نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد 7، شماره 2، تابستان 1394، ص. 201-190

Journal of Agroecology
Vol. 7, No. 2, Summer 2015, p. 190-201

ارزیابی بهره‌وری آب در تولید چای (*Camellia sinensis* L. O. Kuntze) در مناطق چای‌کاری استان گیلان

کوروش مجد سلیمی[1*]، ابراهیم امیری[2] و شهرزاد شایگان[3]

تاریخ دریافت: 1392/02/07
تاریخ پذیرش: 1393/04/01

چکیده

یکی از عوامل اصلی در استفاده بهینه از آب برای تولید محصولات کشاورزی، بهره‌وری آب است. در این پژوهش میزان بهره‌وری آب در شش باغ چای (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze) فاریاب و سه باغ دیم (بدون آبیاری) در شرایط مدیریت کشاورز طی دوره رشد سال‌های 1388 و 1389 ارزیابی شد. میزان عملکرد هر باغ در برداشت‌های متوالی، اندازه‌گیری و پایش رطوبت خاک به روش وزنی و با استفاده از معادله بیلان آب در دوره رشد انجام گرفت. حجم آب ورودی به سیستم آبیاری و حجم آب رسیده به سطح زمین نیز اندازه‌گیری شد. میانگین عملکرد چای ساخته شده در باغ‌های تحت آبیاری و دیم به ترتیب برابر 2843 و 1095 کیلوگرم در هکتار به دست آمد. میانگین بهره‌وری آب ناخالص (آبیاری ناخالص و بارندگی مؤثر) و بهره‌وری آب آبیاری ناخالص در باغ‌های آبیاری شده به ترتیب برابر 4/39 و 4/55 کیلوگرم چای ساخته شده در هکتار به ازای هر میلی‌متر آب مصرفی و میانگین بهره‌وری آب (تبخیر- تعرق واقعی) و بهره‌وری آب آبیاری واقعی به ترتیب برابر 5/18 و 6/61 کیلوگرم چای در هکتار به ازای هر میلی‌متر آب مصرفی به دست آمد. میانگین بهره‌وری آب در باغ‌های دیم برابر 3/4 کیلوگرم چای ساخته شده در هکتار به ازای هر میلی‌متر بارندگی مؤثر بود. از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر کاهش بهره‌وری آب در وضعیت فعلی باغ‌های چای می‌توان به مدیریت داشت و برداشت (برگ‌چینی غیراستاندارد و با فواصل طولانی) نامناسب و مسائل اقتصادی اشاره نمود. علاوه بر این، بهره‌برداری و نگهداری نامناسب و قدیمی بودن سیستم‌های آبیاری و برنامه‌ریزی آبیاری غیراصولی در باغ‌های چای تحت آبیاری نیز بر کاهش مقادیر این شاخص بسیار مؤثر بوده است. مقایسه نتایج این پژوهش با مقادیر عملکرد و بهره‌وری آب در شرایط مصرف بهینه آب و کود در تحقیقات گذشته نشان می‌دهد که با اجرای روش‌ها و مدیریت آبیاری مناسب و اعمال تدابیر داشت و برداشت اصولی می‌توان بهره‌وری آب را در باغ‌های چای ارتقاء داد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری بارانی، آبیاری تکمیلی، باغ‌های دیم، عملکرد چای، کارآیی مصرف آب

مقدمه

با افزایش جمعیت و مصرف سرانه چای (*Camellia sinensis* L. O. Kuntze) در کشور، تولید این محصول در مناطق چای‌کاری استان‌های گیلان و مازندران با دو چالش تولید بیشتر و مدیریت بهتر منابع محدود آب مواجه است (Majd Salimi, 2008). چالش تولید محصول بیشتر با محدودیت‌های فزاینده آب، افزایش تولید محصول به ازای واحد حجم آب مصرفی را می‌طلبد (Majd Salimi, 2012). شاخص بهره‌وری آب نشان‌دهنده میزان تولید (عملکرد) در ازای واحد آب مصرفی در واحد هکتار است. بهره‌وری آب آبیاری در گیاهان مختلف، متفاوت گزارش شده است. تغییرات این شاخص به طور عمده به عوامل اقلیمی، مدیریت آبیاری و کود نسبت داده می‌شود (Molden et al., 2001). بر اساس مطالعه‌ای برای محصولات عمده کشاورزی کشور، مقدار بهره‌وری آب در شرایط مدیریت کشاورز برای گندم (*Triticum aestivum* L.)، چغندرقند (*Beta vulgaris* L.)، سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.)، ذرت (*Zea mays* L.)، پنبه (*Gossypium hirsutum* L.)، یونجه (*Medicago sativa* L.)، جو (*Hordeum vulgare* L.) و نیشکر (*Saccharum officinarum* L.) به‌ترتیب برابر 0/75، 0/64، 2/06، 5/58، 0/71، 1/46، 0/56 و 0/29 کیلوگرم محصول بر مترمکعب آب مصرفی

1، 2 و 3- به ترتیب محقق مرکز تحقیقات چای کشور، دانشیار دانشگاه آزاد واحد لاهیجان و محقق مرکز تحقیقات چای کشور
(*- نویسنده مسئول: (Email: k_majdsalimi@yahoo.com

گزارش شده است (Hedari et al., 2008).

در حال حاضر کشت و تولید چای در دو استان گیلان و مازندران در سطحی معادل با 32 هزار هکتار صورت می‌گیرد (Majd Salimi, 2008). برداشت محصول از باغ‌های چای که بیشتر در اراضی دیم و کوهپایه‌ای قرار دارند در ماه‌های اردیبهشت تا آبان هر سال انجام می‌شود و تأمین آب مورد نیاز آن‌ها به توزیع بارندگی منطقه بستگی دارد (Majd Salimi & Mirlatifi, 2008). با وجود بارندگی سالیانه حدود 1100 میلی‌متر در این مناطق، فقط 30 درصد از این میزان به دوره برداشت چای تعلق دارد (Majd salimi, 2012).

با توجه به محدودیت آب و اراضی قابل کشت، مهم‌ترین راه افزایش تولید چای، افزایش عملکرد در واحد سطح و تولید به ازای واحد آب مصرفی (بهره‌وری آب) است. برای دستیابی به هدف افزایش بهره‌وری آب در مناطق چای‌کاری، اعمال مدیریت باغی (داشت و برداشت) و آبیاری مناسب، ضروری است (Carr, 2010b; Stephens & Carr, 1994). بنابراین، تأمین آب مورد نیاز بوته‌های چای با استفاده از آبیاری تکمیلی و اصول صحیح بهره‌برداری، مهم‌ترین و اساسی‌ترین مسأله در بهبود و افزایش عملکرد این محصول به شمار می‌آید (Stephens & Carr, 1991a).

بر اساس مطالعات انجام شده در کشورهای مختلف چای‌کاری، میزان بهره‌وری آب بین 0/15 تا 0/9 کیلوگرم چای آماده در هکتار به ازای هر مترمکعب 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 (Stephens & Carr, 1991a; 1991b).

در مطالعه انجام شده طی دوره هشت ساله، دامنه تغییرات عملکرد خالص سالانه به آب مصرفی واقعی برای کلون 6/8 در شرایط بدون آبیاری و آبیاری کامل با کاربرد 225 کیلوگرم نیتروژن به ترتیب بین 2/3 تا 5/3 و 2/7 تا 4/6 کیلوگرم در هکتار به ازای هر میلی‌متر آب مصرفی گزارش شد (Carr, 2010b).

در مناطق چای‌کاری ایران تاکنون مطالعه‌ای برای تعیین بهره‌وری آب در تولید محصول چای در شرایط مدیریت کشاورز انجام نشده است. نتایج برخی از تحقیقات صورت گرفته در شرایط مصرف بهینه آب و کود، بهره‌وری آب را در وضعیت دیم بین 2/1 تا 6/7 کیلوگرم در هکتار به ازای هر میلی‌متر آب مصرفی (بارندگی) و در وضعیت آبیاری کامل بین 4/6 تا 8/7 کیلوگرم به ازای هر میلی‌متر آب مصرف (بارندگی و آب آبیاری) نشان می‌دهد. بر اساس نتایج این تحقیقات، تغییرات بهره‌وری آب به عوامل آب و هوایی (دمای بالا و کمبود رطوبت نسبی هوا)، مقدار کود نیتروژن کاربردی و دور آبیاری بستگی داشت (Majd Salimi et al., 2011; Majd Salimi, 2010). این پژوهش به منظور تعیین مقادیر عملکرد، آب مصرفی، بهره‌وری آب آبیاری و بهره‌وری آب در باغ‌های چای استان گیلان، تحلیل عوامل مدیریتی داشت و برداشت و آبیاری در شرایط مدیریت باغدار انجام شده است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در نه باغ منتخب در شرایط مدیریت کشاورز در دوره رشد گیاه چای در سال‌های 1388 و 1389 به اجرا درآمد. انتخاب باغ‌های چای مورد نظر، بر اساس تفکیک کل اراضی چای‌کاری به سه منطقه چای‌کاری شرق، مرکز و غرب انجام گرفت. در هر منطقه دو باغ چای در شرایط فاریاب دارای آبیاری بارانی کلاسیک و یک باغ در شرایط دیم (بدون آبیاری) به صورت تصادفی خوشه‌ای انتخاب شدند. سه باغ چای دیم منتخب شامل باغ WS (منطقه غرب)، CN (منطقه مرکزی) و EM (منطقه شرق) بودند.

برای انتخاب باغ‌های چای تحت آبیاری، با توجه به این‌که در حال حاضر فقط از سیستم‌های آبیاری بارانی از نوع کلاسیک نیمه-متحرک (با جابه‌جایی دستی) و ثابت- آب‌پاش متحرک و در موارد محدودی از نوع کلاسیک تمام ثابت در اراضی چای‌کاری استفاده می‌شود. هم‌چنین به دلیل خرده مالکی بسیار زیاد در باغ‌های چای (بیشتر از 95 درصد باغ‌های چای دارای مساحت کمتر از یک هکتار می‌باشند) و اجرای برخی از پروژه‌های آبیاری به صورت گروهی (بهره‌برداری مشاع)، نمونه‌ها برای ارزیابی سیستم آبیاری طوری انتخاب شد (تصادفی خوشه‌ای) تا شامل همه موارد فوق گردد. بر این اساس، سیستم‌های منتخب شامل دو سیستم آبیاری بارانی کلاسیک نیمه‌متحرک (با جابه‌جایی دستی) با مدیریت انفرادی (CG و CK)، یک سیستم آبیاری ثابت با مدیریت انفرادی (WA)، دو سیستم آبیاری بارانی کلاسیک ثابت- آب‌پاش متحرک با مدیریت انفرادی (WB و ED) و یک سیستم آبیاری بارانی کلاسیک ثابت- آب‌پاش متحرک با مدیریت گروهی یا بهره‌برداری مشاع (EP) بود. جدول 1 مشخصات کلی باغ‌های دارای سیستم آبیاری مورد ارزیابی در این پژوهش را نشان می‌دهد.

جدول 1- مشخصات باغ‌های چای با سیستم آبیاری بارانی

Table 1- Tea fields profile with sprinkler irrigation system

نام باغ Farmer's fields	منطقه Region	سیستم آبیاری Irrigation system	مساحت (هکتار) Area (ha)	منبع آب Water source	فواصل آب-پاش‌ها (متر در متر) Sprinkler spacing (m×m)	تعداد آب‌پاش در حال کار Number of sprinkler operation
WA	فومن Fouman	سیستم ثابت αSolid set	0.3	چاه سطحی Shallow well	15×12	3
WB	فومن Fouman	سیستم ثابت αSolid set	9	چاه عمیق Deep well	29×22	6
CG	لاهیجان Lahijan	سیستم نیمه‌متحرک @Semi-portable	0.5	چاه سطحی Shallow well	15×15	4
CK	لنگرود Langeroud	سیستم نیمه‌متحرک @Semi-portable	1.5	چاه نیمه‌عمیق Semi-deep well	15×15	5
EP	رودسر Roudsar	سیستم ثابت αSolid set	15	چاه عمیق Deep well	18×18	20
ED	رودسر Roudsar	سیستم ثابت αSolid set	1.8	چاه نیمه‌عمیق Semi-deep well	18×15	6

@: سیستم آبیاری از نوع جابه‌جایی لوله فرعی با دست

Irrigation system of hand-move laterals

α: سیستم آبیاری از نوع جابه‌جایی آب‌پاش با دست

Irrigation system of hand-move sprinklers

آزمایش‌های لازم جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در ابتدای آزمایش برای نه باغ منتخب تعیین (جدول 3) و اندازه‌گیری کیفیت آب آبیاری برای شش باغ دارای سیستم آبیاری (جدول 2) انجام شد.

برای تعیین بهره‌وری آب در باغ‌های چای، نیاز به مشخص نمودن نسبت عملکرد چای ساخته شده به میزان آب مصرفی است لذا وزن عملکرد برگ سبز چای در برداشت‌های متوالی در دوره رشد چای (فروردین تا آبان) برای تمام باغ‌ها اندازه‌گیری و با استفاده از ضریب تبدیل 0/225 (Anonymous, 2008) به عملکرد چای ساخته شده تبدیل گردید.

برای شش باغ منتخب دارای سیستم آبیاری بارانی کلاسیک، حجم ناخالص آب ورودی به سیستم آبیاری در طی دوره کم‌آبی (تیر و مرداد) به وسیله کنتور حجمی نصب شده در ابتدای سیستم آبیاری، اندازه‌گیری شد. در زمان آبیاری، میانگین دبی خروجی از آب‌پاش‌ها با استفاده از چند شیلنگ و ظروف مدرج 20 یا 40 لیتری وکرنومتر اندازه‌گیری گردید و با ضرب آن در تعداد آب‌پاش‌های در حال کار، حجم آب خروجی از آب‌پاش (آب آبیاری کاربردی) تعیین گردید. برای محاسبه هدر رفت احتمالی آب از محل اتصالات و شیر خودکارها (به علت خرابی و فرسودگی اتصالات) از تفاوت حجم ناخالص آب ورودی به سیستم و حجم آب آبیاری خارج شده از آب‌پاش‌ها استفاده شد.

در هر بار آبیاری برای اندازه‌گیری میزان آب رسیده به سطح زمین، در ابتدا لوله‌های جانبی در محل مناسبی از سیستم انتخاب شدند و سپس قوطی‌های جمع‌آوری آب (قوطی‌های آلومینیومی به ارتفاع 12 سانتی‌متر و قطر داخلی ده سانتی‌متر) در شبکه‌های 3×3 (بین دو آب‌پاش دارای فشار متوسط) قرار داده شدند. در مدت آزمایش حجم آب جمع شده در قوطی‌ها به وسیله استوانه مدرج اندازه‌گیری و یادداشت گردید. همچنین یکی از ظروف مذکور که در شروع آزمایش دارای حجم مشخصی آب بود دور از آب‌پاش‌ها و در شرایطی مشابه با سایر ظروف اندازه‌گیری، برای تخمین میزان تبخیر از ظروف طی مدت آزمایش قرار داده شد. مدت زمان و تقویم آبیاری و مقدار آب اختصاص داده شده در طول دوره رشد، مطابق نظر باغدار بوده و تغییری در آن اعمال نگردید.

میزان بارندگی در هر منطقه با استفاده از دستگاه باران‌سنج نصب شده در محل، اندازه‌گیری و ثبت گردید. اندازه‌گیری و پایش رطوبت

خاک در تمام باغ‌های منتخب با استفاده از روش نمونه‌گیری وزنی و معادله بیلان رطوبتی خاک (معادله 1) در طول دوره رشد انجام گرفت.

معادله (1) $I+P-(ETa+Dd+Ro)=\Delta S$

در این معادله، I و P: به ترتیب مقدار آب آبیاری و بارندگی مؤثر، ETa، Dd و Ro: به ترتیب مقدار تبخیر- تعرق واقعی، عمق آب زهکشی شده و رواناب و ΔS تغییرات ذخیره رطوبت خاک است (واحدها بر حسب میلی‌متر می‌باشد).

در این تحقیق، برای باغ‌های چای منتخب در شرایط دیم (WS، CN و EM)، تولید به ازای واحد بارندگی مؤثر یا بهره‌وری آب مصرفی ناشی از بارندگی مؤثر (WPp) از معادله (2) محاسبه شد:

معادله (2) $$WP_p = \frac{Y}{P}$$

در شرایط آبیاری بارانی تکمیلی (باغ‌های WA، WB، CG، CK، EP و ED)، بهره‌وری آب ناخالص (آب آبیاری ناخالص ورودی به سیستم و بارندگی مؤثر) و بهره‌وری آب واقعی (تبخیر- تعرق) (WUEI+P) تعیین گردید (معادله 3).

معادله (3) $$WP_{(I+P)} = \frac{Y}{V_{(I+P)}}$$

همچنین، در باغ‌های تحت آبیاری، قطعه‌ای به مساحت 100 مترمربع (با مدیریت داشت و برداشت یکسان) به عنوان شاهد در نظر گرفته شد، سپس با استفاده از معادله (4)، بهره‌وری آب مصرفی ناشی از آبیاری در اضافه عملکرد نسبت به شرایط دیم (قطعه شاهد) یا بهره‌وری آب آبیاری[1] (IWP) محاسبه گردید.

معادله (4) $$IWP = \frac{\mathrm{dY}}{\mathrm{Vi}}$$

در معادلات (2)، (3) و (4)، Y: عملکرد چای ساخته شده (کیلوگرم در هکتار)، P: بارندگی مؤثر (میلی‌متر یا مترمکعب) V(I+P): حجم ناخالص آب مصرفی یا مجموع ناخالص آب آبیاری و بارندگی مؤثر (میلی‌متر یا مترمکعب)، dY: اختلاف عملکرد هر باغ تحت آبیاری با قطعه شاهد در همان باغ (کیلوگرم در هکتار) و Vi: حجم ناخالص آب آبیاری (میلی‌متر یا مترمکعب) می‌باشد. علاوه بر موارد فوق، عملیات داشت، برداشت و مدیریت‌های به‌زراعی که توسط باغ‌دار طی دوره بهره‌برداری در باغ‌ها انجام شد، ثبت و مورد ارزیابی قرار گرفت.

نتایج و بحث

جداول 2 و 3 نتایج حاصل از آزمایش کیفیت آب و خاک در باغ‌های چای منتخب مورد ارزیابی را نشان می‌دهد. آب تمام سیستم‌ها از چاه تأمین شده و در طبقه‌بندی ارائه شده توسط آزمایشگاه شوری خاک آمریکا، در کلاس C_2-S_1 قرار داشتند. بافت خاک در تمام باغ‌های چای از نوع لومی- رسی- شنی یا لومی- شنی بود که برای تولید چای بسیار مناسب است. در مورد عمق توسعه ریشه (0/6 تا 0/8 متر) در بوته‌های چای باید عنوان نمود چای گیاهی چندساله است و در شرایط طبیعی رشد ریشه‌های آن طی سال‌های بهره‌برداری تقریباً ثابت است. از نظر میزان عناصر فسفر و پتاسیم در خاک نیز تقریباً همه باغ‌ها در وضعیت مناسبی قرار داشتند. پرمصرف‌ترین و ضروری‌ترین کود مورد نیاز در باغ‌های چای کود نیتروژن از منبع اوره است زیرا تولید برگ‌ها و شاخساره‌های چای (محصول) منجر به تخلیه نیتروژن از خاک می‌گردد.

در بین باغ‌های آبیاری شده، کمترین مقدار مصرف کود اوره مربوط به باغ‌های WA و CG (400 کیلوگرم در هکتار) بود و در سایر باغ‌ها، کود اوره بین 500 تا 800 کیلوگرم در هکتار به صورت مخلوط با خاک به کار برده شد. پخش کود اوره در باغ‌های دیم بین 400 تا 600 کیلوگرم در هکتار توسط کشاورزان انجام شد. به طور کلی، تمامی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب و خاک باغ‌های منتخب در محدوده مجاز قرار داشته و برای آبیاری بارانی محدودیت کاربردی نداشتند.

بهره‌وری آب در باغ‌های دیم

همان‌طور که از جدول 4 مشاهده می‌شود، بیشترین میزان بارندگی مؤثر اندازه‌گیری شده در دو سال اجرای آزمایش به ترتیب مربوط به باغ‌های CN، WS و EM بود. در هر سه منطقه میزان بارندگی در سال 1389 کمتر از سال 1388 اندازه‌گیری و ثبت گردید (جدول 3). با توجه به آمار بارندگی ثبت شده در هر منطقه و سایر اطلاعات هواشناسی ثبت شده طی دوره رشد در برخی از ایستگاه‌های تحقیقاتی چای نزدیک به باغ‌های منتخب نظیر دمای هوا و کمبود اشباع هوا (شکل‌های 1 و 2) می‌توان بیان کرد که شدت و مدت زمان خشکسالی در سال 1389 بیشتر از سال 1388 بود.

1- Irrigation water productivity

جدول 2- خصوصیات کیفی آب آبیاری باغ‌های چای فاریاب

Table 2- Irrigation water quality characteristics in irrigated tea fields

نام باغ Farmer's fields	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس در متر) EC ($dS.m^{-1}$)	اسیدیته pH	سدیم Na	کلسیم Ca	منیزیم Mg	بی کربنات HCO^{-3}	کربنات O_3^{-2}	کلر Cl^-	نسبت جذبی سدیم SAR	طبقه‌بندی[1] Class
			(میلی‌اکی‌والان در لیتر) ($meq.L^{-1}$)							
WA	0.635	6.2	1.26	2.5	0.9	0.9	0	0.32	0.96	C_2-S_1
WB	0.515	6.5	1.35	2.1	2.4	1.6	0	0.30	0.90	C_2-S_1
CG	0.754	6.9	1.46	2.4	1.2	1.9	0.15	0.34	1.10	C_2-S_1
CK	0.696	6.8	1.44	1.9	0.8	3.1	0.20	0.32	1.24	C_2-S_1
EP	0.718	6.9	1.49	1.1	2.6	4.0	0.10	0.40	1.09	C_2-S_1
ED	0.685	7.1	1.48	1.3	2.8	2.2	0.18	0.41	1.03	C_2-S_1

1ـ طبقه‌بندی بر اساس روش آزمایشگاه شوری خاک آمریکا است.

1- The method is based on soil classification laboratory of America

جدول 3- خصوصیات فیزیکو شیمیایی خاک در باغ‌های چای مورد آزمایش

Table 3- Physico-chemical characteristics of soil in experimental tea fields

ویژگی Characteristic	باغ‌های چای آبیاری‌شده Irrigated tea fields						باغ‌های چای دیم Rain fed tea fields		
	WA	WB	CG	CK	EP	ED	WS	CN	EM
هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC ($dS.m^{-1}$)*	0.35	0.33	0.32	0.48	0.14	0.31	0.30	0.25	0.42
اسیدیته گل اشباع (pH)*	4.1	4.3	4.9	5.1	4.7	4.9	4.5	4.2	3.9
کربن آلی (درصد) OC (%)**	1.8	2.5	2.2	2.1	2.0	2.3	2.4	1.9	1.8
نیتروژن کل (درصد) Total N (%) **	0.17	0.21	0.19	0.17	0.16	0.20	0.25	0.13	0.21
فسفر قابل جذب (پی‌پی‌ام) Absorbable P (ppm)**	120	14	95	75	11	140	41	10.5	32
پتاسیم قابل جذب (پی‌پی‌ام) Absorbable K (ppm)**	240	203	185	112	114	186	206	117	98
بافت خاک Soil texture*	S.C.L	S.C.L	S.L	S.C.L	S.C.L	S.C.L	S.L	S.L	S.C.L
وزن مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌مترمکعب) Dry bulk density ($g.cm^{-3}$)*	1.38	1.41	1.40	1.37	1.36	1.34	1.42	1.46	1.35
ظرفیت زراعی (درصد وزنی) Field capacity (% W)*	20.9	19.7	18.1	20.4	22.5	22.3	19	18.2	20
حد پژمردگی دائم (درصد وزنی) PWP (% W) *	10.1	8.9	9.1	9.8	12.2	10	9.2	8.8	11.1
عمق توسعه ریشه (متر) Root depth (m)*	0.7	0.6	0.6	0.6	0.7	0.6	0.8	0.6	0.8
نفوذپذیری نهایی (میلی‌متر بر ساعت) Infiltration rate ($mm.hr^{-1}$)**	20	18	17	19	18	16	15	19	16

* این مقادیر مربوط به میانگین اعداد در سه عمق 30-0، 60-30 و 90-60 سانتی‌متر است.

* These values are the mean of three soil depth.

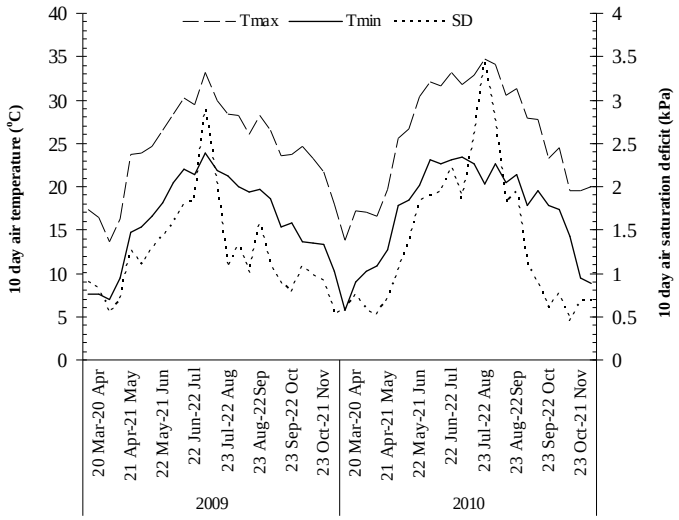
** اعداد مربوط به این پارامترها متعلق به عمق 30-0 سانتی‌متری خاک است.

** These values are related to 30 cm of soil depth.

جدول 4- میزان عملکرد، بارندگی مؤثر، بهره‌وری آب (بارندگی مؤثر) در باغ‌های چای دیم منتخب

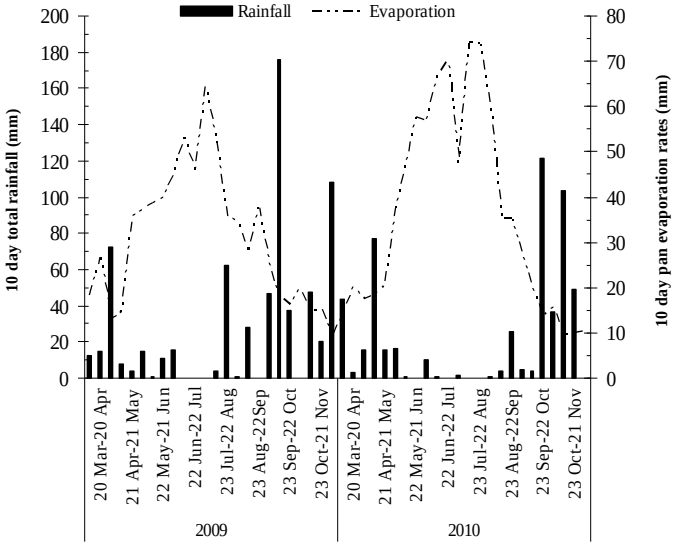
Table 4- Amount of yield, effective rainfall and water productivity in rainfed tea fields

نام باغ Farmer's fields	سال Year	مساحت (هکتار) Area (ha)	عملکرد برگ سبز (کیلوگرم در سطح کشت) Yield of green leaf (Kg per area farms)	عملکرد چای ساخته شده (کیلوگرم در هکتار) Yield of made tea ($kg.ha^{-1}$)	بارندگی مؤثر (میلی‌متر) Effective rainfall (mm)	بهره‌وری آب بارندگی مؤثر (کیلوگرم در هکتار بر میلی-متر) WP_p ($Kg.ha^{-1}.mm^{-1}$)
WS	2009	9	46080	1152	320	3.6
	2010		37752	944	286	3.3
CN	2009	1.5	9960	1494	390	3.8
	2010		8060	1209	345	3.5
EM	2009	0.42	1897	1016	308	3.3
	2010		1412	757	261	2.9
میانگین دو سالانه (Average of 2 years)				1095	318	3.4



شکل 1- میانگین (ده روزه) دمای حداکثر و حداقل هوا و کمبود فشار بخار اشباع هوا در ایستگاه تحقیقات چای فشالم در فومن، فروردین تا آبان دو سال 1388 و 1389

Fig. 1- 10 days average of maximum and minimum of air temperature and air saturation deficits at Feshalam Tea Research Station, 20 March to 21 November in 2009-2010



شکل 2- میانگین (ده روزه) بارندگی و تبخیر از تشت در ایستگاه تحقیقات چای فشالم در فومن، فروردین تا آبان دو سال 1388 و 1389

Fig. 2- 10 days average of total rainfall and pan evaporation rates at Feshalam Tea Research Station, 20 March to 21 November in 2009-2010

دمای هوای بیشتر از 30 درجه سانتی‌گراد و کمبود فشار بخار اشباع بیشتر از 2/1 کیلوپاسکال (شکل 1)، بارندگی بسیار اندک و تبخیر زیاد (شکل 2) در ماه‌های تیر و مرداد این موضوع را تأیید می‌نماید. بر این اساس، کاهش عملکرد در سال دوم آزمایش در هر سه باغ دیم منتخب قابل انتظار بود.

با مشاهده میزان عملکرد و بارندگی مؤثر در باغ‌های چای بدون آبیاری در دوره رشد سال‌های 1388 و 1389 (جدول 4) می‌توان نتیجه گرفت که ارتباط زیادی بین این دو عامل وجود دارد. به طوری‌که بیشترین میزان عملکرد چای در دو سال آزمایش (1494 و 1209 کیلوگرم در هکتار) متعلق به باغ CN با بارندگی 390 و 345 میلی‌متر بود. همچنین مدیریت داشت مناسب مانند مقدار و نحوه مناسب مصرف کود نیتروژن، انجام هرس‌های مورد نیاز، برداشت اصولی و به موقع برگ سبز چای در دوره رشد باعث گردید تا میزان عملکرد در این باغ بیشتر از سایر باغ‌های دیم گردد.

کمترین میزان عملکرد چای ساخته شده نیز در سال دوم آزمایش (944 و 757 کیلوگرم در هکتار) به ترتیب از باغ‌های WS و EM با میزان بارندگی 286 و 261 میلی‌متر به دست آمد (جدول 4). به طور کلی، تنش آبی ناشی از کمبود میزان بارندگی و تنش محیطی هوا نظیر دمای بیشتر از 30 درجه سانتی‌گراد (Tanton, 1982) و کمبود فشار بخار اشباع هوا بیشتر از 2/1 کیلوپاسکال (Tanton, 1982) در برخی از ساعات روز در ماه‌های تیر و مرداد (شکل 1) باعث شد تا میزان تولید برگ و شاخساره‌های چای (به عنوان عملکرد) کاهش زیادی یابد و در نتیجه بهره‌وری آب کاهش یابد.

نتایج این پژوهش نشان داد که میانگین عملکرد چای ساخته شده در تمام باغ‌های دیم منتخب برابر 1095 کیلوگرم در هکتار بود که با احتساب میانگین بارندگی مؤثر 318 میلی‌متر در کل دوره رشد به دست آمد. بنابراین، میانگین بهره‌وری آب در باغ‌های چای بدون آبیاری را می‌توان برابر 3/4 کیلوگرم در هکتار به ازای هر میلی‌متر بارندگی مؤثر در نظر گرفت.

در شرایط آزمایش تحقیقات قبلی، این شاخص برابر 3/1 کیلوگرم در هکتار به ازای هر میلی‌متر بارندگی مؤثر (Majd Salimi & Mirlitifi, 2008) و در تحقیقی دیگر برابر با 3/4 کیلوگرم در هکتار به ازای هر میلی‌متر بارندگی مؤثر (Majd Salimi et al., 2011) گزارش شد. بهره‌وری آب در باغ‌های چای تانزانیا و مالاوی در فصل

گرم و خشک بین 2/1 تا 3/9 کیلوگرم بر هکتار به ازای هر میلی‌متر آب بارندگی گزارش شده است (Carr, 2010b).

به طور کلی، می‌توان بیان کرد که علاوه بر شرایط و عوامل آب و هوایی مؤثر در تولید محصول و بهره‌وری آب، تأثیر مدیریت داشت و تدابیر برداشت در باغ‌های چای دیم بسیار حائز اهمیت است. از ویژگی‌های مثبت و منفی مدیریتی مؤثر بر بهره‌وری آب در این باغ‌های چای می‌توان به این موارد اشاره نمود. استفاده از بقایای هرس سطحی بوته‌های چای به عنوان خاک‌پوش در هر سه باغ که باعث حفظ رطوبت و افزایش مواد آلی در لایه‌های سطحی خاک و در نتیجه افزایش بهره‌وری آب بارندگی شد. ایجاد حجم و سطح گسترش تاج مناسب برای بوته‌های چای که موجب کاهش تبخیر از سطح خاک و حفظ رطوبت آن گردید (فقط در باغ‌های WS و CN)، تدابیر برداشت به موقع و اصولی، وجود درختان سایه‌انداز (باغ CN)، نوع و مقدار کود مصرفی به ویژه کودهای اوره و سولفات پتاسیم، همچنین میزان سواد (تحصیلات)، مهارت و دانش فنی کشاورز و مسائل اقتصادی (خرید به موقع و با قیمت مناسب برگ سبز چای) که در اداره امور مربوط به داشت و برداشت باغ چای نقش مناسبی داشت. آلوده بودن یکی از باغ‌های چای (WS) به نماتد مولد زخم ریشه که باعث کاهش عملکرد و بهره‌وری آب گردید. سن زیاد بوته‌ها (بیشتر از 45 سال) در هر سه باغ چای که ممکن است باعث کاهش عملکرد مورد انتظار (عملکرد اقتصادی) و بهره‌وری آب شده باشد.

بهره‌وری آب در باغ‌های آبیاری شده

مقادیر مربوط به عملکرد، میزان مصرف آب آبیاری ناخالص و بارندگی مؤثر در جدول 5 و مقادیر بهره‌وری آب ناخالص و بهره‌وری آب آبیاری ناخالص برای باغ‌های چای آبیاری شده در دوره رشد سال‌های 1388 و 1389 در شکل‌های 3 و 4 ارائه شده است.

بیشترین مقدار بهره‌وری آب آبیاری و بهره‌وری آب مصرفی ناخالص در باغ ED به دست آمد (شکل‌های 3 و 4). حجم ناخالص آب ورودی به سیستم آبیاری این باغ، مقدار 3450 و 3917 مترمکعب آب برای آبیاری هر هکتار را در ماه‌های تیر و مرداد دو سال آزمایش نشان می‌دهد (جدول 5). با در نظر گرفتن میزان بارندگی مؤثر، مقادیر مربوط به بهره‌وری آب ناخالص در این شرایط برابر 0/516 و 0/524 کیلوگرم در مترمکعب در هکتار به دست آمد (شکل 4). مقادیر مربوط به بهره‌وری آب آبیاری ناخالص در دو سال آزمایش برابر 0/575 و 0/549 کیلوگرم به ازای هر مترمکعب حجم ناخالص آب آبیاری بود (شکل 3).

نوع سیستم آبیاری (کلاسیک ثابت- آب‌پاش متحرک)، مدیریت داشت (به خصوص میزان و نحوه پخش کود مورد نیاز) و تدابیر برداشت مناسب و در نتیجه عملکرد بیشتر، همچنین برنامه آبیاری مؤثر و کارآمد و بهره‌برداری مناسب از سیستم آبیاری و در نتیجه تلفات کمتر آب (حدود 20 درصد) از مهم‌ترین دلایل افزایش نسبی شاخص‌های کارآیی در این باغ بود.

جدول5- میزان عملکرد برگ چای ساخته شده، عملکرد قطعه شاهد، بارندگی مؤثر و حجم آب آبیاری ناخالص در باغ‌های چای فاریاب

Table 5- Green leaf and made tea yield, yield of control, effective rainfall and gross irrigation water volume in irrigated tea fields

نام باغ Farmer's fields	سال Year	عملکرد برگ سبز (کیلوگرم در سطح کشت) Yield of green leaf (kg in area farms)	عملکرد چای ساخته شده (کیلوگرم در هکتار) Yield of made tea ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد شاهد[a] (کیلوگرم در هکتار) Yield of control ($kg.ha^{-1}$)	بارندگی مؤثر (میلی‌متر) Effective rainfall (mm)	آب آبیاری ناخالص (مترمکعب) Gross irrigation water (m^3)
WA	2009	2425	1819	1204	320	1720
	2010	2242	1686	1075	286	1950
WB	2009	128128	3203	1486	320	3857
	2010	139968	3499	1324	286	4412
CG	2009	5637	2537	1387	390	2768
	2010	5155	2405	1264	345	2820
CK	2009	19413	2912	1520	390	3189
	2010	18573	2786	1295	345	3106
[@] EP	2009	1402	3156	1358	308	3250
	2010	1474	3318	1302	261	3840

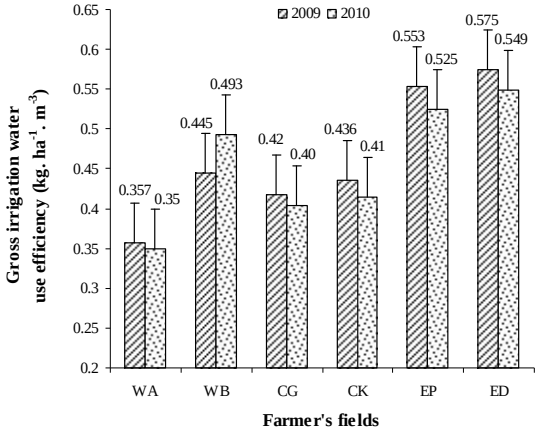
ED	2009	26952	3369	1383	308	3450
	2010	27400	3425	1275	261	3917
میانگین دو سالانه (Average of 2 years)			2843	1322	318	3140

@: کل مساحت این باغ 15 هکتار (بهره‌برداری مشاع یا گروهی) بود که مقادیر عملکرد برگ و مصرف آب مربوط به قطعه 1000 مترمربعی مورد آزمایش است.

@: The total area of this tea field (With the group operation) was 15 hectares, that the amount of green leaf yield and water consumption relate to 1000 m^2 is tested.

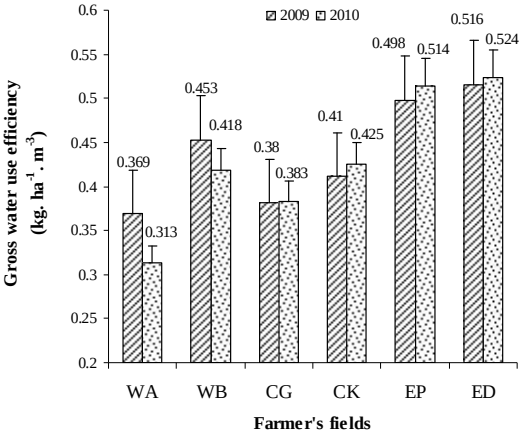
α: مقادیر عملکرد چای ساخته شده در این ستون مربوط به برداشت از قطعه 100 مترمربعی به عنوان شاهد است.

α: Yield of made tea in this column relate to the harvest of 100 m^2 as control.



شکل 3- میزان بهره‌وری آب آبیاری ناخالص در باغ‌های چای تحت آبیاری

Fig. 3- Gross irrigation water productivity in irrigated tea fields



شکل 4- میزان بهره‌وری آب ناخالص در باغ‌های چای تحت آبیاری

Fig. 4- Gross water productivity in irrigated tea fields

جدول 6- حجم آب آبیاری واقعی، تبخیر- تعرق، بهره‌وری آب آبیاری واقعی و بهره‌وری آب واقعی در باغ‌های چای تحت آبیاری

Table 6- Actual irrigation water volume, evapotranspiration, actual irrigation water productivity and actual water productivity in irrigated tea fields

نام باغ Farmer's fields	سال Year	آب آبیاری واقعی (متر مکعب) Actual irrigation water (m^3)	تبخیر- تعرق (میلی‌متر) *ET (mm)	بهره‌وری آب آبیاری واقعی (کیلوگرم بر هکتار بر مترمکعب) Actual irrigation WP$^{\alpha}$ ($kg.ha^{-1}.m^{-3}$)	بهره‌وری آب واقعی (کیلوگرم بر هکتار بر مترمکعب) Actual WP ($kg.ha^{-1}.m^{-3}$)
WA	2009	1070	427	0.574	0.426
	2010	1110	397	0.550	0.424
WB	2009	2458	566	0.698	0.566
	2010	3000	586	0.725	0.597
CG	2009	1832	573	0.632	0.442
	2010	1950	540	0.605	0.445
CK	2009	2100	600	0.663	0.485
	2010	1986	544	0.710	0.512
EP	2009	2540	562	0.707	0.561
	2010	3060	567	0.659	0.580
ED	2009	2792	587	0.711	0.573
	2010	3081	569	0.698	0.602
میانگین دو سالانه Average of 2 years		2248	543	0.661	0.518

*: تبخیر- تعرق (Evapotranspiration = ET) و α: بهره‌وری آب (Water productivity=WP)

به طور کلی، بهره‌وری آب در باغ‌هایی که دارای سیستم آبیاری بارانی ثابت- آب‌پاش متحرک بودند بیشتر از سایر سیستم‌های آبیاری حاصل گردید. بر این اساس پس از باغ ED بیشترین میزان بهره‌وری آب متعلق به باغ‌های EP و WB بود (با تلفات 20 و 34 درصدی آب آبیاری). برنامه آبیاری بهتر و مؤثرتر در ماه‌های تیر و مرداد (دوره خشکی) در این سه باغ سبب شد تا با تأمین نیاز آبی گیاه و تعدیل تنش‌های محیطی (دمای بالا و کمبود فشار بخار هوا) تا حد بسیار زیادی رشد و تولید شاخساره‌های چای افزایش و در نتیجه میزان بهره‌وری آب افزایش یابد.

کمترین میزان دو سالانه بهره‌وری آب واقعی (جدول 6) و بهره‌وری آب ناخالص (شکل 4) مربوط به باغ‌های WA، CK و CG بود. علی‌رغم این‌که باغ WA دارای سیستم آبیاری تمام ثابت بود اما آبدهی کم منبع تأمین آب (چاه سطحی) و عدم تأمین مناسب نیاز آبی بوته‌های چای در دوره کم‌آبی (ماه‌های تیر و مرداد) سبب شد تا کمترین میزان عملکرد و در نتیجه بهره‌وری آب در این باغ حاصل شود. سیستم آبیاری در دو باغ CK وCG از نوع بارانی کلاسیک نیمه‌متحرک (با جابه‌جایی دستی) بود. تلفات آب از محل اتصالات لوله‌های آلومینیومی (به ترتیب 35 و 32/5 درصد) باعث شد تا با توجه به محدودیت دسترسی به آب در این دو باغ، آب آبیاری به اندازه نیاز گیاه تأمین نشود و رشد شاخساره‌های چای (عملکرد) و در نتیجه بهره‌وری آب کاهش یابد.

نتایج و مشاهدات مؤید این نظریه است که یکی از مهم‌ترین دلایل پایین بودن مقادیر بهره‌وری آب در این مناطق عدم استفاده از اصول علمی به‌زراعی و تدابیر صحیح برداشت چای و در نتیجه کاهش عملکرد است. از عوامل مهم دیگر مؤثر بر این کاهش می‌توان به قدیمی بودن و بهره‌برداری و نگهداری غیراصولی از سیستم آبیاری و در نتیجه افزایش میزان تلفات آب، همچنین به تأثیر میزان دانش فنی و مسائل اقتصادی کشاورزان اشاره نمود.

به طور کلی، نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که میانگین حجم آب آبیاری مصرفی ناخالص در باغ‌های چای تحت آبیاری حدود 3140 مترمکعب در هر هکتار است که از این میزان معادل 892 مترمکعب آن (28 درصد) به عنوان تلفات پاششی (ناشی از تبخیر) و نفوذ عمقی (ناشی از توزیع غیریکنواخت و نشت آب از شیر خودکارها و اتصالات دیگر آبیاری) محسوب می‌شود و در نتیجه میانگین حجم آب آبیاری واقعی برابر 2248 مترمکعب در هکتار خواهد بود (جدول 6). با احتساب میانگین بارندگی مؤثر 318 میلی‌متر در کل دوره رشد چای، میانگین تبخیر- تعرق (مجموع آب آبیاری مصرفی واقعی و بارندگی مؤثر) در این شرایط حدود 543 میلی‌متر برآورد می‌شود (جدول 6). با توجه به میانگین عملکرد چای ساخته شده در شرایط آبیاری (2843 کیلوگرم در هکتار) و عملکرد قطعه شاهد یا بدون آبیاری (1322 کیلوگرم در هکتار)، بهره‌وری آب و بهره‌وری آب آبیاری ناخالص به ترتیب برابر 0/439 و 0/455 مترمکعب در هکتار

(شکل‌های 3 و 4) و بهره‌وری آب و آب آبیاری واقعی برابر 0/518 و 0/661 مترمکعب در هکتار (جدول 6) برآورد گردید. نتایج تحقیقات قبلی نشان داد که با مصرف بهینه آب و کود و اعمال مدیریت داشت و تدابیر برداشت اصولی و مناسب می‌توان بهره‌وری آب را تا حدود 0/72 کیلوگرم چای ساخته شده بر مترمکعب ارتقاء داد (Majd Salimi, 2012).

به طور کلی می‌توان بیان کرد که با در نظر گرفتن سطح زیر کشت و نیاز آبی (حجم آب مصرفی) گیاه چای در مناطق چای‌کاری شمال کشور، بدیهی است که عدد حاصل برای گیاه چای با مقدار واقعی متوسط بهره‌وری آب کشوری و کشورهای چای‌خیز متفاوت بوده و مقدار آن کمتر به دست آمد و گویای آن است که شاخص مذکور در مناطق چای‌کاری در سال‌های اخیر، ارتقاء نیافته و ذکر عدد تقریبی 0/8 کیلوگرم بر مترمکعب برای شاخص کارآیی بر اساس نتایج حاصله از متوسط مصرف آب کشاورزی ایران (Hedari et al., 2006)، شاید صحیح نبوده و این عدد برای گیاه چای کم‌تر می‌باشد. نتایج بررسی همچنین نشان داد که مهم‌ترین عامل در افزایش بهره‌وری آب، مدیریت باغی به خصوص داشت و برداشت بوده و مهارت و دانش فنی کشاورزی، نقش کلیدی در این زمینه ایفا می‌نماید.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که آبیاری تکمیلی به روش بارانی می‌تواند باعث افزایش عملکرد و بهره‌وری آب به ترتیب به میزان 159 و 29 درصد نسبت به باغ‌های دیم (بدون آبیاری) شود. بهره‌وری آب و آب آبیاری در باغ‌هایی که دارای سیستم آبیاری ثابت- آب‌پاش متحرک بودند بیشتر از سایر سیستم‌ها به دست آمد. بنابراین، برای تولید اقتصادی محصول و بهینه‌سازی مصرف آب در باغ‌های چای ضروری است تا از سیستم آبیاری بارانی برای تأمین نیاز آبی در ماه‌های کم‌آبی (تیر و مرداد) استفاده گردد. هم‌چنین، اعمال مدیریت صحیح داشت و برداشت به خصوص استفاده از بقایای هرس سالیانه به عنوان خاک‌پوش به منظور افزایش بهره‌وری آب در باغ‌های چای، بسیار ضروری است.

سپاسگزاری

این مقاله بخشی از نتایج پروژه تحقیقاتی مصوب با عنوان "برآورد شاخص کارآیی مصرف آب در باغ‌های چای و بررسی مسایل فنی و مدیریتی لازم به منظور بهبود آن" به شماره ثبت 88006-21-21-2 در سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی وزارت جهاد کشاورزی است که با امکانات مرکز تحقیقات چای کشور در مناطق مختلف چای‌کاری استان گیلان اجرا گردید. بدین وسیله از تمامی دوستان همکار در اجرای پروژه، تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

Anonymous. 2008. Tea-Black Tea-Specifications and test methods. Institute of Standards and Industrial Research of Iran. No. 623, 9 pp. (In Persian)

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. I. Water relations. Experimental Agriculture 46(3): 327-349.

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. II. Water productivity. Experimental Agriculture 46(3): 351-379.

Hedari, N., Eslami, A., Ghadami Furouzabadi, A., Kanoni, A., Asadi, M.E., and Khajeh Abdollahi, M.H. 2006. Determination and evaluation of agricultural water productivity of some major crops in different regions of Iran (Regions: Kerman, Hamedan, Moghan, Golestan, Khuzestan). Agricultural Engineering Research Institute, Iran 85 pp. (In Persian with English Summary)

Majd Salimi, K. 2012. Interaction of irrigation levels and amounts of nitrogen fertilizer on yield and quality of tea green leaf. Final Report. Agriculture Research, Education and Extension Organization, Tea Research Institute of Iran 133 pp. (In Persian with English Summary)

Majd Salimi, K. 2008. Investigation and study of irrigation systems development and water use efficiency problems in tea fields. Final Report. Agriculture Research, Education and Extension Organization, Tea Research Institute of Iran 60 pp. (In Persian with English Summary)

Majd Salimi, K., Salvatian, S.B., and Rezaeii, M. 2011. Effects of sprinkler irrigation intervals on yield and water

use efficiency of tea fields in Giulan Province, Iran. Journal of Water and Soil 24(6): 1129-1141. (In Persian with English Summary)

Majd Salimi, K., and Mirlatifi, S.M. 2008. Tea (*Camellia sinensis* L.) yield response to irrigation and nitrogen fertilizer applications, Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resource, Water and Soil Science 12(44): 39-50. (In Persian with English Summary)

Molden, D., Murray-Rust, H., Sakthivadivel, R., and Makin, I. 2001. A water productivity framework for understanding and action. Workshop on Water Productivity. Wadduwa, Sri Lanka, 12-13 November 2001.

Stephens, W., Burgess, P.J., and Carr, M.K.V. 1994. Yield and water use of tea in southern Tanzania. Aspects of Applied Biology 38: 228-230.

Stephens, W., and Carr, M.K.V. 1991a. Responses of tea (*Camellia sinensis* L.) to irrigation and fertilizer. I. Yield. Experimental Agriculture 27: 177-191.

Stephens, W., and Carr, M.K.V. 1991b. Responses of tea (*Camellia sinensis* L.) to irrigation and fertilizer. II. Water use. Experimental Agriculture 27: 193-210.

Tanton, T.W. 1982. Environmental factors affecting the yield of tea (*Camellia sinensis* L.). I. Effects of air temperature. Experimental Agriculture 18: 47-52.