

تأثیر آبیاری و کود نیتروژن بر عملکرد چای

کوروش مجد سلیمی^{۱*} و سید مجید میرلطیفی^۲

(تاریخ دریافت: ۸۵/۱۱/۲۳؛ تاریخ پذیرش: ۸۶/۷/۳)

چکیده

در بسیاری از مناطق چای خیز شمال کشور، انجام آبیاری تکمیلی مناسب در دوره کم آبی و مصرف صحیح کود نیتروژن می تواند منجر به افزایش قابل توجه عملکرد در واحد سطح گردد. در این راستا، تحقیق حاضر برای بررسی تأثیر سطوح آبیاری و کود نیتروژن بر عملکرد و تعیین تابع تولید و ضریب گیاهی چای، در جنوب غربی شهرستان فومن (زیده) در استان گیلان انجام شد. در این تحقیق از سیستم آبیاری بارانی تک شاخه ای و طرح آزمایشی کرت های دوبارخرد شده در قالب طرح پایه بلوک های کامل تصادفی، استفاده گردید. عامل فرعی یعنی تیمارهای آبیاری بر اساس میزان آب دریافتی، به تیمار آبیاری کامل (I₄)، تیمارهای آبیاری ناقص (I₁، I₂، I₃) و تیمار بدون آبیاری (I₀) تقسیم بندی و در هر تکرار به صورت ثابت انتخاب شدند. عامل اصلی شامل سه سطح نیتروژن N₁، N₂ و N₃ (۱۰۰، ۱۸۰ و ۳۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار) بوده که در سه تکرار به صورت تصادفی قرار داده شدند. در طی دوره رشد (اواخر فروردین تا مهر ماه)، به صورت هفتگی، رطوبت موجود در خاک به روش وزنی تا عمق ۹۰ سانتی متری تعیین و سپس با استفاده از روش بیلان رطوبتی، تبخیر- تعرق واقعی چای محاسبه شد. با برآورد ETo از روش پنمن- مانتیث در همان دوره، ضریب گیاهی نیز محاسبه گردید. در طی دوره رشد، میانگین تبخیر- تعرق واقعی در تیمارهای I₄ و I₀ به ترتیب معادل با ۴۵۷ و ۲۵۶ میلی متر حاصل گردید. ضریب گیاهی چای در دوره کم آبی (خرداد، تیر و مرداد) برای تیمار آبیاری کامل بین ۰/۸ تا ۰/۹ حاصل شد. ضریب حساسیت چای به تنش (k_p) برابر با ۱/۳۷ به دست آمد. نتایج نشان داد که مصرف بهینه نیتروژن (۱۸۰ کیلوگرم در هکتار) همراه با آبیاری کامل، تولید محصول و کارایی مصرف آب را افزایش داده و آبیاری در مقایسه با نیتروژن، تأثیر بیشتری بر افزایش عملکرد و کارایی مصرف آب داشته است. در تیمارهای I₀ و I₁، مصرف نیتروژن به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار منجر به تولید بیشترین عملکرد و کارایی مصرف آب گردید.

واژه های کلیدی: چای، آبیاری تکمیلی، نیتروژن، کارایی مصرف آب، ضریب گیاهی

مقدمه

مناسب چای بین ۱۱۵۰ تا ۱۴۰۰ میلی متر است (۱۲). در مناطقی که میزان بارندگی و توزیع آن در دوره بهره برداری (رشد) مناسب نباشد، استفاده از آبیاری تکمیلی به منظور جبران کمبود آب مورد نیاز باغ های چای امری اجتناب ناپذیر است (۵ و ۶).

چای (*Camellia sinensis* L.) گیاهی همیشه سبز از تیره *Theaceae* است که در اقلیم های متفاوتی، در سراسر جهان رشد می نماید (۱۰). حداقل بارندگی مورد نیاز سالانه برای رشد

۱. محقق بخش تحقیقات فنی و مهندسی مرکز تحقیقات چای کشور، لاهیجان

۲. استادیار آبیاری و زه کشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: k_majdsalimi@yahoo.com

در آب و هوای گرم و خشک، آب اصلی‌ترین عامل محدود کننده عملکرد بوته‌های چای است. به طوری که در نبود محدودیت‌های دیگر، آبیاری می‌تواند به صورت چشم‌گیری تولید محصول را افزایش دهد (۳ و ۴). در مناطق مختلف چای خیز، میزان تأثیر آبیاری بر عملکرد فصل گرم و خشک متفاوت بوده و تحت تأثیر شدت و مدت خشک‌سالی، شرایط آب و هوایی (به‌ویژه بارندگی، دما و رطوبت موجود در هوا)، برنامه آبیاری (مقدار و دور آبیاری)، نوع سیستم آبیاری، نوع کشت (قلمه و بذری)، نوع کلون و سن بوته‌ها قرار می‌گیرد (۴).

تحقیقات انجام گرفته در جنوب تانزانیا که توسط کار و همکاران (۶) گزارش شده است، 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. در حال حاضر کشت و تولید چای، در دو استان گیلان و مازندران صورت می‌گیرد و چای تولیدی در این مناطق، تقریباً ۴۰ درصد از مصرف سرانه کشور را تأمین می‌نماید. برداشت از باغ‌های چای که بیشتر در اراضی دیم و کوهپایه‌ای قرار دارند، در ماه‌های اردیبهشت تا آبان هر سال انجام می‌گیرد و تأمین آب مورد نیاز آنها به وضعیت (مقدار و توزیع) بارندگی منطقه بستگی دارد. با توجه به افزایش دما، کاهش رطوبت هوا و کمبود ریزش باران و توزیع نامناسب آن در بعضی از ماه‌های دوره رشد، تأمین آب مورد نیاز بوته‌های چای با استفاده از آبیاری تکمیلی، مهم‌ترین و اساسی‌ترین مسأله در بهبود و تثبیت عملکرد این محصول به‌شمار می‌آید. هم‌چنین در این مناطق، با توجه به محدودیت اراضی، استفاده بهینه از آب و نیتروژن به‌عنوان دو عامل مهم مدیریتی به‌منظور افزایش تولید در واحد سطح و کاهش هزینه‌های تولید، شرط لازم برای توسعه کشاورزی پایدار است.

محصول چای شامل برگ‌های تازه آن است، بنابراین گیاه چای به کاربرد کود نیتروژن حساس می‌باشد. با توجه به دائمی بودن بوته‌های چای و برداشت بخشی از اندام‌های هوایی

(شاخساره‌ها) به‌عنوان محصول، اهمیت این عنصر بیشتر می‌گردد (۱۷). به‌طور کلی واکنش چای به سطوح مختلف نیتروژن به میزان آب موجود در خاک، شرایط آب و هوایی، خاک و قابلیت جذب عناصر غذایی دیگر بستگی دارد. درصد نیتروژن در برگ‌های برداشت شده چای در حدود ۵-۳/۵ درصد ماده خشک گیاهی است. این مقدار معادل با خروج سالانه ۵۰-۳۵ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار به ازای تولید ۱۰۰۰ کیلوگرم چای خشک است (۲).

استیفنز و کار (۱۳) در آزمایشی که روی کلون ۶/۸ در منطقه موفیندی تانزانیا انجام دادند، گزارش نمودند که رابطه بین عملکرد و تبخیر-تعرق چای به صورت خطی بوده و در طی فصل خشک، اثر تیمارهای آبیاری و نیتروژن بر عملکرد معنی‌دار بوده است. عملکرد تیمارهای آبیاری کامل در طی فصل خشک به ۲/۲ تن چای خشک در هکتار رسید. در حالی که تیمارهای بدون آبیاری (دیم) پاسخ معنی‌داری نسبت به تیمارهای نیتروژن نشان ندادند و عملکرد آنها به کمتر از ۰/۴ تن چای خشک در هکتار کاهش یافت. در این آزمایش مصرف بهینه نیتروژن برای تیمارهای آبیاری کامل، ۳۷۵ کیلوگرم در هکتار و برای تیمارهای بدون آبیاری حدود ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار در طی ۱۱ ماه از فصل رشد تعیین گردید.

استیفنز و کار (۱۴) در گزارش دیگری عنوان نمودند که رابطه بین کاهش عملکرد و افزایش کمبود آب خاک، طی فصل گرم و خشک سه سال آزمایش، به صورت خطی یا غیر خطی تغییر می‌نمود. در طی دوره کم‌آبی و در شرایط یکسان مصرف کود نیتروژن، عملکرد تیمارهای بدون آبیاری ۴ تا ۸ 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 مؤثرتر از کاربرد نیتروژن به تنهایی است.

افت عملکرد چای تنها تحت تأثیر تنش ناشی از کمبود رطوبت در خاک نیست. نتایج تحقیقات در بعضی از کشورهای

تکرار دارای دو نیمه آبیاری بود که در طرفین خط آبیاری قرار داشتند. عامل اصلی شامل سه سطح نیتروژن N_1 ، N_2 و N_3 به ترتیب معادل با مصرف ۱۸۰،۱۰۰ و ۳۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار می باشد که در سه تکرار به طور تصادفی قرار گرفتند. نیتروژن در دو تقسیم مساوی از منبع کود اوره (۴۶ درصد نیتروژن خالص) و در دو زمان (مرحله اول اواخر فروردین و مرحله دوم اواخر خرداد ماه) به خاک کرت ها داده شد. عامل فرعی یعنی تیمارهای آبیاری در هر تکرار به صورت ثابت انتخاب گردیدند. در روش آبیاری بارانی تک شاخه ای با افزایش فاصله از لوله آبیاری، مقدار آب دریافتی توسط کرت ها، کاهش و تنش آبی افزایش می یابد. تیمارهای آبیاری بر اساس میزان آب دریافتی به مرطوب ترین تیمار (I_4) در مجاورت لوله آبد، تیمار بدون آبیاری یا شاهد (I_0) در دورترین نقطه از لوله آبد و تیمارهای با آبیاری ناقص (I_1 ، I_2 ، I_3) بین دو تیمار مذکور قرار داده شدند. ابعاد هر کرت در این آزمایش $3/6 \times 5/1$ متر در نظر گرفته شد. به منظور جلوگیری از اثرات جانبی کرت ها در تیمارهای اصلی (نیتروژن) بر یکدیگر، فاصله ای به اندازه یک ردیف بوته (۱/۵ متر) بین آنها لحاظ گردید. پس از استقرار سیستم آبیاری و کرت بندی قطعه آزمایشی، به منظور قطع سرشاخه های پنجه کلاغی و افزایش قدرت باردهی بوته ها، عملیات هرس سبک سطحی در زمستان انجام گردید. هم زمان آزمایش های فیزیکی و شیمیایی خاک تا عمق ۹۰ سانتی متری انجام شد و مشخص گردید که بافت خاک از نوع لومی است. نقطه ظرفیت زراعی، نقطه پژمردگی دائم و جرم مخصوص ظاهری خاک به ترتیب ۳۱ درصد حجمی، ۱۶ درصد حجمی و $1/45$ گرم بر سانتی متر مکعب و ظرفیت نگهداری آب در خاک در عمق های ۰-۳۰، ۳۰-۶۰ و ۶۰-۹۰ سانتی متری به ترتیب معادل $14/8$ ، $14/3$ و $14/9$ درصد وزنی به دست آمد. با توجه به عدم کمبود مواد مغذی در خاک قطعه آزمایشی، فقط کودهای سولفات پتاسیم و سوپرفسفات تریپل (به ترتیب به میزان ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) به صورت یک نواخت روی آن پخش و با خاک مخلوط گردید. عمق ریشه های موین بوته های چای محل آزمایش ۶۰ سانتی متر بود

چای خیز نشان می دهد که تولید محصول چای (برگ ها و شاخساره های لطیف و تازه) هم زمان تحت تأثیر تنش ناشی از دمای بالا و کمبود رطوبت در هوای اطراف بوته ها نیز قرار می گیرد (۶ و ۱۰). کار و همکاران (۶) بر اساس تحقیقات خود در مالایو گزارش نمود که در فصل گرم و خشک، حتی زمانی که رطوبت موجود در خاک در حد ظرفیت زراعی باشد، پتانسیل آب شاخساره ها و رشد شاخساره ها (محصول) تحت تأثیر دمای بالا و کمبود رطوبت موجود در هوا، به شدت کاهش می یابد. بهینه سازی مصرف آب و کود نیتروژن، تدوین برنامه و اعمال مدیریت صحیح آبیاری می تواند علاوه بر افزایش عملکرد در واحد سطح یا آب مصرفی، زیان های ناشی از کمبود منابع آب را نیز جبران نماید. در تدوین برنامه آبیاری مناسب و بهبود کارایی مصرف آب در آبیاری، تعیین تبخیر-تعرق، ضریب گیاهی و تابع عملکرد گیاه بسیار حائز اهمیت است. در این تحقیق تأثیر سطوح آبیاری و کود نیتروژن بر عملکرد چای مورد بررسی قرار گرفت و نیاز آبی، ضریب گیاهی و تابع تولید آن در منطقه زیده فومن در استان گیلان تعیین گردید.

مواد و روش ها

این تحقیق روی گیاه چای در منطقه زیده واقع در جنوب غربی شهرستان فومن (استان گیلان) با عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۱۲ دقیقه و طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۱۲ دقیقه و در ارتفاع ۹۰ متری از سطح دریا در سال ۱۳۷۹ اجرا شد. برای آبیاری قطعه آزمایشی از سیستم آبیاری بارانی تک شاخه ای (Line source) استفاده گردید (۹ و ۱۱). در این روش یک لوله آبیاری در وسط قطعه ای در باغ قرار گرفت و تعدادی آبپاش به فواصل معین (۱/۶ متر) از یکدیگر روی آن نصب گردید. قطعه آزمایشی در طرفین لوله آبد که همپوشانی کامل آبپاش ها بر روی آن صورت گرفت، انتخاب گردید. اثر سطوح مختلف آبیاری، نیمه های آبیاری و نیتروژن و اثر متقابل آنها بر عملکرد کرت ها، با استفاده از آزمایش کرت های دوبار خرد شده در قالب طرح پایه بلوک های کامل تصادفی مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش دارای سه تکرار و هر

می‌شد. در هر مرحله، آبیاری به نحوی انجام گرفت که رطوبت موجود در خاک بیشتر از میزان رطوبت ظرفیت زراعی نگردد و نفوذ عمقی به صفر برسد. با اندازه‌گیری رطوبت خاک قبل و بعد از بارندگی و بررسی تغییرات رطوبت تا عمق ۹۰ سانتی‌متری و ثبت میزان بارندگی کل توسط باران‌سنج، میزان نفوذ عمقی و بارندگی موثر محاسبه گردید. برداشت برگ‌های تازه چای به صورت ممتاز (۲ یا ۳ برگ و یک جوانه انتهایی) از کرت‌های آزمایشی در فواصل زمانی ۱۵ تا ۲۳ روز انجام گرفت. در طی دوره رشد (۲۵ فروردین تا مهر) به‌طور کلی نه مرتبه برداشت جداگانه به ترتیب در تاریخ‌های ۲/۱۷، ۳/۴، ۴/۵، ۴/۲۰، ۵/۵، ۵/۲۰، ۶/۷ و ۶/۲۶ سال ۱۳۷۹ صورت گرفت. برداشت برگ سبز از تمام کرت‌های آزمایشی به‌طور هم‌زمان انجام و وزن آنها توسط ترازو تعیین شد. برای تبدیل برگ سبز چای به چای خشک از ضریب تبدیل ۰/۲۲۵ استفاده گردید. به‌منظور بررسی بهتر و دقیق‌تر میزان اثرات هر یک از سطوح نیتروژن، آبیاری و اثر متقابل آنها روی عملکرد چای، تعداد نه برداشت به سه دوره متفاوت از لحاظ زمان برداشت تقسیم‌بندی گردید. تفکیک دوره‌ها با توجه به شرایط آب و هوایی، میزان تنش و تغییرات رطوبتی درخاک و زمان تأثیر نیتروژن انجام گرفت. سه دوره عبارت است از: دوره اول (جمع برداشت‌های اول و دوم)، دوره دوم یا دوره کم آبی (جمع برداشت‌های سوم تا هفتم) و دوره آخر (جمع برداشت‌های هشتم و نهم). تجزیه و تحلیل داده‌ها در دوره‌های مذکور و جمع کل برداشت‌ها با استفاده از نرم افزار MSTATC و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

اثر آبیاری و نیتروژن بر عملکرد

اثر تیمارهای مختلف آبیاری بر عملکرد چای (جمع کل برداشت‌ها، برداشت‌های سوم تا هفتم و هشتم تا نهم) در سطح احتمال یک درصد دارای اختلاف معنی‌داری بود. اما اختلاف معنی‌داری بین سطوح آبیاری در جمع برداشت‌های اول و دوم

که در طی دوره رشد این عمق ثابت در نظر گرفته شد (در گیاه چند ساله چای، در شرایط ایدال و پس از رسیدن بوته‌ها به سن بلوغ و باردهی، ریشه‌ها دارای عمق ثابتی می‌باشند). در طی فصل رشد هشت مرتبه آبیاری از طریق سیستم بارانی با اعمال تنش آبی، انجام شد. مدت و زمان آبیاری بر مبنای شدت پاشش آبیاری در تیمار آبیاری کامل (I_d)، کاهش رطوبت تا ۴۰ درصد آب قابل دسترس $(MAD = Management Allowed Depletion)$ و کمبود رطوبت خاک تا عمق ۹۰ سانتی‌متری برنامه‌ریزی گردید. در هر نوبت آبیاری، از کرت‌های آزمایشی نمونه‌گیری رطوبتی انجام شد. نمونه‌گیری در هر نوبت به صورت هفته‌ای و در زمان قبل آبیاری، انجام می‌گرفت و عمق رطوبت موجود در خاک با استفاده از معادله ۱ به دست آمد:

$$dx = \Theta_m \cdot D \cdot B_d \quad [1]$$

که در آن: B_d وزن مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب)، D عمق ریشه (سانتی‌متر)، dx عمق آب موجود در خاک (سانتی‌متر)، Θ_m رطوبت خاک (درصد وزنی) است.

میزان تبخیر-تعرق واقعی چای از طریق اندازه‌گیری اجزای بیلان آب بر اساس معادله ۲ محاسبه شد:

$$I + P - (ETa + Dd + Ro) = \Delta S \quad [2]$$

که در آن: I و P به ترتیب مقدار آب آبیاری و بارندگی موثر، Ro ، Dd ، ETa به ترتیب مقدار تبخیر-تعرق واقعی، عمق آب زهکشی شده و رواناب و ΔS تغییرات ذخیره رطوبت خاک است (واحدها بر حسب میلی‌متر می‌باشد). با توجه به استفاده از روش آبیاری بارانی، تمهیداتی اعمال شد که از ایجاد رواناب سطحی جلوگیری گردید. هم‌چنین با اعمال آبیاری مطابق با اندازه‌گیری رطوبت خاک مزرعه، سعی گردید از وقوع نفوذ عمقی ممانعت شود. بر اساس تبخیر-تعرق واقعی چای (ETa) و تقسیم آن بر تبخیر-تعرق گیاه مرجع (ETo) که از روش پنمن-مانتیث و با کمک برنامه Cropwat به دست می‌آید، مقدار ضریب گیاهی (Kc) چای در دوره‌های متفاوت در طی دوره رشد، محاسبه گردید. هم‌زمان ارتفاع آب آبیاری در قوطی‌های نمونه‌گیری آب که در بالای بوته‌های چای قرار داشتند، قرائت

می‌رسد، دمای برگ‌های چای که در معرض تابش خورشید قرار گرفته‌اند به ۴۵-۴۰ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد (۵ و ۱۶). رطوبت هوا هر قدر بیشتر باشد، نمو طولی شاخساره‌ها و توسعه برگ‌ها سریع‌تر و میزان محصول چای بیشتر خواهد شد. برای این‌که چای رشد خوبی داشته باشد باید رطوبت نسبی هوا حداقل ۶۰ درصد باشد. به ازای هر ۱۰ درصد کاهش رطوبت نسبی از میزان ۶۰ درصد، غلظت شیره سلولی به میزان ۶ درصد افزایش می‌یابد که در نتیجه رشد را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۵، ۸ و ۱۶). هم‌چنین زمانی که رطوبت نسبی هوا کمتر از ۶۰ درصد باشد، باید از مصرف کود نیز اجتناب نمود (نقل از منبع ۱).

چنان‌که در جدول ۲ آورده شده است تأثیر سطوح مختلف کود نیتروژن نیز بر عملکرد چای (جمع کل برداشت‌ها، جمع برداشت‌های سوم تا هفتم و جمع برداشت‌های هشتم و نهم) در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار می‌باشد. قابل ذکر است که این اثر در جمع برداشت‌های اول و دوم معنی‌دار نمی‌باشد. این موضوع را می‌توان به دلیل زمان اولین مصرف نیتروژن در اواخر فروردین و فاصله زمانی کوتاه آن برای تأثیر روی این دو برداشت دانست. نیتروژن معمولاً ۳ تا ۴ هفته پس از مصرف، شروع به اثرگذاری می‌نماید (۲ و ۱۷). نتایج مقایسه میانگین‌ها، نشان می‌دهد که در جمع کل برداشت‌ها، مصرف نیتروژن به میزان ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار، منجر به تولید بیشترین میزان عملکرد شده است. هم‌چنین نتایج نشان می‌دهد که سطوح N_1 و N_3 تفاوت معنی‌داری روی عملکرد ندارند. تیمار N_3 نه تنها افزایش عملکردی نداشته، بلکه نسبت به تیمار N_2 کاهش عملکرد را نیز سبب شده است. این مسأله علاوه بر دلایل فیزیولوژیکی، ممکن است به واسطه ایجاد محدودیت برای جذب مواد غذایی دیگر و تنش اسمزی حاصل از مصرف بالای نیتروژن باشد که در جذب آب توسط ریشه اختلال ایجاد می‌کند. ویلسون (۱۷) نیز علت کاهش عملکرد در سطوح بالاتر نیتروژن را به واسطه محدودیت جذب دیگر مواد غذایی در اثر خاصیت اسیدزایی کود نیتروژن در خاک می‌داند. هم‌چنین مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد که سطوح نیتروژن N_2 و N_3

مشاهده نگردید. در برداشت‌های اول و دوم با توجه به رطوبت نسبی بالا و بارندگی‌های خوب و توزیع مناسب آن، بوته‌های چای با تنش مواجه نشده و دارای عملکرد تقریباً یکسانی بودند (جدول ۱). برای جمع کل برداشت‌ها، تیمار آبیاری کامل (I_4) با بیشترین میزان عملکرد، به تنهایی در رتبه a و تیمارهای بعدی به ترتیب در رتبه‌های پایین‌تری قرار گرفتند. نکته قابل توجه در مقایسه میانگین‌های سطوح آبیاری این است که با وجود بارندگی مناسب و تأمین رطوبت مورد نیاز تیمارهای مختلف در جمع برداشت‌های پایانی (هشتم و نهم)، عملکرد آنها دارای اختلاف معنی‌داری نسبت به هم می‌باشند. در این مورد باید عنوان نمود که خسارت وارده به بوته‌ها شامل برگ‌های مغذی (Maintenance foliage) و شاخساره‌ها تیمار شاهد و با آبیاری ناقص، ناشی از شرایط بد آب و هوایی در برداشت ششم (پنجم مرداد)، در هنگام برداشت‌های پایانی جبران نگردیده و سبب این اختلاف شده است. افت ناگهانی عملکرد این تیمارها (I_0 تا I_3) در برداشت ششم، علاوه بر کمبود رطوبت موجود در خاک، تحت تأثیر دمای بالای هوا و کاهش رطوبت موجود در هوای اطراف بوته‌ها نیز قرار داشت. افزایش دمای هوا به ۳۷ درجه سانتی‌گراد و کاهش رطوبت نسبی در ظهر به ۴۳ درصد، طی چهار روز در فاصله زمانی بین برداشت پنجم و ششم، سبب گردید تا دمای برگ‌ها و شاخساره‌ها و نیاز به تعرق در آنها افزایش یابد و چون خاک در تیمارهای شاهد و آبیاری ناقص دارای رطوبت کافی برای تأمین نیاز آبی و برقراری تعادل رطوبتی بین اتمسفر و گیاه نبود، لذا شاخساره‌ها و برگ‌های سبز بوته‌های چای و دیگراندام‌های هوایی (مانند برگ‌های مغذی) تحت تأثیر این تنش‌ها، دچار سوختگی شده و عملکرد آنها در برداشت ششم، به شدت کاهش یافت. هم‌چنین خسارت ناشی از این شرایط، سبب گردید تا جمع عملکرد برداشت‌ها در دوره کم‌آبی (سوم تا هفتم) در این تیمارها نسبت به تیمار آبیاری کامل، اختلاف معنی‌داری داشته باشد. بر اساس مطالعات انجام گرفته در کنیا، زمانی که دمای محیط اطراف بوته‌ها به ۳۲-۳۰ درجه سانتی‌گراد

جدول ۱. مقایسه میانگین سطوح آبیاری در برداشت‌های متفاوت

میانگین عملکرد برگ سبز (کیلوگرم در هکتار)			سطوح آبیاری
برداشت‌های ۸ و ۹	برداشت‌های ۳ تا ۷	جمع کل برداشت‌ها	
۲۲۱۳ ^a	۵۶۶۴ ^a	۹۷۴۳ ^{a*}	I ₄
۱۷۸۵ ^b	۴۹۲۲ ^b	۸۰۷۱ ^b	I ₃
۱۸۵۹ ^c	۴۰۴۴ ^c	۶۳۲۲ ^c	I ₂
۳۴۱ ^d	۲۸۲۶ ^d	۴۴۵۳ ^d	I ₁
۲۷۰ ^e	۲۵۰۳ ^d	۳۹۶۸ ^d	I ₀

*: حروف نامشابه مربوط به گروه‌بندی تیمارها به کمک آزمون دانکن (احتمال ۰/۵) است.

جدول ۲. مقایسه میانگین سطوح نیتروژن در برداشت‌های متفاوت

میانگین عملکرد برگ سبز (کیلوگرم در هکتار)			سطوح ازت
برداشت‌های ۸ و ۹	برداشت‌های ۳ تا ۷	جمع کل برداشت‌ها	
۲۹۸ ^b	۴۱۲۷ ^b	۶۵۸۶ ^{b*}	N ₁
۳۴۸ ^a	۴۲۹۳ ^a	۶۸۵۲ ^a	N ₂
۳۳۹ ^a	۴۱۱۴ ^b	۶۶۴۷ ^b	N ₃

*: حروف نامشابه مربوط به گروه‌بندی تیمارها به کمک آزمون دانکن (احتمال ۰/۵) است.

مصرف ۱۸۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (I₄N₂) به دست آمد. میانگین عملکرد تیمار I₀N₂ برابر ۳/۹۳ تن برگ سبز در هکتار و تیمار I₄N₂ برابر ۱۰/۱۴ تن در هکتار بود (جدول ۳). بنابراین در سطح نیتروژن ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار و دو سطح دیگر نیتروژن به کار رفته، با افزایش میزان آب مصرفی تولید محصول افزایش یافت و آبیاری اثر محسوس تری نسبت به نیتروژن بر افزایش عملکرد داشت. با توجه به اثر کودهای نیتروژن که در شرایط مناسب رطوبتی خاک دارای تأثیر قابل توجهی بر عملکرد هستند، می‌توان نتیجه گرفت که مصرف بهینه نیتروژن همراه با آبیاری، راندمان تولید محصول را افزایش خواهد داد. استیفنز و کار (۱۴) به نتایج مشابهی در تانزانیا رسیدند. آنها عنوان نمودند که رابطه بین عملکرد و میزان آب مصرفی به میزان نیتروژن مصرفی بستگی دارد. همچنین استیفنز و کار (۱۵) در یک تحقیق دیگر در تانزانیا عنوان نمودند که اثر آبیاری و نیتروژن روی عملکرد در فصول مختلف متفاوت است و نتیجه گرفتند

برای جمع عملکرد برداشت‌های هشتم و نهم (پایان دوره رشد)، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشته و در یک کلاس قرار می‌گیرند که توصیه مصرف نیتروژن به مقدار ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار را تأیید می‌نماید. زیرا مصرف بیشتر نیتروژن جنبه اقتصادی نداشته و علاوه بر ایجاد مشکلات زیست محیطی، موجب کاهش راندمان مصرف نیتروژن نیز می‌شود. استیفنز و کار (۱۴) در سه سال اجرای تحقیق خود در تانزانیا عنوان نمودند که در سال‌های متوالی، افزایش میزان کود نیتروژن مصرفی، عملکرد سالانه را به صورت قابل توجهی افزایش داده، به طوری که هر چه تعداد دفعات برداشت بیشتر شود، میزان عملکرد نیز افزایش یافته و در نتیجه کود نیتروژن بیشتری مورد نیاز است.

اثر متقابل آبیاری و نیتروژن روی جمع کل عملکرد، نشان دهنده اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد می‌باشد. بیشترین میزان عملکرد برگ سبز از تیمار آبیاری کامل و

جدول ۳. آب مصرفی، عملکرد و کارایی مصرف آب در تیمارهای متقابل آبیاری و کود نیتروژن

تیمار	آب مصرفی ^۱ (mm)	عملکرد برگ سبز (kg/ha)	عملکرد چای خشک (kg/ha)	کارایی مصرف آب (kg/m ³)
I ₀ N ₁	۲۵۶	۴۰۸۹	۹۲۰	۰/۳۵۹
I ₁ N ₁	۳۱۵	۵۳۷۸	۱۲۱۰	۰/۳۸۴
I ₂ N ₁	۳۶۳	۶۱۸۵	۱۳۹۱	۰/۳۸۳
I ₃ N ₁	۴۰۲	۷۸۶۳	۱۷۶۹	۰/۴۴
I ₄ N ₁	۴۵۴	۹۵۸۹	۲۱۵۷	۰/۴۷۵
I ₀ N ₂	۲۵۵	۳۹۲۹	۸۸۴	۰/۳۴۷
I ₁ N ₂	۳۱۸	۴۷۷۹	۱۰۷۵	۰/۳۳۸
I ₂ N ₂	۳۶۱	۶۷۹۶	۱۵۲۹	۰/۴۲۳
I ₃ N ₂	۴۰۹	۸۶۱۲	۱۹۳۸	۰/۴۷۴
I ₄ N ₂	۴۵۸	۱۰۱۴۴	۲۲۸۲	۰/۴۹۸
I ₀ N ₃	۲۵۹	۳۸۸۸	۸۷۴	۰/۳۳۸
I ₁ N ₃	۳۱۶	۴۴۰۴	۹۹۲	۰/۳۱۴
I ₂ N ₃	۳۵۷	۵۹۹۰	۱۳۴۸	۰/۳۷۷
I ₃ N ₃	۴۰۵	۷۷۳۷	۱۷۴۱	۰/۴۳۰
I ₄ N ₃	۴۵۹	۹۴۹۳	۲۱۳۶	۰/۴۶۵

۱. آب مصرفی = آب آبیاری + بارندگی مؤثر

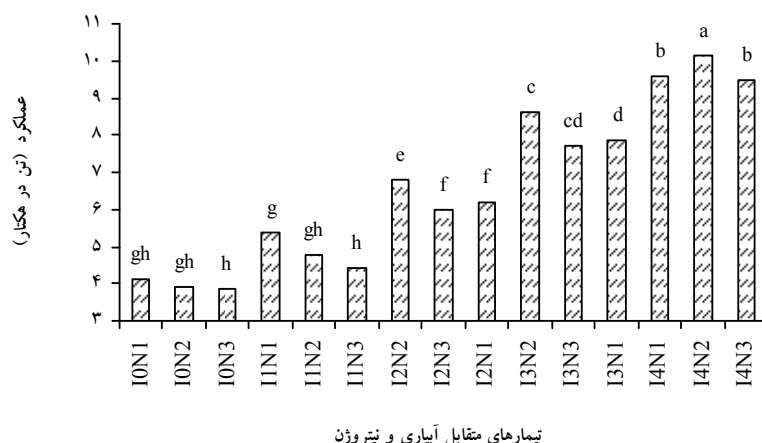
که تفاوت بین اجزای عملکرد چای به علت اثر متقابل آبیاری و نیتروژن روی آنها می‌باشد.

تیمار I₀N₃ با کمترین میزان محصول در پایین‌ترین رتبه قرار گرفت و دارای اثر متقابل بسیار پایینی است. در این رتبه‌بندی (شکل ۱)، تیمارهای I₀N₁ و I₀N₂ به ترتیب با عملکرد ۴/۱ و ۳/۹۳ کیلوگرم در هکتار دارای عملکرد بیشتری نسبت به تیمار I₀N₃ بودند. این موضوع نشان می‌دهد که در دو تیمار I₀ و I₁، مصرف نیتروژن به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار موثرتر از سطوح دیگر نیتروژن است. در شکل ۱ مشاهده می‌شود که تیمارهای I₄N₁ و I₄N₃ ضمن عدم اختلاف معنی‌دار با یکدیگر بعد از تیمار I₄N₂ قرار گرفته‌اند. از این مطلب می‌توان استنباط نمود که نیتروژن مازاد در این تیمار نه تنها تأثیر مثبتی نداشته بلکه سبب شده که علاوه بر مشکلات زیست محیطی و ضرر احتمالی به ریشه‌های مویین چای، میزان

عملکرد نیز کاهش یابد.

ضریب گیاهی و روند تغییرات رطوبت خاک

در این تحقیق، رطوبت موجود در خاک با استفاده از روش وزنی، در دوره‌های مشخصی اندازه‌گیری شد. در طی دوره رشد، میزان بارندگی به صورتی نبود که سبب به وجود آوردن نفوذ عمقی شود. فقط در دو زمان (۱۵ اردیبهشت و ۱۴ شهریور) به ترتیب به میزان ۱۵/۹ و ۱۰ میلی‌متر نفوذ عمقی ثبت گردید. بررسی تغییرات ضریب گیاهی (K_c) نشان می‌دهد (شکل ۲) که در ابتدای دوره بهره‌برداری (رشد) با توجه به تعداد برگ‌ها و شاخساره‌های کمتر نسبت به برداشت‌های دیگر، ضریب گیاهی دارای کمترین میزان و برابر با ۰/۵۸ بوده است و با گذشت زمان و بهبود شرایط آب و هوایی به ویژه دما و ساعات آفتابی و افزایش تعداد برگ‌ها و شاخساره‌ها چای در هر بوته، میزان

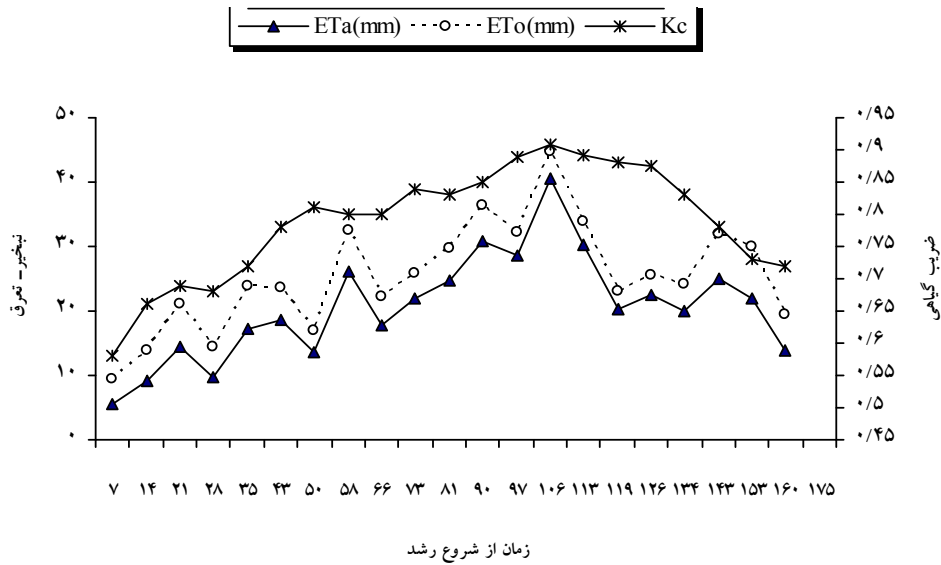


شکل ۱. میانگین کل عملکرد برگ سبز چای در تیمارهای متقابل آبیاری و نیتروژن

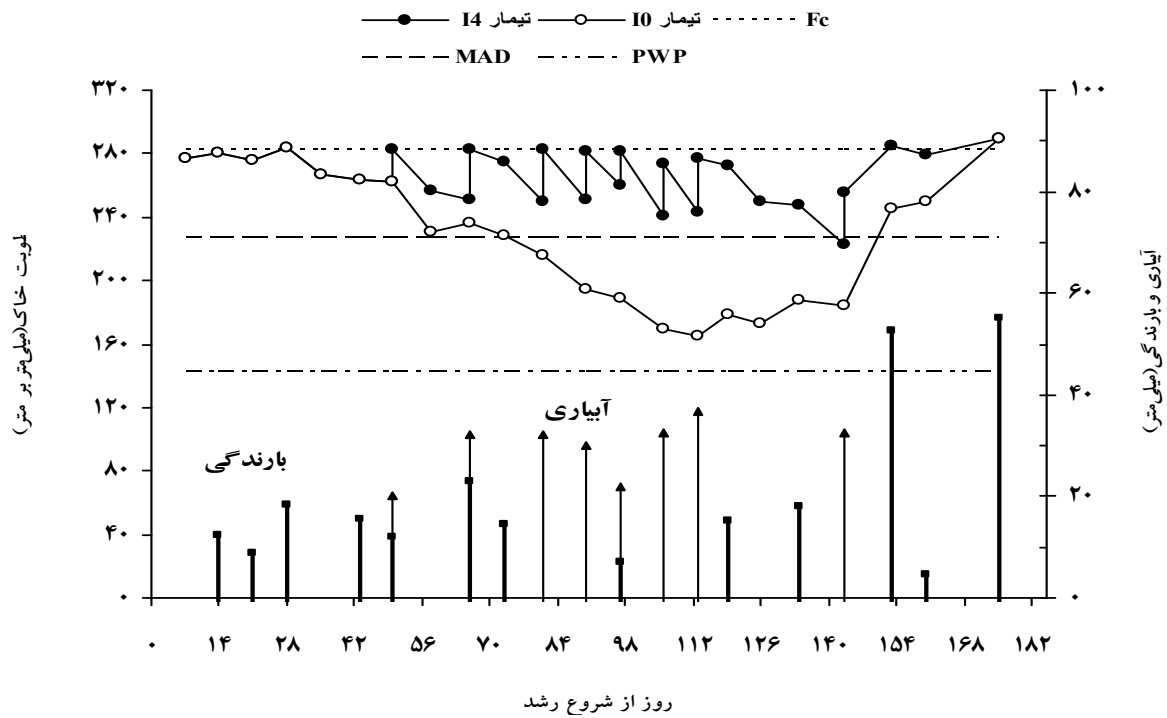
تغییرات رطوبت موجود در خاک در محدوده تخلیه مجاز ($MAD = 40\%$) صورت گیرد. در نتیجه در این تیمار، تنش آبی رخ نداده و عملکرد آن تحت تأثیر این پدیده قرار نگیرد. شکل ۳ و آمار بارندگی‌های طولانی مدت در منطقه نشان می‌دهد که اوایل دوره رشد چای، با زمان بارش‌های فصلی مطابقت دارد و چای در این دوره معمولاً نیاز به آبیاری ندارد. در این آزمایش، اولین آبیاری در تاریخ ۱۲ خرداد و پنجاه روز پس از شروع رشد (۲۵ فروردین)، انجام گرفت. به‌طور کلی در شرایط کم آبی (نیمه اول خرداد تا شهریورماه) طی هشت مرتبه آبیاری بارانی، به میزان ۲۵۰ میلی‌متر آب به تیمار I₄ داده شد. در این دوره، تیمارهای I₁ تا I₃ به ترتیب ۴۴، ۱۰۵ و ۱۷۰ میلی‌متر آب آبیاری دریافت نمودند. آزمایش‌هایی که در کشورهای آفریقایی طی سال‌های مختلف صورت گرفته، نشان می‌دهد که میزان آب آبیاری در طی فصل خشک برای تیمارهای آبیاری کامل بین ۵۵۰ تا ۷۵۰ میلی‌متر بوده است (۴، ۱۳ و ۱۴). روند تغییرات رطوبت خاک در تیمار بدون آبیاری (شکل ۳) و تیمارهای با آبیاری ناقص، تا زمان اولین آبیاری مشابه با تیمار I₄ بود. از این زمان تا ۱۳ شهریور ماه، میزان رطوبت خاک در این تیمارها کاهش پیدا کرده و به تدریج پایین‌تر از میزان تخلیه مجاز قرار گرفته، به طوری که بوته‌های چای تحت شرایط تنش رطوبتی قرار گرفتند و بدین خاطر

این ضریب در تیمار آبیاری کامل، افزایش یافت. به طوری که در سه ماه خرداد، تیر و مرداد تغییرات این ضریب برای تیمار مذکور بین ۰/۸ تا ۰/۹ بود. با کاهش نسبی دما، ساعات آفتابی و در نتیجه میزان محصول در شهریور ماه، ضریب گیاهی کاهش یافته و در برداشت‌های پایانی به مقدار ۰/۷۲ تنزل پیدا کرد. با افزایش میزان کمبود آب خاک از نیمه اول خرداد تا اوایل شهریور ماه، روند تغییرات ضریب گیاهی برای تیمار بدون آبیاری و با آبیاری ناقص به صورت نزولی بود. به طوری که در اواخر مرداد ماه (دوره کم آبی)، مقدار این ضریب برای تیمارهای I₀، I₁، I₂ و I₃ به ترتیب برابر با ۰/۲۷، ۰/۳۹، ۰/۶۰ و ۰/۷۷ به دست آمد. استیفنز و کار (۱۴)، ضریب گیاهی چای در تانزانیا را در فصل گرم و مرطوب برای تیمارهای با آبیاری کامل بین ۰/۸ تا ۰/۹ و در پایان فصل گرم و خشک و برای تیمارهای بدون آبیاری بین ۰/۳ تا ۰/۴ گزارش نمودند. در شرق آفریقا نیز برای تخمین تبخیر- تعرق چای از روش پنمن و ضریب گیاهی برابر ۰/۸۵، استفاده می‌شود (۱۳).

تغییرات رطوبت موجود در خاک و میزان آبیاری و بارندگی موثر در طی دوره رشد برای تیمار آبیاری کامل (I₄) و بدون آبیاری (I₀) در شکل ۳ نشان داده شده است. در این شکل مشاهده می‌شود که در دوره کم آبی و در تیمار (I₄)، آبیاری به صورت مداوم، همراه با بارندگی‌های کم سبب گردید تا



شکل ۲. تغییرات تبخیر- تعرق و ضریب گیاهی در دوره رشد برای تیمار آبیاری کامل



شکل ۳. تغییرات رطوبت خاک و میزان آبیاری و بارندگی طی دوره رشد

در این تحقیق، در حدود نود روز می‌باشد. کارایی مصرف آب که بیانگر راندمان تولید آب مصرفی (آبیاری و بارندگی موثر) است در شرایط کم آبی، بسیار

میزان عملکرد به شدت کاهش یافت. سپس با شروع بارندگی در تاریخ ۱۴ شهریور، کمبود رطوبت موجود در خاک جبران گردیده و به حد ظرفیت زراعی رسید. بنابراین کل دور کم آبی

حائز اهمیت بوده و در شرایط فوق وقتی حداکثر باشد، مقدار حداکثر محصول را به ازای آب مصرفی عاید می‌سازد. نتایج نشان داد (جدول ۳) که بیشترین کارایی مصرف آب معادل با ۰/۴۹۸ کیلوگرم چای خشک بر متر مکعب مربوط به تیمار I_4N_2 و کمترین آن مربوط به تیمارهای I_1N_3 ، I_0N_3 و I_1N_2 می‌باشد. کارایی مصرف آب این تیمارها به ترتیب معادل با ۰/۳۱۴ و ۰/۳۳۸ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمد. روند تغییرات کارایی مصرف آب با افزایش مقدار آب مصرفی گیاه از I_0 به I_4 روند صعودی داشت (بجز تیمار I_1N_2 و I_1N_3). هم‌چنین کارایی مصرف آب در هر تیمار آبیاری به میزان نیتروژن مصرفی وابسته بود، به طوری که برای تیمارهای آبیاری I_2 ، I_3 و I_4 بیشترین کارایی مصرف آب برای نیتروژن مصرفی به میزان ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. هم‌چنین در تیمارهای آبیاری I_0 و I_1 ، بیشترین کارایی مصرف آب مربوط به کاربرد نیتروژن به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار و به ترتیب برابر با ۰/۳۵۹ و ۰/۳۸۴ کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشد. این موضوع نشان می‌دهد که در شرایط آزمایش، بیشترین کارایی مصرف آب در شرایط آبیاری کامل و مصرف بهینه کود نیتروژن به دست می‌آید.

استیفنز و کار (۱۴) در تانزانیا گزارش نمودند که کارایی مصرف آب در فصول و سال‌های مختلف بهره‌برداری برای تیمارهای بدون آبیاری و مصرف نیتروژن، بین ۰/۱۵ تا ۰/۲۵ کیلوگرم بر مترمکعب و در تیمارهای آبیاری کامل و مصرف ۳۷۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار، بین ۰/۵ تا ۰/۹ کیلوگرم بر متر مکعب تغییر می‌نماید.

رابطه تبخیر- تعرق با عملکرد

شکل ۴، تغییرات عملکرد چای خشک را در مقابل تبخیر- تعرق واقعی نشان می‌دهد. تابع رگرسیونی خطی حاصل از متوسط داده‌های سه تکرار بین عملکرد چای و ET_a نشان می‌دهد که هم‌بستگی بالایی ($R^2 = ۰/۹۵$) بین دو متغیر وجود دارد. متوسط ضریب رگرسیون بین عملکرد چای خشک و ET_a برابر ۰/۰۶۷ است. هم‌چنین برای هر سه سطح نیتروژن

مصرفی، تابع رگرسیونی خطی بین عملکرد چای خشک و تبخیر- تعرق واقعی نشان می‌دهد که هم‌بستگی بالایی بین دو متغیر برای تمام سطوح نیتروژن مصرفی وجود دارد. با توجه به بالاترین ضریب هم‌بستگی (۹۸ درصد) بین دو متغیر می‌توان گفت که بهترین رابطه بین تبخیر- تعرق واقعی و عملکرد چای خشک مربوط به مصرف کود نیتروژن به میزان ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار می‌باشد (معادله ۳). بر اساس این معادله با افزایش میزان تبخیر- تعرق واقعی، عملکرد چای افزایش می‌یابد، به طوری که در شرایط آزمایش، بیشترین میزان عملکرد چای در تبخیر- تعرق معادل با ۴۵۸ میلی‌متر و مصرف ۱۸۰ کیلوگرم نیتروژن حاصل شده است.

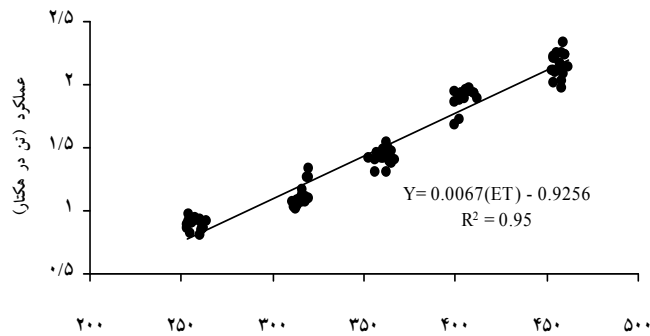
$$Y(N_2) = ۶/۸۰۳(ET_a) - ۸۹۲/۴۲, R^2 = ۰/۹۸ \quad [۳]$$

که در آن: Y عملکرد چای خشک (کیلوگرم در هکتار)، ET_a تبخیر- تعرق واقعی (میلی‌متر) است.

بر اساس مدل استورات و همکاران (۷)، تغییرات افت نسبی عملکرد در مقابل تغییرات افت نسبی تبخیر- تعرق ترسیم گردید (شکل ۵). در این مدل با استفاده از معادله ۴ می‌توان میزان مقاومت گیاهان مختلف به تنش آبی را با استفاده از ضریب تنش (K_y) محاسبه نمود.

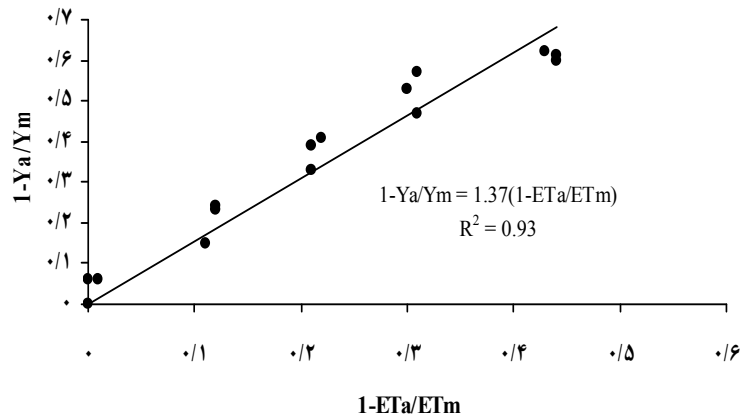
$$K_y = (1 - Y_a / Y_m) / (1 - ET_a / ET_m) \quad [۴]$$

که در آن: Y_a و ET_a به ترتیب برابر عملکرد واقعی (کیلوگرم در هکتار) و تبخیر- تعرق واقعی (میلی‌متر) و Y_m و ET_m به ترتیب برابر عملکرد پتانسیل (کیلوگرم در هکتار) و تبخیر- تعرق پتانسیل (میلی‌متر) می‌باشند. در این بررسی بیشترین عملکرد (۲۲۸۲/۴ کیلوگرم چای خشک) را به عنوان عملکرد حداکثر (Y_m) و ET مطابق با آن، ۴۵۸ میلی‌متر به عنوان ET_m در نظر گرفته شد. ضریب حساسیت عملکرد (K_y) برای چای برابر ۱/۳۷ با ضریب تغییرات ۰/۹۳ به دست آمد. نشریه ۳۳ فائو برای چای، ضریب K_y را ارائه نکرده است ولی برای گیاهان حساس مانند موز و ذرت این ضریب بیشتر از یک گزارش شده است (۷). با توجه به مقدار به دست آمده برای K_y مشخص گردید که در شرایط آزمایش، به ازای هر ۱۰ درصد کاهش



تبخیر- تعرق واقعی (میلی‌متر)

شکل ۴. تغییرات عملکرد چای خشک در مقابل تبخیر- تعرق



شکل ۵. تغییرات افت نسبی عملکرد در مقابل افت نسبی تبخیر- تعرق

نتیجه‌گیری

توصیه می‌گردد کشاورزان در دوره‌های کم آبی (نیمه دوم خرداد تا اوایل شهریور) از روش آبیاری بارانی برای آبیاری باغ‌های چای استفاده نمایند. بر اساس مشاهدات تحقیق حاضر، آبیاری بارانی علاوه بر تأمین رطوبت مورد نیاز چای در دوره‌های کم‌آبی، می‌تواند از برگ سوختگی بوته‌ها در ایامی که دمای هوا از حد قابل تحمل برگ‌ها بالاتر می‌رود، جلوگیری نماید. هم‌چنین مصرف کود نیتروژن همراه با آبیاری تکمیلی، افزایش قابل توجهی در میزان محصول تولیدی خواهد داشت.

تبخیر- تعرق نسبت به تبخیر- تعرق پتانسیل، تولید محصول چای نسبت به تولید پتانسیل، ۱۳/۷ درصد کاهش می‌یابد. این نتیجه منطبق با نتایج تحقیق استیفنز و کار (۱۴ و ۱۵) در کشور تانزانیا می‌باشد. آنها عنوان نمودند که در سال‌های مختلف، ضریب حساسیت چای به تنش برای فصول و کلون‌های متفاوت بین ۱/۲ تا ۱/۷ تغییر می‌کند. بنابراین چای نسبت به تنش رطوبتی حساس بوده و مدیریت آبیاری چای از اهمیت قابل توجهی برخوردار می‌باشد.

منابع مورد استفاده

۱. اخوت، م. و د. و کیلی. ۱۳۷۷. چای (کاشت - داشت و برداشت). انتشارات فارابی، تهران.
2. Bonheure, D. and K. C. Willson. 1992. Mineral nutrition and fertilizers. PP: 290-296. In: K. C. Willson and M.N. Clifford (Eds.), Tea Cultivation and Consumption. Chapman & Hall, U.K.
3. Burgess, P.J. 1994. Methods of determining the water requirements of mature tea. Ngwazi Tea Research Unit, Quarterly Rep. 17: 11-21.
4. 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, Malawi, 226-235.
5. Carr, M. K.V. 1972. The climate requirement of the tea plant, A review. *Experim. Agric.* 8: 1-14.
6. Carr, M.K.V., M. D. Dale and W. Stephens. 1987. Yield distribution in irrigated tea (*Camellia sinensis*) at two sites in Eastern Africa. *Experim. Agric.* 23:75-85.
7. Doorenbos, J. and A. H. Kassam. 1979. Yield response to water. *Irrigation and Drainage*. Paper 33. FAO, Rome.
8. Hadfield, W. 1968. Leaf temperatures, leaf pose and productivity of the tea bush. *Nature* 219: 282-284.
9. Hanks, R.J., J. Keller, V.P. Rasmussen and G.D. Willson. 1976. Line source sprinkler for continuous variable irrigation-crop production studies. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 40: 426-429.
10. Hussain, S.A., T. Sarwar, M. I. Lone and F.S. Hamid. 2003. Effect of different soil moisture conservation practices on evapotranspiration and growth of young tea plants. *Asian. J. Pla. Sci.* 2(12):188-191.
11. Morgan, D.D.V. and M.K.V. Carr. 1989. Analyzing line source irrigation experiments. *Experim. Agric.* 91:4-11.
12. 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. *Experim. Agric.* 39: 181-198.
13. Stephens, W. and M. K. V. Carr. 1991a. Responses of tea (*Camellia sinensis*) to irrigation and fertilizer. I. Yield. *Experim. Agric.* 27:177-191.
14. Stephens, W. and M. K.V. Carr. 1991b. Responses of tea (*Camellia sinensis*) to irrigation and fertilizer. II. Water use. *Experim. Agric.* 27: 193-210.
15. Stephens, W. and M. K. V. Carr. 1994. Responses of tea (*Camellia sinensis*) to irrigation and fertilizer. IV. Shoot population density, size and mass. *Experim. Agric.* 33:189-205.
16. Tanton, T.W. 1982. Environmental factors affecting the yield of tea (*Camellia sinensis*). I. Effects of air temperature. *Experim. Agric.* 18:47-52.
17. Willson, K. C. 1999. Coffee, Cocoa and Tea. CAB Publishing, U.K.