

ردپای آب سبز، آبی و خاکستری در تولید انواع چای

کوروش مجد سلیمی^{۱*} و سیاوش محمدی^۱

۱. پژوهشکده چای، موسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، لاهیجان، ایران

*k.majdsalimi@gmail.com

بیان مسئله

آب یکی از حیاتی‌ترین منابع طبیعی است که نقش اساسی در تولید محصولات کشاورزی و صنایع وابسته دارد. ردپای آب^۱، مفهومی جدید در مدیریت منابع آبی و ابزاری ارزشمند برای ارزیابی پایداری زیست‌محیطی محصولات کشاورزی از جمله چای فراهم می‌آورد. ایده ردپای آب برای اولین بار در دهه ۹۰ میلادی معادل مقدار آب مصرف‌شده از لحظه شروع فرآیند تولید تا پایان کالا تعریف شد (یانگ و زندر، ۲۰۰۷). صفت مجازی در این تعریف بدان معناست که بخش عمده آب مصرف‌شده در فرآیند تولید، در محصول نهایی وجود فیزیکی ندارد و درحقیقت بخش بسیار ناچیزی از آب مصرفی در پایان به‌عنوان آب واقعی در بافت محصول، باقی خواهد ماند. نکته مهم اینکه، صفت مجازی به معنای غیرواقعی نیست بلکه آب مجازی، آبی کاملاً واقعی است.

هوکسترا (۲۰۰۳) با ارائه تعریف کامل‌تری از ردپای آب، آن را مجموع آب موردنیاز برای تولید مقدار معینی از محصول در شرایط اقلیمی، مکانی و زمانی تولید، توصیف کرد. محاسبات مربوط به ردپای آب، از یک سو عدم برخورداری از آب در کشورهای دچار کمبود آب و از سوی دیگر وابستگی به واردات، عدم امنیت غذایی و مقابله با فرهنگ کشور صادرکننده را نشان می‌دهد. بنابراین، کشورهای کم‌آب باید با توجه به نیازهای داخلی و همچنین ملاحظات امنیتی و فرهنگی خود، نقطه بهینه‌ای را برای میزان واردات آب مجازی پیدا کنند. به عبارت دیگر، برداشت واقعی یک کشور از منابع جهانی آب معادل مجموع واردات خالص آب مجازی و آب مصرفی از منابع داخلی است.

بخش کشاورزی بزرگترین مصرف‌کننده آب در جهان است و حدود ۷۰ درصد از کل برداشت آب شیرین را به خود اختصاص می‌دهد. از این میزان، حدود ۷۸ درصد آب سبز (آب باران ذخیره شده در خاک)، ۱۲ درصد آب آبی (آب آبیاری و آب‌های سطحی و زیرزمینی) و ۱۰ درصد آب خاکستری (آب مورد نیاز برای رقیق کردن آلاینده‌ها ناشی از کاربرد سموم و کودها تا حد استاندارد) است. در تولید محصولات کشاورزی، ردپای آب به شدت متغیر است. برای مثال، تولید یک کیلوگرم گوشت گاو به‌طور متوسط نیاز به ۱۵۴۰۰ لیتر آب دارد، در حالی که برای یک کیلوگرم گندم حدود ۱۳۰۰ لیتر آب نیاز است. تولید یک فنجان قهوه (۱۲۵ میلی‌لیتر) به‌طور متوسط ۱۴۰ لیتر آب نیاز دارد، در حالی که برای یک فنجان چای (۲۵۰ میلی‌لیتر) حدود ۳۰ لیتر آب مصرف می‌شود (چاپاگن و هوکسترا، ۲۰۰۷).

محصول یا عملکرد چای شامل شاخساره‌های لطیف با ۲ یا ۳ برگ و یک جوانه انتهایی سطح است (شکل ۱) که به‌طور متوالی در فواصل زمانی مختلف، برداشت (برگ چینی) می‌شوند. از فرآوری برگ‌های تازه و لطیف چای می‌توان محصولات مختلفی مانند چای سیاه، چای سبز یا چای اولنگ^۲ تولید نمود. مراحل تبدیل برگ‌های سبز چای به چای ساخته‌شده در کارخانه‌های چای‌سازی شامل فرآیند پلاس^۳ مالش^۴، اکسیداسیون^۵ و خشک^۶ است.

چای، به‌عنوان یکی از پرمصرف‌ترین نوشیدنی‌های جهان، اهمیت اقتصادی و فرهنگی بالایی دارد. فرآیند تولید آن از مرحله کاشت در باغ‌های چای تا بسته‌بندی نهایی،

۲. Oolong

۳. Withering

۴. Rolling

۵. Oxidation

۶. Firing

۱. Water footprint

مقاله، ردپای آب سبز، آبی و خاکستری در تولید چای بررسی و راه‌کارهایی برای کاهش ردپای آب و ارتقای پایداری تولید این محصول ارزشمند، ارائه می‌شود.

نیازمند منابع آبی متعددی است که در هر مرحله از تولید نقش مهمی در تعیین ردپای آب نهایی ایفا می‌کند. ارزیابی دقیق ردپای آب در تولید چای می‌تواند به شناسایی نقاط بحرانی در زنجیره تولید کمک کند و راهبردهای مؤثری برای کاهش مصرف آب و آلودگی‌ها ارائه دهد. در این



شکل ۱- برگ‌ها و شاخساره‌های بوته‌های چای برای تولید انواع نوشابه چای

اهمیت چای در تجارت جهانی و ارتباط آن با ردپای آب

به عبارت دیگر، این تجارت همراه با انتقال قابل توجه آب مجازی بین کشورهای تولیدکننده و مصرف‌کننده است. بزرگترین واردکنندگان چای شامل روسیه، انگلیس، پاکستان و آمریکا هستند که با واردات چای، سالانه حدود ۷ میلیارد مترمکعب آب مجازی وارد می‌کنند. نکته قابل توجه این است که اکثر کشورهای تولیدکننده چای در مناطق با بارندگی نسبتاً بالایی قرار دارند، بنابراین بیشترین سهم ردپای آب در تولید چای مربوط به آب سبز است که به عنوان یک مزیت از نظر پایداری منابع آب، محسوب می‌شود.

مصرف سرانه چای در کشورهای مختلف از ۰/۱ تا ۳ کیلوگرم در سال متغیر است که این میزان معادل مصرف سرانه ۲۴۰ تا ۷۲۰۰ لیتر آب مجازی در سال است (چاپاگن و هوکسترا، ۲۰۰۷). تغییرات اقلیمی و کاهش بارندگی در برخی از مناطق تولید چای، منجر به افزایش سهم آب آبی

چای دومین نوشیدنی پرمصرف جهان پس از آب است. سالانه بیش از ۵/۸ میلیون تن چای در جهان تولید می‌شود که ارزش تجارت جهانی آن بیش از ۸ میلیارد دلار برآورد شده است. مصرف جهانی چای در سال ۲۰۲۲ به حدود ۶/۳ میلیون تن رسید که نسبت به دهه گذشته، ۴۵ درصد افزایش داشت (فائو، ۲۰۲۳). چین با تولید ۲/۹۷ میلیون تن، هند با ۱/۳۴ میلیون تن و کنیا با ۰/۵۷ میلیون تن در سال ۲۰۲۲، سه تولیدکننده برتر چای در جهان هستند که در مجموع حدود ۷۵ درصد تولید جهانی را به خود اختصاص داده‌اند. تولید چای به عنوان یک محصول کشاورزی آب‌بر شناخته می‌شود. برآوردها نشان می‌دهد برای تولید یک کیلوگرم چای ساخته شده به طور میانگین ۲۴۰۰ لیتر آب نیاز است (مکونن و هوکسترا، ۲۰۱۱). بنابراین تجارت جهانی چای در سال ۲۰۲۲ معادل انتقال حدود ۱۵ میلیارد مترمکعب ردپای آب بین کشورها بوده است (فائو، ۲۰۲۳).

در تولید شده که این موضوع بر پایداری تولید و تجارت چای تأثیرگذار است. پیش‌بینی می‌شود تقاضای جهانی چای تا سال ۲۰۳۰ به ۸/۱ میلیون تن برسد که این افزایش تقاضا، معادل نیاز به ۳/۶ میلیارد مترمکعب آب مجازی اضافی خواهد داشت (فائو، ۲۰۲۳).

بررسی مطالعات اقتصادی نشان می‌دهد که قیمت چای در بازار جهانی هنوز هزینه‌های واقعی آب مصرفی در تولید آن را منعکس نمی‌کند که این موضوع می‌تواند به مصرف ناپایدار منابع آب منجر شود. از نظر امنیت غذایی، وابستگی برخی کشورها به واردات چای و آب مجازی همراه آن، می‌تواند در شرایط بحرانی مانند خشک‌سالی یا تغییرات اقلیمی شدید و محدودیت منابع آبی، چالش‌برانگیز باشد. با توجه به روند افزایشی مصرف چای و محدودیت منابع آب، نیاز به بهبود بهره‌وری آب در تولید چای و بهینه‌سازی الگوهای تجارت آن ضروری است.

مفهوم ردپای آب در تولید چای

ردپای آب شاخصی است که میزان کل آب شیرین مصرفی برای تولید کالا و خدمات را نشان می‌دهد و شامل مصرف مستقیم و غیرمستقیم آب می‌شود. ردپای آب به سه بخش آب سبز، آب آبی و آب خاکستری تقسیم می‌شود (هوکسترا و همکاران، ۲۰۱۱). ردپای آب در تولید چای شامل ردپای آب در باغ تا فرآوری در کارخانه چای‌سازی و حتی بسته‌بندی چای است که به شرح ذیل تشریح می‌شود:

برآورد ردپای آب سبز در تولید چای

منظور از آب سبز در کشت و پرورش محصولات زراعی و باغی، بخشی از بارندگی است که امکان ذخیره به‌صورت رطوبت در مناطق غیر اشباع در خاک را پیدا می‌کند و می‌تواند به‌صورت مستقیم توسط گیاه استفاده شود. در باغ‌های بدون آبیاری (دیم) این میزان برابر است با میزان تبخیر- تعرق بوته‌های چای و یا به‌عبارتی میزان بارندگی موثری که در طول دوره رشد مورد استفاده گیاه قرار گرفته است.

برای برآورد آب سبز می‌توان با استفاده از روش‌های مختلف، نیاز آبی (تبخیر- تعرق) یا آب مصرفی ناشی از بارندگی موثر را محاسبه نمود. در صورت داشتن اطلاعات

آب و هوایی یا هواشناسی منطقه، ساده‌ترین روش استفاده از نرم افزارهای محاسبه تبخیر- تعرق مانند کراپوات (روش فائو- پنمن- مانتیث) است. ردپای آب سبز برای تولید برگ سبز چای (مترمکعب در کیلوگرم) از تقسیم میزان حجم آب سبز مصرفی (بر حسب مترمکعب در هکتار) بر میزان عملکرد چای (برحسب کیلوگرم در هکتار) به‌دست می‌آید. گاهی اوقات آب مصرفی برحسب لیتر و میزان عملکرد برحسب تن در نظر گرفته می‌شود.

برآورد ردپای آب آبی در تولید چای

منظور از آب آبی، آب رودخانه‌ها و آبهای زیرزمینی هستند. در باغ‌های چای که تامین نیاز آبی با استفاده از سامانه‌های آبیاری و منابع آبی سطحی یا زیرزمینی انجام می‌شود، میزان آب مصرفی ناشی از آب آبیاری برای تعیین ردپای آب آبی برای تولید برگ سبز چای در نظر گرفته می‌شود. ردپای آب آبی (مترمکعب بر تن) برای تولید برگ سبز چای از تقسیم آب آبیاری مصرفی (مترمکعب در هکتار) بر عملکرد چای (تن در هکتار) تعیین می‌شود. ردپای آب آبی در تولید چای از مجموع ردپای آب آبی در باغ + ردپای آب آبی در کارخانه چای‌سازی + ردپای آب آبی در مرحله بسته‌بندی به‌دست می‌آید. ردپای آب آبی در کارخانه‌های چای‌سازی و بسته‌بندی شامل آبی است که از سیستم‌های لوله‌کشی برای شستشو، پاک‌سازی و ضدعفونی کردن و در سایر مراحل تولید در کارخانه یا کارگاه استفاده می‌شود.

برآورد ردپای آب خاکستری در تولید چای

آب خاکستری به حجم آبی گفته می‌شود که برای آبی‌بردن آلودگی‌های ایجادشده ناشی از کشت گیاه و تولید محصول، استفاده می‌شود. آب خاکستری در باغ چای شامل آب مصرفی برای کاربرد کودها بویژه کودهای نیتروژنی، آفت‌کش‌ها و حشره‌کش‌ها است (هوکسترا و مکنونین، ۲۰۱۲). برای برآورد آب خاکستری در باغ چای نیاز به اطلاعاتی در مورد میزان مصرف کودها و آفت‌کش‌ها، درصد آبیویی و ضریب رواناب، میزان آلاینده‌های آب و آب مصرفی برای رقیق کردن آنها است که با استفاده از روابط موجود در منابع به‌دست می‌آید. آب خاکستری در کارخانه‌های چای‌سازی و بسته‌بندی شامل آبی است که در صورت

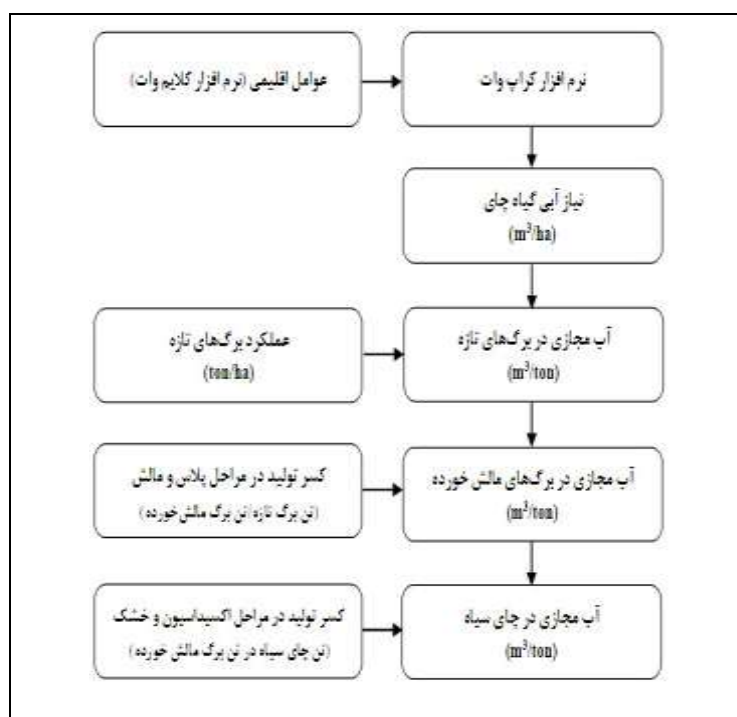
شد. کاهش وزن در تولید چای در دو مرحله اتفاق می‌افتد. در مرحله پلاس، رطوبت تا ۷۰ درصد و در مرحله خشک، رطوبت به کمتر از ۳ درصد کاهش می‌یابد (توینینگ، ۲۰۰۳).

در محاسبات، کسر باقی‌مانده پس از پلاس برابر ۰/۷۲ (تُن چای پلاس شده به ازای هر تُن برگ تازه) و کسر باقی‌مانده پس از مرحله خشک برابر ۰/۳۶ (تُن چای سیاه به ازای هر تُن برگ مالش خورده) در نظر گرفته شد (شکل ۳). در این مطالعه فرض شد روش‌های مختلف فرآوری برگ‌های تازه چای به انواع چای سیاه، سبز یا اولنگ تقریباً مساوی هستند. این محاسبات فقط برای چای سیاه انجام شد و نتایج آن برای چای سبز و اولنگ تعمیم داده شد.

بازچرخانی آب مصرفی برای استفاده مجدد به صورت شستشو و نظافت به کار برده می‌شود. به عبارت دیگر، آب خاکستری کل برابر مجموع آب خاکستری در باغ + آب خاکستری در مرحله فرآوری + آب خاکستری در مرحله بسته‌بندی است.

مطالعات موردی در کشورهای مختلف چای‌خیز

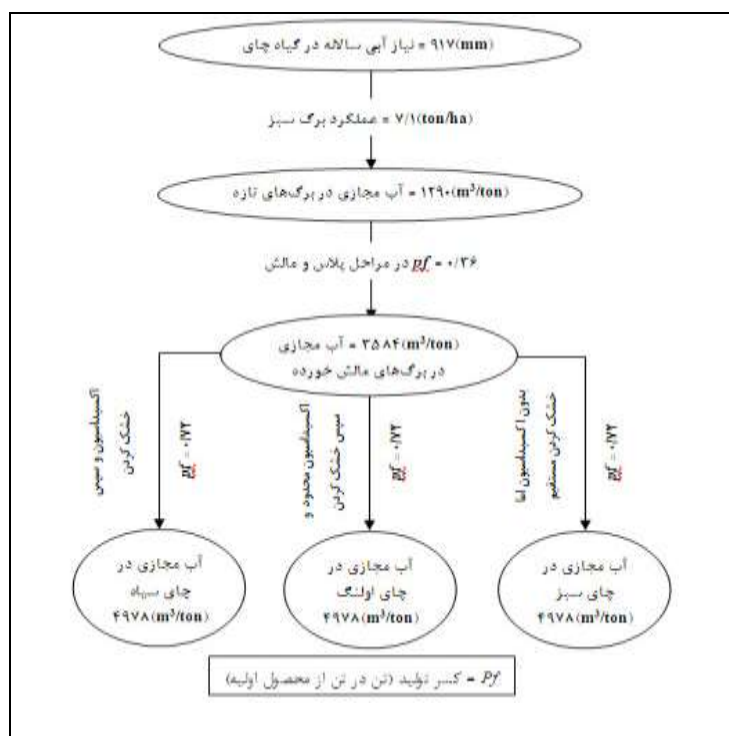
بر اساس مطالعه‌ای در هند روش محاسبه میزان آب مجازی در مراحل متوالی تولید چای سیاه به روش ارتدکس در شکل ۲، ترسیم و محاسبات مربوطه در جدول ۱، خلاصه شده است. در این محاسبات فرض شد که به ازای هر ۱۰ کیلوگرم برگ سبز چای (شامل ۷۵ تا ۸۰ درصد آب) حدود ۲/۵ کیلوگرم چای ساخته‌شده (چای خشک) به دست می‌آید. بنابراین، کسر باقیمانده پس از فرآوری برگ‌های تازه چای به چای خشک برابر ۰/۲۵ در نظر گرفته



شکل ۲- مراحل محاسبه آب مجازی چای سیاه تولید شده با روش ارتدکس

جدول ۱- محاسبه ردپای آب در چای سیاه تولیدی در هند به روش ارتدکس

ردیف	متغیر	مقدار	واحد	منبع
A	نیاز آبی گیاه	۹۱۷	mm	FAO (2003a)
B	عملکرد برگ‌های تازه	۷/۱۰	ton/ha	$B=C/(E \times G)$
C	عملکرد چای خشک	۱/۸۴	ton/ha	FAO (2003b)
D	میزان آب مجازی برگ‌های تازه	۱۲۹۰	m ³ /ton	$D=10 \times A/B$
E	کسر باقی‌مانده پس از مراحل پلاس و مالش	۰/۳۶	ton/ton	Twinings (2003)
F	میزان آب مجازی برگ‌های پلاس و مالش خورده	۳۵۸۴	m ³ /ton	$F=D/E$
G	کسر باقی‌مانده پس از مراحل اکسیداسیون و خشک	۰/۷۲	ton/ton	Twinings (2003)
H	میزان آب مجازی چای سیاه	۴۹۷۸	m ³ /ton	$H=F/G$



شکل ۳- مراحل محاسبه آب مجازی در تولید انواع چای در هند

بر این اساس، کل ردپای آب برای تولید چای سیاه، ۴۴۱۷۱/۵۵ لیتر بر کیلوگرم گزارش شد که شامل ۸۷/۲۵ درصد آب سبز، ۰/۰۱ درصد آب آبی و ۱۲/۷۴ درصد آب خاکستری بود. علاوه بر این، بیشترین میزان ردپای آب

مطالعه‌ای در سریلانکا (مادوشانی^۷، ۲۰۲۱) نشان داد که ۷۹۶۳/۳۳ لیتر آب باران (آب سبز) برای تولید یک کیلوگرم برگ سبز چای در مناطق چای‌خیز مورد نیاز است.

^۷ Madushani

ارگانیک و سنتی) این مناطق ۱۰۴۱/۷۸ متر مکعب بر تن تعیین شد که کمتر از مقادیر متوسط در مناطق چای کاری سریلانکا و چین بود. بر اساس اطلاعات این گزارش، مقادیر ردپای آب خاکستری در دو منطقه مورد مطالعه را می‌توان با اجرای بهره‌برداری باغ‌ها به‌صورت ارگانیک در بلندمدت، کاهش داد (دایاراتانا و همکاران، ۲۰۲۱).

در مطالعه‌ای ردپای آب مجازی برای شش طعم مختلف از چای کیسه‌ای (تی‌بگ) در سریلانکا برآورد شد. بر اساس این مطالعه، میانگین ردپای آب مجازی از تولید برگ سبز تا ورودی کارخانه برای چای سیاه کیسه‌ای ۱/۵ گرمی مقدار ۱۹/۸ لیتر، چای سبز ۱۸/۴۶ لیتر و متوسط ردپای آب مجازی برای چای طعم‌دار کیسه‌ای $7/04 \pm 20/22$ لیتر به‌دست آمد. سهم میانگین ردپای آب مجازی برای مواد تشکیل دهنده چای خام و طعم دهنده‌ها ۹۳/۶ درصد و برای مواد بسته‌بندی ۶/۴ درصد از کل ردپای آب را تشکیل می‌داد (واها^{۱۰} و همکاران، ۲۰۱۴).

مطالعه‌ای برای برآورد ردپای آب سبز، آب آبی و آب خاکستری در استان مرکزی سری‌لانکا در تولید چای سیاه نشان داد که برداشت یک تن برگ چای در باغ‌های چای حدود ۵۲۴۶ مترمکعب آب باران نیاز دارد (جایاسوندارا^{۱۱} و همکاران، ۲۰۱۶). در این مطالعه گزارش شد که کاهش وزن در دو مرحله در تولید چای سیاه اتفاق افتاده است. در محاسبات، کسری باقیمانده پس از پلاس و مالش ۰/۵۳ (تن چای پلاس و مالش‌خورده در هر تن برگ تازه) و کسری باقیمانده پس از مرحله خشک ۰/۷۲ (تن چای سیاه در هر تن برگ مالش‌خورده) از مقادیر اولیه اندازه‌گیری‌های آب سبز در باغ گرفته شد. از کل محصول ۷ درصد چای به‌عنوان چای نامرغوب (چای پست) لحاظ شد و سپس کل محتوای آب سبز در تولید چای سیاه حدود ۱۲۷۸۴/۵۵ مترمکعب در تن به‌دست آمد. علاوه بر این، ردپای آب آبی تولید چای سیاه ۶۵/۵۹ مترمکعب در تن بود. برای مرطوب‌سازی و شستشو در مرحله مالش در کارخانه‌های چای از آب چشمه‌ها استفاده شد. مقدار مصرف آب آبی حاصل در مقایسه با محتوای آب سبز حاصل از برگ‌های تازه چای بسیار کم بود. ردپای آب خاکستری سالانه تولید

برای تولید چای سیاه مربوط به مرحله کاشت، داشت و برداشت در باغ چای (۹۹/۹۶ درصد) بود و فقط ۰/۰۱ درصد به فرآوری چای و ۰/۰۳ درصد به بسته‌بندی اختصاص می‌یافت. بنابراین، سهم ردپای آب غیرمستقیم یعنی مجموع سهم مربوط به مراحل باغ و بسته‌بندی (۹۹/۹۹ درصد) بسیار بیشتر از ردپای مستقیم آب (۰/۰۱ درصد) در بخش فرآوری چای سیاه است. همچنین گزارش شد با توجه به شرایط خاص آب و هوایی و تولید در ماه اسفند (شروع برداشت سالانه) و آذر (پایان دوره برداشت سالانه) در این منطقه، میزان ردپای آب برای تولید چای سیاه تغییر قابل ملاحظه‌ای پیدا می‌کرد. به‌طوری‌که به ازای افزایش یک کیلوگرم تولید چای سیاه، ردپای آب در پایان دوره برداشت به‌میزان ۰/۸۵۶ لیتر کاهش می‌یافت (مادوشانی، ۲۰۲۱). با توجه به حجم بالای مصرف آب در مراحل کاشت، داشت و برداشت در باغ‌های چای این مناطق، توصیه شد که روش‌های مناسب مدیریت باغ و اراضی به‌منظور بهبود بهره‌وری زمین و کاهش ردپای آب در واحد تولید چای سیاه اجرا شود. بر اساس این مطالعه، سریلانکا در صورت صادرات یک کیلوگرم چای سیاه به‌میزان ۴۴۱۷۱/۵۵ لیتر آب شیرین صادر می‌کند و از طریق استفاده مفید از آب باران که هزینه فرصت پائینی در این مناطق دارد، سود اقتصادی برای این کشور ایجاد کرده است (مادوشانی، ۲۰۲۱).

ردپای آب برای تولید چای سیاه در دو منطقه در ایالت مادولسима^۸ در سریلانکا حدود ۴۲۷۰/۰۹ مترمکعب بر تن در سال برآورد شد (دایاراتانا^۹ و همکاران، ۲۰۲۱). همچنین ردپای آب سبز برای تبخیر- تعرق چای ۱۰۹۰/۷ میلی‌متر در سال بود. مجموع ردپای آب سبز موجود برای تولید چای سیاه مناطق مورد مطالعه، ۳۲۲۷/۶۸ مترمکعب بر تن به‌دست آمد که ۳۰ درصد کمتر از میانگین مقدار آب در سریلانکا و بسیار کمتر از مقادیر گزارش شده در چین، هند و کنیا بود. علاوه بر این، ردپای آب آبی در تولید چای سیاه در این ایالت، ۱/۲۳ مترمکعب بر تن بود که در مقایسه با چین و هند مقدار ناچیزی به حساب می‌آمد. ردپای آب خاکستری در شیوه‌های مختلف بهره‌برداری چای (باغ‌های

¹⁰. Wahala

¹¹. Jayasundara

⁸. Madulsima

⁹. Dayarathna

نیمه‌عمر کوتاه‌تر در تولید چای، پایداری کیفیت آب را به شدت ارتقاء می‌دهد (آریانی و همکاران، ۲۰۲۲).

راهبردهای کاهش ردپای آب در تولید چای

کاهش ردپای آب در تولید چای نیازمند به‌کارگیری روش‌های متنوعی است که در مراحل مختلف زنجیره تولید اعمال می‌شوند. این راهبردها می‌توانند به بهبود بهره‌وری منابع آبی و کاهش تأثیرات منفی زیست‌محیطی و کاهش هزینه‌های تولید منجر شوند. مهم‌ترین روش‌های افزایش بهره‌وری آب یا کاهش ردپای آب در تولید چای عبارت از: انتخاب مکان مناسب برای کشت چای، به‌کارگیری روش‌های آبیاری کارآمد، استفاده از مالچ (پوشش گیاهی) برای حفظ رطوبت خاک، انتخاب ارقام مقاوم به خشکی، بهبود کیفیت خاک، مدیریت بهینه کوددهی، مدیریت علف‌های هرز، برنامه‌ریزی صحیح آبیاری، استفاده از سیستم‌های جمع‌آوری آب باران، بهبود مدیریت پساب‌ها، نوع چای تولیدی، ترویج تولید چای ارگانیک، شرایط اقلیمی و جغرافیایی، شرایط کشت و گیاه و آموزش کشاورزان است.

چای، ۷۳ مترمکعب در تن بود. به عبارت دیگر، ۷۳ مترمکعب آب برای رقیق کردن بار آلودگی در طول کشت چای مورد نیاز است. بنابراین، ردپای آب مجازی برای تولید چای سیاه ۱۲۹۲۳/۳۴ مترمکعب در تن در سال با سهم کمتر ردپای آب آبی و خاکستری (۱/۱ درصد) و سهم بیشتر (۹۸/۹ درصد) از ردپای آب سبز است که برای کشوری که هزینه فرصت نسبتاً پایینی در مقایسه با آب‌های زیرزمینی و سطحی دارد، منافع اقتصادی ایجاد می‌کند. بر اساس نتایج این تحقیق، حجم آب مورد نیاز برای تولید چای سیاه بویژه شرایط آب و هوایی محل تولید و میزان محصول در هکتار بستگی دارد. باغ‌های با بهره‌وری بالا دارای ردپای آب کمتری نسبت به باغ‌های با بهره‌وری پایین زمین هستند. همچنین گزارش شد که ردپای آب آبی در تولید چای سیاه به روش فراوری چای بستگی دارد (جایاسوندار و همکاران، ۲۰۱۶).

تأثیر آفت‌کش‌ها بر ارزش ردپای آب در تولید چای و پایداری آب از دیدگاه آلودگی آب در منطقه چای‌کاری گامبونگ اندونزی بررسی شد (آریانی^{۱۲} و همکاران، ۲۰۲۲). مشخص شد که تأثیر آفت‌کش‌ها در ارزیابی ردپای آب خاکستری (۲۷ درصد) بیشتر از آب آبی (۱۲ درصد) و همچنان کمتر از ردپای آب سبز (۶۰ درصد) بود. ردپای آب خاکستری در این منطقه بیشتر از متوسط جهانی (۱۰ درصد) و ردپای آب سبز کمتر از متوسط جهانی (۸۲ درصد) به دست آمد که می‌توان آن را به در نظر گرفتن تأثیر آفت‌کش‌ها و کود نیتروژنی بر ردپای آب خاکستری در این مطالعه دانست. مجموع ردپای آب در تولید چای در این مناطق، ۳۱۸۵/۵ مترمکعب بر تن بود که نشان داد این مقدار به‌طور قابل‌توجهی کمتر از مقدار ۸۵۴۰/۱۲ تن در مترمکعب برای منطقه آگرابیتا است. مهم‌ترین دلایل این تفاوت به شرایط آب و هوایی، بهره‌وری تولید و نحوه فراوری (خشک کردن) نسبت داده شد. همچنین مقادیر بالای مصرف آفت‌کش بیفتترین^{۱۳} با توجه به سمیت و پایداری زیاد آن باعث افزایش آلودگی آب‌های سطحی می‌شود. بنابراین، استفاده از آفت‌کش‌هایی با سمیت کمتر و

¹². Ariyani

¹³. Befenthrin

پیام ترویجی

با توجه به سهم بالای آب سبز و آب آبی در چرخه تولید چای، اعمال مدیریت به‌باغی اصولی و صحیح مانند انتخاب ارقام مقاوم به خشکی، بهبود کیفیت خاک، مدیریت بهینه کوددهی، مدیریت علف‌های هرز، تغییر جهت کشت در باغ‌های شیب‌دار (از ردیف‌های در جهت شیب به ردیف‌های عمود بر شیب)، استفاده از روش‌های آبیاری کارآمد و برنامه‌ریزی صحیح آبیاری می‌تواند تاثیر زیادی در افزایش بهره‌وری مصرف آب و کاهش ردپای آب داشته باشد. بهینه‌سازی و دقت در مصرف کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها و سموم، بهبود مدیریت پساب‌ها، ترویج تولید چای ارگانیک و سایر موارد از باغ تا کارخانه چای‌سازی و بسته‌بندی چای می‌تواند در کاهش سهم آب خاکستری در تولید چای و پیامدهای منفی زیست محیطی، موثر باشد.

منابع منتخب

- Ariyani, M., Margaret Pitoi, M., Yusiasih, R., Maulana, H., Irianto Mastur, A., Agustini Koesmawati, T., Susanto Ridwan, Y. and Sunardi, S. 2022. Water Footprint Analysis of Indonesian Tea: Exploring the Impact of Pesticides on the Grey Water Footprint. *Environment Asia*, 15(1): 47-59.
- Chapagain, AK. and Hoekstra, AY. 2007. The water footprint of coffee and tea consumption in the Netherlands. *Ecological Economics*, 64(1):109-118.
- Dayarathna, B.D.S., Aberathna, W.S.S.L., Withanage, N.S. and Kahandage, K.P.M. 2021. Estimation of water footprint of black tea production: A case study in Madulsima plantations.
- FAO. 2023. Assessing the carbon footprint of tea production: case studies and challenges. 1-8.
- FAO. 2003a. CROPWAT model. <http://www.fao.org/ag/AGL/aglw/cropwat.htm>
- FAO. 2003b. FAOSTAT database. <http://apps.fao.org>
- Hoekstra, A. Y. 2003. Virtual water trade: processing of the international expert meeting on virtual water trade. Value of the Water Research Report Series No. 12, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands.
- Hoekstra, AY., Chapagain, AK., Mekonnen, MM. and Aldaya, MM. 2011. The water footprint assessment manual: setting the global standard. Routledge, London, UK.
- Jayasundara, J.M.D., Ranundeniya, R.M.N. and Lakmali, W.A. 2016. Water footprint assessment of black tea; A case study from Nuwara Eliya District, Sri Lanka. *Proceedings of 15th Agricultural Research Symposium*, 388-392.
- Madushani, L.H.A. 2021. Virtual water footprint assessment of black tea: An empirical study with special reference to the low country region.
- Mekonnen, MM. and Hoekstra, AY. 2011. The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 8(1): 1577-1600.
- Twinings. 2003. 'Black tea manufacture'. http://www.twinings.com/en_int/tea_production/orthodox.html.
- Wahala, W.M.P.S.B., Senadheera, D.K. L. and Lugoch, D. 2014. Water footprint assessment of a tea product in Sri Lanka: A case study of black tea and selected tea flavours. 18th International Forestry and Environment Symposium.
- Yang, H. and Zehnder, A. 2007. Virtual water: An unfolding concept in integrated water resources management, *Water Resources Reserch*, 43 (12): 1-10.