف سرانه کشور را تامین می‌کند (غلامی، ۱۳۸۷).

بنابراین، بهینه‌سازی مصرف آب و کود نیتروژن علاوه بر افزایش عملکرد در واحد سطح یا آب مصرفی و کاهش هزینه‌های تولید، سبب ارتقاء کیفیت برگ سبز چای شده و شرایط لازم برای توسعه کشاورزی پایدار و تولید اقتصادی محصول را فراهم می‌نماید. در این مقاله،

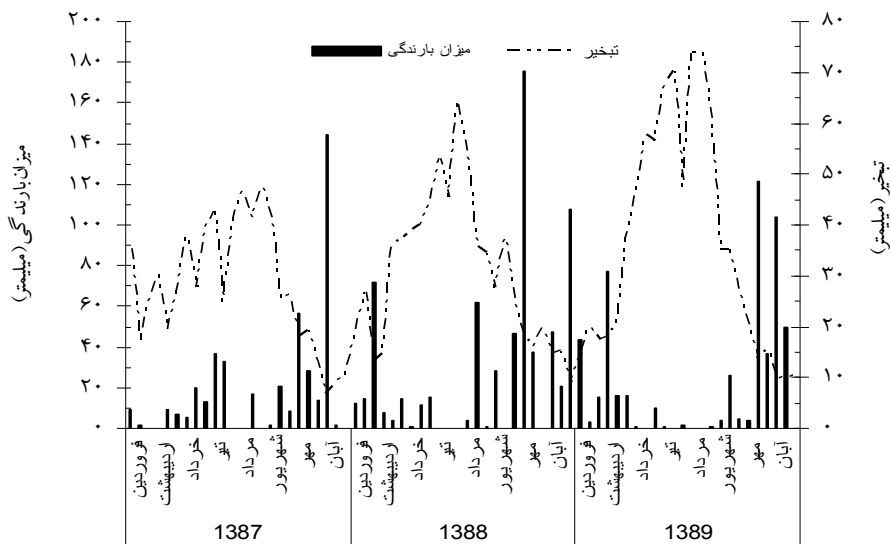
جدول ۱- میانگین مقدار ناخالص آب آبیاری و تبخیر-تعرق واقعی در سطوح مختلف آبیاری در سال‌های ۱۳۸۷ تا ۱۳۸۹

سطوح آبیاری	سال ۱۳۸۷		سال ۱۳۸۸		سال ۱۳۸۹	
	آب آبیاری	تبخیر-تعرق	آب آبیاری	تبخیر-تعرق	آب آبیاری [@]	تبخیر-تعرق
I ₄	۲۹۰	۴۹۰	۳۰۰	۵۲۱	۴۳۵	۶۰۲
I ₃	۲۲۵	۴۳۴	۲۳۰	۴۶۳	۳۲۳	۵۰۰
I ₂	۱۵۵	۳۷۳	۱۶۳	۳۶۲	۲۳۸	۴۰۷
I ₁	۷۹	۳۰۹	۶۸	۳۱۱	۱۱۹	۳۱۹
I ₀	۰	۲۳۰	۰	۲۵۴	۰	۲۰۰

@ : راندمان آبیاری حدود ۹۰ درصد در نظر گرفته شده است.



شکل ۱- تغییرات میانگین دمای حداکثر، دمای حداقل و کمبود فشار بخار هوا در دوره‌های ۱۰ روزه در کل دوره رشد دو سال ۱۳۸۹ و ۱۳۸۸ (ایستگاه هواشناسی فومن)



شکل ۲- تغییرات جمع بارندگی و تبخیر از تشت در دوره‌های ۱۰ روزه در کل دوره رشد سه سال ۱۳۸۹ تا ۱۳۸۷

کامل تصادفی استفاده گردید (مورگان و کار، ۱۹۸۹). به‌طور کلی چهار بلوک به ابعاد ۲۸/۸×۱۸ متر و ۱۲۰ کرت به ابعاد ۴/۸×۳/۶ متر در قطعه آزمایشی در نظر گرفته شد. عامل اصلی شامل شش سطح نیتروژن صفر، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰ و ۵۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار

در این تحقیق از سیستم آبیاری بارانی تک‌شاخه‌ای^۱ (هنکس و همکاران، ۱۹۷۶) و طرح آزمایشی کرت‌های خرد شده نواری^۲ در پایه بلوک‌های

1. Line source
2. Strip plot design

کرت بر اساس استاندارد ملی ۵۳۵۹ (بی-نام، ۱۳۸۸) به صورت برگ سبز درجه یک و برگ سبز درجه دو انجام گرفت. برای تبدیل وزن برگ سبز چای^۲ به عملکرد چای فرآوری شده^۳ از ضریب تبدیل ۲۲/۵ درصد (بی-نام، ۱۳۸۸) استفاده شد.

کارآیی مصرف آب^۴ برای تمامی تیمارهای ترکیبی در کل دوره رشد از تقسیم عملکرد کل چای فرآوری شده (برحسب کیلوگرم در هکتار) بر تبخیر-تعرق (میلی متر)، به دست آمد. برای محاسبه بارندگی موثر از روش سازمان حفاظت خاک آمریکا استفاده شد.

برای بهینه‌سازی اقتصادی، با توجه به اینکه تعیین بهترین سطوح آبیاری و میزان کود نیتروژن از اهداف اصلی فنی تحقیق بوده لذا درآمد کل بر مبنای قیمت فروش برگ سبز چای و هزینه‌ها در هر سطح آبیاری بر اساس قیمت‌های جاری منطقه در سال ۱۳۹۲ به دست آمد تا تأثیر قیمت بر تیمارها و تکرارها به‌عنوان متغیر اقتصادی که در بخش درآمدی توسط دولت تعیین می‌شود اما در بخش هزینه تابع بازار می‌باشد، یکسان گردد. در این بررسی ابتدا بهترین مقدار مصرف کود نیتروژن با توجه به مقدار عملکرد، توابع تولید، شاخص کارآیی مصرف و سایر عوامل برای هر سطح آبیاری تعیین سپس به‌منظور تحلیل اقتصادی و مقایسه سطوح آبیاری، درآمد کل، هزینه کل، سود، نسبت درآمد به هزینه و بازده نهایی (نسبت اختلاف سود به اختلاف هزینه هر تیمار در مقایسه با تیمار برتر) محاسبه شده است.

نتایج و بحث

ارزیابی عملکرد، تابع تولید و کارآیی مصرف آب

همان‌طوری که از شکل (۳) مشاهده می‌شود، منحنی تغییرات میانگین سه ساله (۱۳۸۷ تا ۱۳۸۹) عملکرد با سطوح کود نیتروژن برای تمام سطوح آبیاری به‌صورت تابع درجه دوم به دست آمد. با این تفاوت که

(N_0 تا N_5) بود که به‌صورت تصادفی در این بلوک‌ها قرار گرفتند. کود نیتروژن در دو تقسیم مساوی از منبع کود اوره (۴۶ درصد نیتروژن) و در دو زمان (اواخر اردیبهشت و اواسط تیر ماه) به خاک کرت‌ها، اضافه شد. عامل فرعی، یعنی پنج سطح آبیاری شامل آبیاری کامل (I_4) با حدود ۹۸ درصد جبران کمبود رطوبتی خاک، آبیاری ناقص (I_1 و I_2 ، I_3) به ترتیب با میانگین ۵۵، ۷۵ و ۲۵ درصد جبران کمبود رطوبتی خاک و سطح بدون آبیاری یا شاهد (I_0) بودند جدول (۱). این تیمارها در طرفین لوله آبیاری در نظر گرفته شدند. در روش آبیاری بارانی تک شاخه‌ای، با افزایش فاصله از لوله آبیاری، مقدار آب دریافتی به وسیله ی کرت‌ها کاهش (الگوی پاشش مثلثی) و تنش آبی، افزایش می‌یابد. نتایج تجزیه خاک محل نشان داد که بافت خاک تا عمق ۹۰ سانتی‌متری (توسعه ریشه) یکنواخت و از نوع لومی-رسی-شنی بود. مدت زمان آبیاری در این آزمایش، بر مبنای شدت پاشش آبپاش‌ها در تیمار آبیاری کامل (بازده ۹۰ درصد) و جبران کاهش رطوبت موجود در خاک تا ۴۰ درصد رطوبت قابل دسترس (آلن و همکاران، ۱۹۹۸) انجام شد. برنامه آبیاری بر اساس تخلیه رطوبتی خاک در عمق توسعه ریشه (۹۰ سانتی‌متری) و پایش رطوبت خاک با قرائت دستگاه^۱ TDR-Trime به‌صورت هفته‌ای دو بار و تعیین میزان تبخیر-تعرق با استفاده از معادله بیلان آبی صورت گرفت جدول (۱).

سایر عملیات به‌زراعی نظیر وجین علف‌های هرز و سرهرس روی بوته‌های تمامی کرت‌ها در طی سه سال به‌صورت معمول و رایج ایستگاه صورت گرفت.

روش ارزیابی

برداشت برگ سبز به‌عنوان محصول (شاخساره‌های لطیف) چای از تمام کرت‌های آزمایشی به‌طور متناوب انجام و وزن آن‌ها به‌وسیله ترازو تعیین شد. درجه بندی و تفکیک برگ سبز برداشت شده در هر

². Tea green leaf

³. Made tea

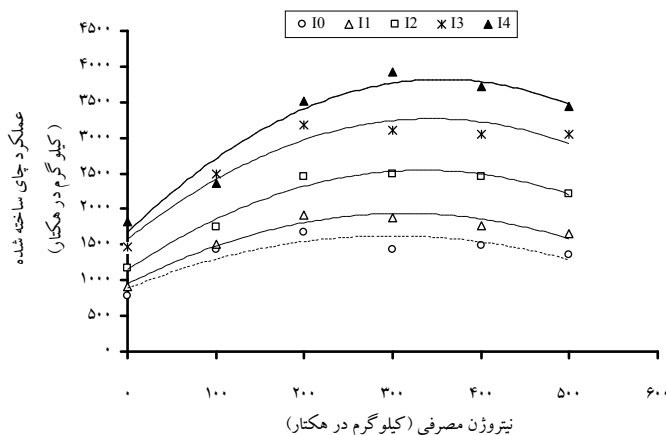
⁴. Water use efficiency

¹. Time domain reflectometry (TDR)

مصرفی دارای کمترین میزان عملکرد در مقایسه با تیمارهای دیگر بودند (شکل ۳). علاوه بر تنش رطوبتی موجود در خاک به علت کمبود بارندگی (شکل ۲)، عوامل تنش‌زای محیطی نظیر دمای بالای هوا (بیشتر از ۲۵ درجه سانتی‌گراد) و کمبود فشار بخار اشباع بیشتر از ۲/۱ کیلوپاسکال (کار، ۲۰۱۰a، اسمیت و همکاران، ۱۹۹۳) در ماه‌های تیر و مرداد شکل (۱) باعث شد تا تولید محصول (برگ و شاخساره‌های چای) در این وضعیت کاهش بسیار زیادی پیدا کند.

تغییرات برای سطوح آبیاری I₀ و I₁ با میانگین صفر و ۸۵ میلی‌متر جدول (۱) با شیب ملایم شروع شده و تا محدوده ۳۲۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار ادامه و سپس به‌طور جزئی کاهش می‌یابد.

این نوع واکنش و تغییرات را می‌توان به‌علت راندمان پایین مصرف نیتروژن (تلفات زیاد) ناشی از فقدان رطوبت مناسب در خاک طی ماه‌های خشک (تیر و مرداد) دانست که با وجود افزایش کاربرد نیتروژن، باعث تغییرات اندک در عملکرد بوته‌های چای می‌شود (کار، ۲۰۱۰a). بنابراین، سطوح I₀ و I₁ در تمام مقادیر نیتروژن



شکل ۳- واکنش میانگین عملکرد سه سال (۱۳۸۷ تا ۱۳۸۹) به کود نیتروژن در پنج سطح آبیاری

کیلوگرم نیتروژن در هکتار (۸۰ کیلوگرم چای در هکتار)، مصرف ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌عنوان بهترین سطح از لحاظ تولید عملکرد برای شرایط بدون آبیاری (با عملکرد ۱۴۰۳ کیلوگرم چای فرآوری‌شده در هکتار) در نظر گرفته می‌شود.

معادلات مربوط به تغییرات عملکرد چای تحت تاثیر دو تیمار آبیاری I₀ و I₁ در سطوح مختلف نیتروژن (روابط ۱ و ۲) نشان می‌دهد که بیشترین میزان عملکرد در این دو سطح آبیاری، با مصرف ۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌دست می‌آید اما با توجه به اختلاف کم عملکرد حاصل از مصرف ۲۰۰ کیلوگرم در مقایسه با ۳۰۰

$$Y_{(I0)} = -0.0083(N^2) + 4/95(N) + 886, \quad R^2=0.82, \quad n=6 \quad (1)$$

$$Y_{(I1)} = -0.011(N^2) + 6/47(N) + 939, \quad R^2=0.97, \quad n=6 \quad (2)$$

که در آن

در این شرایط و با توجه به ملاحظات اقتصادی (کاهش هزینه‌های تولید) و ملاحظات زیست محیطی (کاهش آلودگی منابع آب و خاک) و با در نظر گرفتن

عملکرد چای فرآوری شده (کیلوگرم در هکتار)، N، مقدار کود نیتروژن مصرفی (کیلوگرم در هکتار)، R ضریب تبیین و n تعداد مشاهدات است.

منظور تعادل بین عملکرد و کیفیت چای، کاربرد ۱۰۰ تا ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در شرایط دیم توصیه شده است (اوور و همکاران، ۱۹۹۵b، اوور، ۱۹۹۷).

منحنی تغییرات عملکرد با مقادیر مختلف نیتروژن در سطوح آبیاری ناقص I_2 ، I_3 با میانگین ۱۸۵ و ۲۵۸ میلی متر آب آبیاری جدول (۱) و سطح آبیاری کامل I_4 در ابتدا با شیب زیاد شروع شده و تا محدوده ۳۲۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار ادامه داشت شکل (۳) و پس از آن به طور جزئی، کاهش پیدا کرد. به طور مشابه، واکنش و تغییرات عملکرد در این سطوح (روابط ۳، ۴ و ۵) نیز تابعی از میزان رطوبت موجود در خاک و در نتیجه راندمان مصرف کود نیتروژن بود (کار، ۲۰۱۰b).

$$Y_{(I_2)} = -0.013(N^2) + 8.336(N) + 1145$$

$$Y_{(I_3)} = -0.014(N^2) + 9.87(N) + 1571$$

$$Y_{(I_4)} = -0.017(N^2) + 12.10(N) + 1666$$

آب آبیاری جدول (۱) و مصرف ۳۲۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار، بیشترین میزان برگ و شاخساره‌های چای (عملکرد) را تولید می‌کند شکل (۳). به طور کلی می‌توان بیان کرد که آبیاری کامل طی دوره کم آبی هر سه سال موجب شد تا عملکرد در این سطح از آبیاری برای تمام سطوح نیتروژن مصرفی (هم‌چنین بدون مصرف کود نیتروژن) بالاتر از سایر سطوح آبیاری × نیتروژن قرار گیرد. بهبود سرعت فتوسنتز، پتانسیل آب، هدایت روزنه‌ای و در نهایت رشد و نمو شاخساره‌های چای به دلیل اثر متقابل بین آب آبیاری و کود نیتروژن در فصل خشک از دلایل عمده افزایش عملکرد در این شرایط است (اسمیت و همکاران، ۱۹۹۳، کار، ۲۰۱۰a). بنابراین با در نظر گرفتن همگی جنبه‌های اقتصادی و زیست محیطی مختلف و برای دستیابی به کیفیت بالاتر چای (مجدسلیمی، ۱۳۹۱) در شرایط آبیاری کامل بوته‌های بالغ چای (با عملکرد بالای ۳۴۰۰ تا ۳۷۸۰ کیلوگرم در هکتار)، مصرف کمتر نیتروژن در محدوده ۲۰۰ تا ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار توصیه می‌شود.

مسئله کیفیت چای یعنی کاهش کیفیت چای با مصرف نیتروژن بیشتر (مجدسلیمی، ۱۳۹۱، اوور و همکاران، ۲۰۱۱، ۲۰۱۰)، می‌توان مصرف کمتر از ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار را برای این سطوح آبیاری توصیه نمود. این شیوه انتخاب توسط محققین دیگر نیز استفاده شده است. روزآ (۱۹۷۹) گزارش کرد که اگرچه میزان عملکرد حاصل از مصرف ۴۵۰ و ۶۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بیشتر از مصرف ۳۰۰ کیلوگرم بود اما با توجه به کاهش کیفیت چای در اثر مصرف نیتروژن بیشتر و به منظور حفظ تعادل بین عملکرد و کیفیت، مصرف ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار توصیه می‌شود. در کنیا بیشترین میزان عملکرد با کاربرد ۵۶۰ کیلوگرم نیتروژن به دست آمد که به

$$R^2=0.97, n=6 \quad (3)$$

$$R^2=0.94, n=6 \quad (4)$$

$$R^2=0.94, n=6 \quad (5)$$

به منظور تعیین بیشترین میزان عملکرد در سطوح آبیاری ناقص I_2 و I_3 در اثر مصرف نیتروژن و با استفاده از مشتق‌گیری (روابط ۳ و ۴) می‌توان نتیجه گرفت که بیشترین میزان عملکرد در این شرایط به ترتیب با مصرف ۳۲۰ و ۳۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به دست می‌آید. البته با پذیرش مقدار بسیار کمی کاهش محصول با هدف دستیابی به کیفیت بیشتر و در نظر گرفتن ملاحظات اقتصادی و زیست محیطی می‌توان مصرف نیتروژن در این سطوح از آبیاری را کاهش داد.

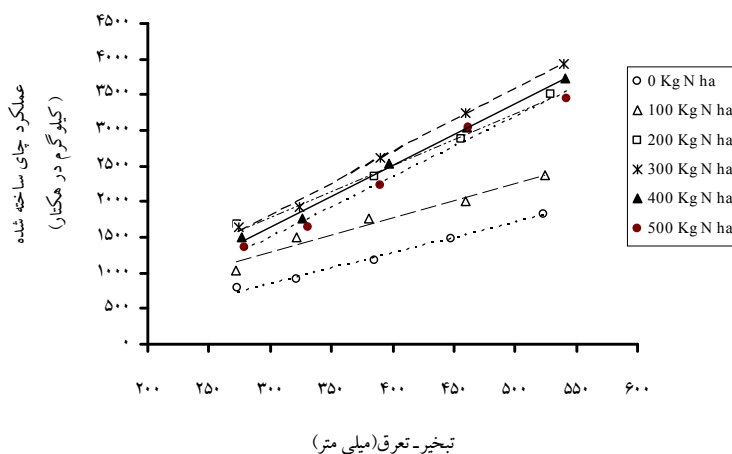
به طور کلی، مدیریت آبیاری ناقص در صورت وجود منابع آب کافی و مطمئن، مطلوب و ایده‌آل بوده و توصیه نمی‌شود اما در شرایطی که راه‌حلی جز به کارگیری آبیاری ناقص (کمتر از نیاز آبی واقعی) در باغ‌های چای وجود ندارد، مصرف نیتروژن کمتر از ۳۲۰ کیلوگرم در هکتار، بهترین گزینه برای دستیابی به تولید بیشتر و کیفیت بالاتر است.

بررسی میانگین عملکرد چای ساخته شده در سطح آبیاری کامل طی سه سال ۱۳۸۷ تا ۱۳۸۹ نشان‌دهنده این واقعیت است که آبیاری کامل با حدود ۳۴۲ میلی‌متر

ساخته شده در مقابل تبخیر- تعرق واقعی گیاه در دوره رشد برای سطوح مختلف کود نیتروژن مصرفی رسم شد شکل (۴). در این شکل از بین معادلات برازش شده، معادله درجه اول یا خطی دارای بالاترین ضریب همبستگی ($R^2 = 98\%$) بود.

در تمام سطوح نیتروژن مصرفی با افزایش میزان آب مصرفی یا تبخیر- تعرق، تولید محصول افزایش پیدا می کرد. همان طوری که در شکل (۴) مشاهده می شود، بهترین تابع ریاضی عملکرد مربوط به مصرف ۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار است. توابع حاصل از دو سطح N_0 و N_1 به طور مشخصی پایین تر از توابع دیگر قرار داشتند.

توصیه مقدار کود نیتروژنی مورد نیاز باغ های چای در سایر کشورهای جهان با توجه به شرایط آب و هوایی، نوع خاک، ژنوتیپ گیاه، محیط زیست، ملاحظات اقتصادی به علاوه اهمیت بازارپسندی و کیفیت چای، متفاوت است (اوور و همکاران، ۲۰۱۱، ۲۰۱۰). در کنیا مصرف ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن (اوور و همکاران، ۲۰۰۸)، در سریلانکا ۳۷۰ کیلوگرم در هکتار (آنانداکوماراسی و همکاران، ۲۰۰۸)، در چین ۲۴۰ تا ۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (چن و یو، ۱۹۹۹) توصیه شده است. در این تحقیق برای محاسبه تابع ریاضی عملکرد و تبخیر- تعرق واقعی، مقادیر عملکرد چای



شکل ۴- واکنش میانگین عملکرد سه سال (۱۳۸۷ تا ۱۳۸۹) به تبخیر- تعرق در شش سطح نیتروژن

تیمارهای N_0I_0 و N_0I_1 به ترتیب برابر ۲/۸۸ و ۲/۸۱ کیلوگرم به ازای هر میلی متر آب مصرفی به دست آمد. بیشترین کارایی مصرف آب در وضعیت دیم با کاربرد ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار برابر ۶/۱ کیلوگرم در هکتار به ازای هر میلی متر بارندگی موثر حاصل شد.

استیفنز و کار (۱۹۹۱) کارایی مصرف آب را در طی یک سال برداشت از باغ های چای برای تیمارهای بدون آبیاری و مصرف نیتروژن بین ۱/۵ تا ۲/۵ کیلوگرم در هکتار به ازای هر میلی متر آب مصرفی و در تیمارهای آبیاری مطلوب با مصرف ۳۷۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بین پنج

بیشترین کارایی مصرف آب در سطح آبیاری کامل از مصرف ۳۲۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار برابر ۷/۲ کیلوگرم در هکتار به ازای هر میلی متر آب مصرفی به دست آمد. آبیاری باعث شد تا جذب و انتقال نیتروژن به برگ های تغذیه کننده و فرآیند سوخت و ساز به نحو مناسبی انجام گیرد و این مساله باعث افزایش عملکرد (صورت کسر رابطه کارایی) گردد و در نتیجه کارایی مصرف آب افزایش یابد. بنابراین، آبیاری باعث افزایش میزان کارایی مصرف آب در تمام سطوح مصرف کودی شد (شکل ۴). کمترین میزان کارایی مصرف آب از

آب و آبیاری با استفاده از شیوه مرسوم منطقه یعنی هزینه اجاره یک هکتار باغ چای در شرایط بدون آبیاری و دارای سامانه آبیاری استفاده گردید جدول(۲).

برای محاسبه سایر هزینه‌های عملیاتی شامل هزینه مربوط به وجین علف‌های هرز، هزینه خرید، حمل و پخش انواع کود (سولفات پتاسیم و سوپر فسفات تریپل) و هزینه انجام سرهرس با ثابت در نظر گرفتن آن‌ها در این آزمایش، از قیمت‌های واقعی و رایج منطقه استفاده شد جدول(۲). همچنین، محاسبه هزینه مربوط به برداشت با ماشین برگ‌چین و حمل برگ سبز به کارخانه چای‌سازی، با استفاده از اجرت برداشت و حمل رایج منطقه برابر ۲۴۰۰ ریال به ازای هر کیلو برداشت برگ سبز در سال ۱۳۹۲، انجام شد. هزینه برق مصرفی ۱۰۰۰ ریال به ازای هر کیلو وات و هزینه خرید، حمل و پخش کود بود. هزینه‌های کارگر آبیاری، بهره‌برداری و نگهداری سامانه آبیاری برابر ۳۰۰ هزار ریال در روز بر مبنای قیمت رایج منطقه لحاظ شد.

تا نه کیلوگرم در هکتار به ازای هر میلی‌متر آب مصرفی گزارش نمودند.

بهینه‌سازی اقتصادی تولید

به‌منظور بهینه‌سازی اقتصادی تولید با کاربرد سطوح مختلف آبیاری بارانی تکمیلی برای مقدار بهینه کود نیتروژن مصرفی در باغ‌های چای، ابتدا درآمد کل حاصل از فروش برگ سبز چای محاسبه و محصول برداشت‌شده طبق روش استاندارد ملی^۱، ارزیابی و قیمت‌گذاری شد. بر این اساس، میانگین وزن برگ سبز درجه یک و درجه دو در هر تیمار، تعیین گردید. سپس با توجه به قیمت تضمینی هرکیلو برگ سبز درجه یک (۱۲۰۰۰ ریال) و درجه دو (۶۵۰۰ ریال) در سال ۱۳۹۲، درآمد حاصل از فروش برگ سبز چای به‌دست آمد جدول (۲). با توجه به اینکه چای گیاهی چند ساله، خزان‌ناپذیر و همیشه سبز است و بوته‌ها در محل آزمایش دارای سنین متفاوت و بالا (حدود ۴۰ سال) بودند، در این تحقیق هزینه کاشت و داشت که عملاً در سال‌های قبل انجام شده بود باید برآورد می‌گردید، در حالی‌که این هزینه‌ها برای تمام تیمارها و تکرارها یکسان و ثابت بوده و بنابراین از برآورد و وارد نمودن آن در محاسبات صرف‌نظر شد.

همچنین با توجه به اینکه تامین آب برای آبیاری باغ‌های چای، از منابع آب زیرزمینی (چاه‌های سطحی و نیمه عمیق) صورت می‌گیرد و هزینه‌ای از کشاورزان چای‌کار به‌عنوان آب بهاء دریافت نمی‌گردد بنابراین، برای محاسبه هزینه استحصال آب فقط هزینه مصرف برق الکتروموتور در نظر گرفته شد. برای محاسبه هزینه‌های

۱- بر اساس استاندارد ملی شماره ۵۳۵۹ چای، برگ سبز درجه یک شامل ۶۰ درصد دو برگ و یک جوانه، ۲۵ درصد سه برگ و یک جوانه و تک برگ لطیف، بنجی و دو برگ بنجی هر کدام ۵ درصد است. برگ سبز درجه دو شامل ۲۰ درصد دو برگ و یک جوانه، ۵۰ درصد سه برگ و یک جوانه، ۱۰ درصد چهار برگ و یک جوانه، ۱۰ درصد تک برگ لطیف، تک برگ و دو برگ بنجی هر کدام پنج درصد می‌باشد.

جدول ۲- هزینه‌های ثابت کاشت و داشت در یک هکتار باغ چای

مبلغ کل (ریال)	حجم عملیات		مبلغ واحد (ریال)	هزینه‌های ثابت
	کارگر (نفر - روز)	تعداد (مرتبه)		
۷۰۰۰۰۰۰	-	۱	۷۰۰۰۰۰۰	بدون آبیاری
۱۰۰۰۰۰۰۰	-	۱	۱۰۰۰۰۰۰۰	دارای آبیاری ناقص
۱۵۰۰۰۰۰۰	-	۱	۱۵۰۰۰۰۰۰	دارای آبیاری کامل
۳۰۰۰۰۰۰۰	۶	۱	۵۰۰۰۰۰۰	شخم و فوکازنی
۳۹۰۰۰۰۰۰	۶	۱	۶۵۰۰۰۰۰	سرهرس (هرس سالیانه)
۴۸۰۰۰۰۰۰	۱۶	۴	۳۰۰۰۰۰۰	وجین علف‌های هرز
۳۶۰۰۰۰۰۰	-	۱	۳۶۰۰۰۰۰۰	خرید و حمل کودهای روی، پتاس و فسفر*
۵۰۰۰۰۰۰۰	۱	۱	۵۰۰۰۰۰۰۰	محللول پاشی سولفات روی
۶۰۰۰۰۰۰۰	۲	۲	۳۰۰۰۰۰۰۰	پخش دستی کودهای فسفر و پتاس

* - برای محاسبه هزینه‌های ثابت از قیمت‌های سال ۱۳۹۲ استفاده شده است.

* : به ترتیب به مقدار ۲۵، ۲۰۰ و ۱۰۰ کیلوگرم سولفات روی، سولفات پتاسیم و سوپر فسفات تریپل.

نسبت به شرایط دیم، هزینه‌های بالاتر در این وضعیت (هزینه‌های مربوط به اجاره باغ دارای سامانه آبیاری ناقص و سایر هزینه‌های مربوط به کارگر آبیاری و مدیریت سامانه) دلیل اصلی کاهش این نسبت در این سطح آبیاری در مقایسه با شرایط بدون آبیاری می‌باشد.

بررسی میانگین درآمد، هزینه و سود سه سال ۱۳۸۷ تا ۱۳۸۹ نشان داد جدول (۳) که سطح بدون آبیاری با مصرف ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار دارای کمترین میزان درآمد و هزینه کل بود اما با این وجود نسبت درآمد به هزینه در این شرایط بیشتر از سطح آبیاری I₁ به دست آمد. علیرغم درآمد کل بیشتر در این سطح از آبیاری

جدول ۳- میانگین سه ساله درآمد، هزینه، سود و بازده نهایی سطوح مختلف آبیاری (هزار ریال در هکتار)

بازده نهایی	نسبت درآمد به هزینه	سود	هزینه کل	درآمد کل	وزن برگ سبز چای (کیلوگرم در هکتار)		سطوح آبیاری
					درجه دو	درجه یک	
۱/۳۳	۱/۱۷	۶۹۲۸/۷	۴۰۹۸۶/۱	۴۷۹۱۴/۸	۲۸۳۹	۲۴۵۵	I ₀
۱/۵۲	۱/۱۵	۷۰۴۴/۱	۴۶۳۲۲/۸	۵۳۳۶۶/۹	۳۲۶۳	۲۶۸۰	I ₁
۱/۵۳	۱/۴۳	۲۵۴۱۹	۵۸۶۷۳	۸۴۰۹۲	۶۸۶۳	۳۲۹۰	I ₂
۲/۰۴	۱/۵۵	۳۹۶۴۸/۹	۷۱۶۸۱/۶	۱۱۱۳۳۰/۵	۹۰۲۵	۴۳۸۹	I ₃
---	۱/۷۵	۶۲۸۹۲/۴	۸۳۰۶۰/۸	۱۴۵۹۵۴/۲	۸۰۵۴	۷۸۰۰	I ₄

درصد محصول برداشت شده (۲۸۳۹ کیلوگرم برگ سبز در هکتار) دارای کیفیت درجه دو بود، بنابراین با توجه به مقدار بسیار کمتر تولید محصول در این شرایط و تفاوت قیمت برگ درجه یک و درجه دو (۵۵۰۰ ریال)، درآمد و سود پایین در شرایط بدون آبیاری، نتیجه‌ای قابل انتظار است.

به‌طور کلی، پایین بودن میزان درآمد و سود حاصل از فروش برگ سبز چای و غیر اقتصادی بودن مدیریت در شرایط بدون آبیاری را می‌توان ناشی از افت کمیت و کیفیت برگ سبز علیرغم هزینه‌های پایین آن در این شرایط دانست. به‌طور میانگین (سه سالانه) حدود ۴۶ درصد از کل محصول تولیدی (۲۴۵۵ کیلوگرم برگ سبز در هکتار) در این تیمار، شامل برگ درجه یک و ۵۴

تیمارهای آبیاری ناقص نشان می‌دهد در صورتی که مجبور به استفاده از روش کم آبیاری (آبیاری کمتر از نیاز گیاه) در باغ‌های چای باشیم، تیمار I3 نسبت به سایر تیمارها، تیمار مسلط است. هم‌چنین در مناطقی که امکان آبیاری باغ‌های چای وجود ندارد، به‌کارگیری مدیریت داشت و برداشت مناسب و اصولی به‌منظور حفظ رطوبت خاک می‌تواند منجر به تولید محصول بیشتر و سودآوری و بازده نهایی قابل قبولی گردد.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که آبیاری کامل به‌میزان حدود ۳۴۲ میلی‌متر همراه با مصرف ۳۲۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار باعث تولید بیشترین میزان عملکرد (۳۹۲۸ کیلوگرم در هکتار)، کارایی مصرف آب (۷/۲ کیلوگرم بر میلی‌متر) و حداکثر سود در باغ‌های چای می‌شود. در شرایط بدون آبیاری (دیم) بالاترین میزان عملکرد، کارایی مصرف آب و سود با مصرف ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار حاصل می‌گردد.

به‌منظور جلوگیری از افزایش میزان آلودگی زیست محیطی و کاهش کیفیت چای، کاهش مصرف نیتروژن پیشنهاد می‌شود (کاربرد ۲۵۰ و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به ترتیب برای باغ‌های دارای آبیاری کامل و دیم). برای تعیین میزان نیتروژن مورد نیاز در باغ‌های چای استفاده از منحنی تغییرات عملکرد نیتروژن×آبیاری با در نظر گرفتن میزان آب آبیاری و تولید محصول در هر باغ، توصیه می‌شود.

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از نتایج پروژه تحقیقاتی مصوب به شماره ثبت ۸۵۰۲۵-۰۰۰۰-۰۵-۲۹۰۰۰۰-۱۱۱-۲ سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی وزارت جهاد کشاورزی است که با امکانات مرکز تحقیقات چای کشور در ایستگاه تحقیقات چای شهید

در تحلیل درآمد و هزینه مشاهده می‌شود جدول (۳) که سطح آبیاری ناقص I3 و سطح آبیاری کامل I4 با کاربرد ۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار توانستند بیشترین میزان درآمد، سود و نسبت درآمد به هزینه را به خود اختصاص دهند. اگر چه کل هزینه اعمال این دو تیمار بیشتر از سایر تیمارهای آبیاری است اما درآمد و سود حاصل از اعمال آن‌ها، به مراتب بیشتر از سطوح دیگر می‌باشد. همان‌طوری که از نتایج تحقیق مشاهده شد، سطح آبیاری کامل را می‌توان به‌عنوان بهترین و اقتصادی‌ترین سطح آبیاری در باغ‌های چای انتخاب کرد (با میانگین نسبت درآمد به هزینه ۱/۷۵). افزایش درآمد و سود حاصل از اعمال آبیاری کامل را می‌توان ناشی از تولید برگ سبز بیشتر و با کیفیت مرغوب‌تر (درجه یک) نسبت به سایر تیمارها دانست.

در این تیمار از میانگین سه ساله ۱۵۸۵۴ کیلوگرم برگ سبز چای در هکتار، ۷۸۰۰ کیلوگرم برگ درجه یک (۴۹ درصد) و ۸۰۵۴ کیلوگرم برگ درجه دو (۵۱ درصد)، به‌دست آمد. به عبارت دیگر در یک هکتار باغ چای مجهز به سامانه آبیاری بارانی با انجام آبیاری تکمیلی و کاربرد ۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار می‌توان به ازای هر واحد هزینه، به درآمدی برابر ۱/۷۵ واحد دست یافت درحالی‌که این نسبت در شرایط بدون آبیاری برابر ۱/۱۷ و در سایر سطوح آبیاری ناقص به ترتیب ۱/۱۵، ۱/۴۳ و ۱/۵۵ بوده است.

روند صعودی بازده نهایی (نسبت اختلاف سود به اختلاف هزینه هر تیمار آبیاری در مقایسه با تیمار برتر) در اثر اعمال آبیاری بارانی تکمیلی، بیان می‌کند که با توجه به هزینه ناچیز استحصال آب آبیاری در مناطق چای‌کاری، استفاده از مدیریت آبیاری کامل‌تر موجب می‌شود تا علاوه بر افزایش وزن برگ سبز تولیدی، لطافت و مطلوبیت آن (برگ سبز درجه یک)، افزایش و سود حاصل بیشتر گردد. علیرغم اینکه این نوع مدیریت در اراضی چای‌کاری به‌عنوان اقتصادی‌ترین و برترین روش آبیاری می‌باشد اما بازده نهایی بیشتر از یک در تمام

افتخاری در شهرستان فومن در استان گیلان اجرا گردید. تشکر و قدردانی می‌گردد.
بدین وسیله از تمامی دوستان همکار در اجرای پروژه،

فهرست منابع

۱. بی نام. ۱۳۸۷. چای - چای سیاه - ویژگی‌ها و روش‌های آزمون. موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، شماره ۶۲۳، ۹ صفحه.
۲. غلامی م. ۱۳۸۷. برنامه راهبردی تحقیقات چای. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی مرکز تحقیقات چای کشور. شماره مصوب ۸۶۰۱-۲۱-۲۱-۱، ۱۵۰ صفحه.
۳. مجدسلیمی، ک. ۱۳۹۱. تاثیر متقابل سطوح آبیاری و مقادیر کود نیتروژن بر عملکرد و کیفیت برگ سبز چای. گزارش نهایی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. مرکز تحقیقات چای کشور، لاهیجان. شماره مصوب پروژه ۸۵۰۲۵-۰۰۰۰-۰۵-۲۹۰۰۰۰-۱۱۱-۲، ۱۳۴ صفحه.
۴. مجدسلیمی، ک. ۱۳۸۷. بررسی و مطالعه مسائل توسعه سیستم‌های آبیاری و کارایی مصرف آب در اراضی چای کاری. گزارش نهایی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. مرکز تحقیقات چای کشور، لاهیجان. شماره مصوب پروژه ۸۶۰۰۴-۸۶۰۱-۲۱-۲۱-۱۲، ۶۰ صفحه.
۵. مجدسلیمی، ک.، س. ب. صلواتیان و ف. باقری. ۱۳۸۹ا. تاثیر دوره‌های مختلف آبیاری بارانی بر بهره‌وری آب و خصوصیات کیفی گیاه چای و ارزیابی اقتصادی آن. نشریه علمی و پژوهشی آب و خاک مشهد، جلد ۵، شماره ۲۴: ۸۴۵-۸۵۵.
۶. مجدسلیمی، ک.، س. ب. صلواتیان و م. رضایی. ۱۳۸۹ب. اثر دور آبیاری در روش بارانی بر عملکرد و کارایی مصرف آب در باغ‌های چای گیلان. نشریه علمی و پژوهشی آب و خاک مشهد، جلد ۶، شماره ۲۴: ۱۱۴۱-۱۱۲۹.
۷. مجدسلیمی، ک و س. م. میرلطیفی. ۱۳۸۷. تأثیر آبیاری و کود نیتروژن بر عملکرد چای. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، جلد ۱۲، شماره ۴۴: ۳۹-۵۰.
8. Allen, R.G., L.S. Pereira and D. Raes. 1998. Crop Evapotranspiration. Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper. No 56.
9. Anandacumaraswamy, S., L. S. K. Hettiarachchi., and , G. Gunarante. 2008. Responses a high yielding vegetatively propagated tea to urea and muriat of potash application in the wet zone upcountry region of Sri Lanka. In Proceeding of the 3rd International Conference on O-CHA (Tea) Culture and Science, November 2 – 4, 2007, Shizuoka, Japan, 69.
10. Bonheure, D., and K.C. Willson. 1992. Mineral nutrition and fertilizers. In K.C. Willson and M.N. Clifford (Eds.), Tea cultivation to consumption (pp. 269-329). U.K.: Chapman & Hall
11. Burgess, P.J. 1994. Methods of determining the water requirements of mature tea. Ngwazi Tea Research unite Quarterly Rport, 17: 11-21.
12. Burgess, P.J., A. M. Whittle., and F. R. B. Khumalo. 1996. Evaluation of irrigation needs and benefits. Proceedings of the first regional tea research seminar, Blantyre, Malawi. 226-235.
13. 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.
14. 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.
 15. Chen, Z. M., and Y. M. Yu. 1994. Tea. Encyclopedia of Agriculture Science. 4: 281-288.
 16. Hanks, R.J., J. Keller., V. P. Rasmussen., and G. D. Willson. 1976. Line source sprinkler for continuous variable irrigation-crop production studies. Soil Science Society of American Journal, 40: 426-429.
 17. Morgan, D.D.V., and M.K.V. Carr. 1989. Analyzing line source irrigation experiments. Experimental Agriculture, 91:4-11.
 18. Owuor, PO., CO. Othieno., DM. Kamau., JK. Wanyoko., and WK. Ng'etich. 2008a. Effects of long term fertilizer use on a high yielding tea clone AHP S15/10: yields. Tea Sci. 7:19-31.
 19. .Owuor, PO ., M. Obanda., HE. Nyirenda., and WL. Mandala. 2008b. Influence of region of production on clonal black tea chemical characteristics. Food. Chem. 108:263-271.
 20. Owuor, PO., D. M. Kamau., and E. O. Jondiko. 2010. The influence of geographical area of production and nitrogenous fertilizer on yields and quality parameters of clonal tea. J Food Agric Environ. 8:682-690.
 21. Owuor, P.O., D. M. Kamau., S. M. Kamunya., S. W. Msomba., M. A. Uwimana., A. W. Okal ., and B. O. Kwach. 2011. Effects of genotype, environment and management on yields and quality of black tea. Genetics, Biofuels and Local Farming Systems,7:277-307.
 22. Rojao, H., K. Ramdaursingh., and A. M. Ouradally. 1979. Fertilisation of mature tea plants. Revue Agricole et Sucriere de L'le Maurice, 58(3), 147-52.
 23. Smith, RI., F. J. Harvey., and M.G.R. Cannell. 1993. Clonal responses of tea shoot extension to temperature In Malawi. Experimental Agriculture. 29:47-60.
 24. Stephens, W., and M. K.V. Carr. 1991. Respons of tea (*camellia sinensis* L.) to irrigation and fertilizer. Water use. Experimental Agriculture, 27: 193-210.
 25. Panda, P. K., W. Stephens., and R. Carr. 2003. Modelling the influence of irrigation on the potential yield of tea(*Camellia sinensis*) in north-east India. Experimental Agriculture, 39: 181-198.
 26. Willson, K. C. 1999. Coffee, Cocoa and Tea. U.K.: CABI Publishing.

