DOI: https://dx.doi.org/10.22034/jam.2023.15785

پدیده خشکسالی و نقش مکانیزاسیون کشاورزی در وقوع یا پیشگیری از آن

حسن ذکی دیزجی*[۱] و نگار حافظی[۱]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۷/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۹/۲۱

۱. گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
*مسئول مکاتبه hzakid@scu.ac.ir

چکیده

یکی از موضوعات مهم و تاثیرگذار در آینده فناوری‌های کشاورزی نحوه مقابله با تغییرات اقلیمی و محیطی است. امروزه مشکل کاهش آب موجود نه تنها چالشی برای ایران بلکه تهدیدی برای کل جهان است. اما در این میان کشورهای خاورمیانه از جمله ایران سهم بیشتری در این تهدید آبی دارند. بر اساس آمار منتشر شده سهم آب در بخش کشاورزی نسبت به بخش شهری و صنعتی بسیار بیشتر است و این افزایش حدود ۹۱ درصد اعلام شده است، در حالی‌که میانگین جهانی مصرف آب در بخش کشاورزی کمتر از ۷۰ درصد است. بنابراین، لازم است برای اجرای نظام‌های کشاورزی که آب کمی مصرف می‌کنند و یا برای شرایط کم آبی مناسب هستند، راهکارهایی ارائه شود. مکانیزاسیون به‌عنوان مرحله توسعه هر کشت و زرعی می‌تواند به توسعه نظام‌های کشاورزی اصلاحی مناسب شرایط بحران کم آبی کمک کند. در این تحقیق ابتدا نظام‌های کشاورزی توسعه یافته با هدف کاهش مصرف آب شرح داده شد. سپس جایگاه مکانیزاسیون در کشاورزی پایدار و حفاظتی مورد بررسی قرار گرفت. در ادامه مطالعات و شاخص‌های مکانیزاسیون شامل بهره‌وری آب و انرژی و هزینه تامین آب در شرایط بحران کم آبی مورد بحث قرار گرفت. در نظام کشاورزی پایدار، استفاده از تجهیزات مدرن، هوشمند و مناسب با شرایط ایران در کنار توسعه روش‌های نوین آبیاری می‌تواند به بحران کم‌آبی کمک زیادی کند.

واژه‌های کلیدی: آبیاری، سیستم‌های کشاورزی، فناوری‌های نوین، مکانیزاسیون

The Phenomenon of Drought and the Role of Agricultural Mechanization in its Occurrence or Prevention

Hassan ZakiDizaji*[1] and Negar Hafezi[1]

Received: 21 Oct 2022 Accepted: 12 Dec 2022

1. Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
*Coresponding author: hzakid@scu.ac.ir

Abstract

One of the most important and effective issues in the future of agricultural technologies is how to deal with climate and environmental changes. Todays, the problem of reducing available water is a threat not only to Iran but also to the whole world. But in the meantime, the countries of the Middle East, including Iran, have a more meaningful share of this threat of drought. According to the published statistics, the share of water consumption per capita in the agricultural sector is much higher than in the urban and industrial sectors. Water consumption share in this sector is announced up to 91%. Meanwhile, the global average amount of water consumption in the agricultural sector is less than 70%. Therefore, it is necessary to provide solutions for reforming agricultural systems that use little water or are suitable for water shortage conditions. Mechanization, as a developmental stage of any cultivation, can lead to corrective agricultural systems suitable for water crisis conditions. In this research, at first, developed agricultural systems were described which aim to reduce water consumption. The position of mechanization in agricultural systems, including sustainable and conservation agriculture, was investigated. In the following, mechanization studies and indicators including water and energy productivity and water supply cost were discussed in the case of water shortage-mechanization crisis. In a sustainable agricultural system, the use of modern, intelligent, and suitable equipment for Iran's conditions, along with the development of modern irrigation methods, can greatly contribute to the water shortage crisis.

Keywords: Agricultural systems, Irrigation, Mechanization, New technologies

How to cite:
ZakiDizaji, H. and Hafezi, N. 2023. The Phenomenon of Drought and the Role of Agricultural Mechanization in its Occurrence or Prevention. *Journal of Agricultural Mechanization* 7 (3): 15–26.

۱- مقدمه

رشد جمعیت و تغییر اقلیم به‌عنوان دو پدیده هم افزایی به منابع آب در سطح ملی و بین المللی آسیب رسانده است. پدیده تغییر اقلیم در جهان باعث ایجاد طیف گسترده‌ای از اثرات نامطلوب از جمله کاهش منابع آبی در دسترس و خشکسالی‌های شدید و مکرر شده است. اقدامات بشری در دهه‌های اخیر جدا از آلودگی محیطی باعث گرم شدن کره زمین گردیده است به‌گونه‌ای که در قرن بیستم میانگین دمای کره زمین حدود ۰/۶ درجه سلسیوس افزایش یافت و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۱۰۰ این میزان بین ۱/۴ تا ۵/۸ درجه سلسیوس روند افزایشی داشته باشد (Stocker *et al.*, 2013). گرمایش زمین باعث بروز مشکلاتی مانند ذوب شدن یخ‌های قطبی، یخ رودخانه‌ها و یخچال‌های طبیعی، افزایش وقوع بلایای طبیعی مانند سیل، طوفان و خشکسالی (Haden *et al.*, 2012)، نوسانات دمای سطح آب دریا و اقیانوس‌ها (Solomon *et al.*, 2009)، تغییر در زنجیره غذایی اکوسیستم‌های طبیعی (Fischer *et al.*, 2005) و تهدید امنیت غذایی می‌شود.

کمبود آب و خشکسالی یکی از نگرانی‌های مهم بوده و تهدیدی جدی برای امنیت غذایی و اقتصاد در بسیاری از نقاط جهان است (Alam, 2015). بیش از یک میلیارد نفر در جهان به آب سالم دسترسی ندارند. تا سال ۲۰۲۵، بیش از نیمی از جمعیت جهان در کشورهایی زندگی خواهند کرد که بیش از ۴۰ درصد از منابع آب تجدیدپذیر در آنها نابود شده است (Wheeler *et al.*, 2015). با این روند، در آینده نزدیک بسیاری از مناطق جهان آب کافی برای تولید مواد غذایی نخواهند داشت. توزیع جهانی آب نیز بر بحران آب افزوده است. قاره آسیا با ۶۰ درصد جمعیت جهان، تنها ۳۰ درصد از منابع آبی جهان را در اختیار دارد و کشور ایران با داشتن بیش از ۱ درصد از کل جهان، تنها ۰/۳۶ درصد از منابع آب شیرین و تجدیدپذیر را در اختیار دارد که همین مقدار آب در کشور نیز به‌صورت نابرابر توزیع شده است (Sadat Miri & Farshi, 2004). کشاورزی به‌عنوان بزرگترین مصرف‌کننده آب شیرین در نظر گرفته می‌شود، زیرا حدود ۷۰ درصد از آب شیرین موجود روی زمین را جذب می‌کند. بررسی‌ها نشان می‌دهد که در ایران از حدود ۷۸/۶ میلیارد مترمکعب آب تجدیدپذیر، ۹۱ درصد در بخش کشاورزی، ۷ درصد در بخش شرب و مابقی در بخش‌های صنعتی و متفرقه مصرف می‌شود (Azimi Dezfuli, 2020). خشکسالی پدیده‌ای گسترده و پرتکرار به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک جهان از جمله ایران است. در بازه زمانی ۱۳۸۶-۹۷ خشکسالی بسیار شدیدی در سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ در ایران رخ داد و قبل از سال ۱۳۹۷ ترسالی وجود نداشت و نکته مهم خشکسالی شدید در سال ۱۳۸۷ بوده که نسبت به ۳۰ سال گذشته پیشرفت بیشتری داشته است (National Center for Drought and Crisis Management, 2018). مصرف ناکارآمد از منابع آب یکی از مشکلات پیش روی جهان است. این معضل در قرن بیست و یکم شکل جدیدتری به‌خود گرفته است به‌گونه‌ای که کمبود آب تهدیدی جدی برای طبیعت، کیفیت زندگی و عواملی مانند تقاضا و اقتصاد تلقی می‌شود (Hisdal & Kallaksen, 2003). کشاورزی به‌دلیل وابستگی شدید به منابع آبی، اولین بخشی است که تحت تأثیر خشکسالی قرار گرفته و در صورت تداوم، سایر بخش‌های مرتبط با آب نیز تحت تأثیر قرار خواهند گرفت. تهدید خشکسالی به‌لحاظ تأثیر زیاد بر رشد گیاهان باعث کاهش سطح زیر کشت و در نتیجه افزایش بسیاری از مشکلات اقتصادی، اجتماعی و سیاسی شده و پدیده‌ای پیچیده تلقی می‌شود که زندگی انسان را تهدید می‌کند (Chopra, 2006). در واقع در میان تنش‌های اقلیمی، خشکسالی یک بلای طبیعی است که به‌کندی رخ می‌دهد و با عوامل اقتصادی، زیست‌محیطی، سیاسی و اجتماعی در تعامل است (Rockstrom, 2003).

میانگین بارندگی سالانه در جهان ۸۱۳ میلی‌متر است (Suryavanshi *et al.*, 2021). خاورمیانه و ایران به‌ترتیب دارای میانگین ۲۱۷ و ۲۲۸ میلی‌متر هستند که کمتر از یک سوم میانگین جهانی است (Salmani Sabzevar *et al.*, 2021). موقعیت خاص اقلیمی ایران که خشکی و توزیع نامناسب زمانی و مکانی بارندگی واقعیت اجتناب ناپذیر آن است، هرگونه تولید مواد غذایی و کشاورزی پایدار را مشروط به استفاده درست و منطقی از منابع محدود آبی کشور نموده است. در این راستا می‌توان گفت که آب آبیاری مهم‌ترین نهاده کشاورزی کشور است. از مجموع مساحت ۱۶۵ میلیون هکتاری کشور حدود ۲۳ میلیون هکتار معادل ۱۴ درصد آن مستعد فعالیت‌های کشاورزی است. از این مقدار حدود ۱۲ میلیون هکتار در چرخه تولید محصولات کشاورزی قرار دارد که ۵۱/۸ درصد آن اراضی با کشت آبی و ۴۸/۲ درصد اراضی با کشت دیم بوده است. تقریباً ۹۱ درصد محصولات کشاورزی کشور از ۶/۱ میلیون هکتار اراضی آبی تولید می‌شود (Ministry of Agriculture Jihad, 2018).

مدیریت مصرف آب نقش کلیدی در افزایش تولید محصولات زراعی در جهت رسیدن به کشاورزی پایدار دارد. در اکثر نقاط جهان، آب عامل محدودکننده تولید محصولات کشاورزی است. استفاده بهینه از آب دارای اهمیت بسزایی است، بخصوص در مناطقی که شرایط اقلیمی خشک و نیمه خشک بر آن حاکم است که حدود دوسوم ایران را در بر می‌گیرد. اقتصاد و مدیریت منابع آب ایجاب می‌کند که از هر واحد حجم آب حداکثر بهره‌برداری صورت گیرد. در چنین شرایطی که کمبود آب آبیاری وجود دارد، اطلاع از واکنش گیاهان به کم‌آبی از اهمیت بسزایی برخوردار است (Ministry of Agriculture Jihad, 2016). با توجه به شرایط اقلیمی و انسانی ایران و وقوع خشکسالی، ساماندهی منابع آب و بهینه‌سازی مصرف در تامین نیاز آبی جامعه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از سوی دیگر مکانیزاسیون کشاورزی به عنوان تسریع کننده و افزاینده تولید محصلات کشاورزی، می‌تواند در شرایط بحران کم آبی نقش مهمی داشته باشد. در این مقاله سعی شده است تا نقش مکانیزاسیون کشاورزی در کنترل و پیشگیری از بحران

کم آبی بررسی شود.

۲- سیستم‌های کشاورزی

۲-۱- کشاورزی و توسعه پایدار

رایج‌ترین تعریف توسعه پایدار، تعریفی است که توسط کمیسیون جهانی محیط زیست و توسعه ارائه شده است: توسعه‌ای پایدار است که نیازهای نسل کنونی را بدون به خطر انداختن توانایی نسل‌های آینده برای برآوردن نیازهایشان برآورده می‌کند (Khatoon Abadi, 2006). شالر[۱] معتقد است کشاورزی پایدار تولید غذای سالم و فراوان از طریق بهره‌برداری، حفظ و نگهداری آب، خاک و محیط زیست است. تعریف دیگر کشاورزی پایدار، توسعه فناوری و عملیات کشاورزی است که می‌تواند بقای آب و خاک را تضمین کند، اصلاح نژاد دام و نباتات و عملیات کشاورزی پیشرفته که فعالیت‌های بیوتکنولوژیکی را تسهیل نموده و مصرف مواد شیمیایی را کاهش می‌دهد (Hamilton, 1990). در ایران تهدیدهای زیست محیطی به‌ویژه کمبود آب، شرایط نامناسب زمین‌های زراعی، مشکلات اقتصادی، عدم توسعه مناسب بخش کشاورزی نسبت به سایر بخش‌های اقتصادی، فرسودگی و ناکافی بودن ناوگان مکانیزاسیون با شرایط کشور از مهم‌ترین مشکلات پیش روی توسعه کشاورزی محسوب می‌شود.

۲-۲- طرح‌های کشاورزی در راستای کاهش خسارات خشکسالی

در بخش کشاورزی، حفاظت از آب و خاک موضوع اصلی مدیریت خشکسالی و به حداقل رساندن خسارت آن است. راهبرد آمادگی برای مقابله با خشکسالی باید رویکردی جامع، مستمر و یکپارچه در همه سطوح به‌منظور توانمندسازی کشاورزان به‌منظور به حداقل رساندن خسارات در سیستم‌های کشاورزی آبی و دیم، دام و اکوسیستم‌های طبیعی ارائه دهد. راهبرد به حداقل رساندن خسارات خشکسالی در کشت آبی، بهره‌وری و استفاده موثر از آب و اقدام برای حفاظت از آب و خاک است (Heidari Sharifabad, 2008). از جمله راهکارها برای صرفه‌جویی در مصرف آب شامل ارتقا کارایی مصرف آب[۲] از طریق روش‌های نوین آبیاری، آگاهی از مراحل حساس گیاه به تنش آبی، مدیریت زمان و مقدار آب آبیاری است (Ministry of Agriculture Jihad, 2016). کارایی مصرف آب عبارت است از نسبت آب مصرفی موثر برای آبیاری محصولات (آب مصرف شده توسط گیاه) و آب ورودی به طرح آبیاری. این اصطلاح اتلاف موثر آب را توصیف می‌کند که در حین انتقال در سیستم، از طریق کانال‌های توزیع و همچنین در مزارع رخ می‌دهد. به عبارت دیگر، تمام آب برداشت شده به منطقه ریشه گیاهان نمی‌رسد، زیرا بخشی از آن در حین انتقال و در مزارع از بین می‌رود. دلایل این هدررفت آب از طریق انتقال متعدد است که می‌تواند ناشی از تبخیر و تعرق، نفوذ عمیق به لایه‌های زیرین خاک، بوته‌ها و علف‌های هرز، رواناب، نشت و ترک‌خوردگی کانال‌ها، سازه‌های هیدرولیکی فرسوده و ... باشد. برخی از دلایل را می‌توان به طور موثر با اقدامات بهره‌وری مصرف آب مانند تعمیر و نگهداری سازه‌های هیدرولیکی، پوشش و پروفیل کانال‌ها یا کنترل تامین آب برطرف کرد. علاوه بر این، اگر کشاورزان اقدامات پیشگیرانه را انجام ندهند، تلفات آب قابل توجهی در مزرعه رخ می‌دهد. رواناب سطحی و نفوذ عمیق به لایه‌های خاک زیر ناحیه ریشه رایج‌ترین شکل تلفات آب در مزرعه است (Salman *et al.*, 2019). در جهت نیل به این اهداف برنامه‌های تحقیقاتی به‌شرح زیر می‌باشد:

- بهینه‌سازی روش‌های آبیاری سطحی
- تعیین ضریب حساسیت به کم‌آبی در مراحل مختلف رشد گیاه
- استفاده از روش‌های نوین آبیاری و مدیریت آنها
- توسعه نظام‌های زراعی جدید همانند کشاورزی حفاظتی و ...
- بررسی فنی و اقتصادی روش‌های مختلف آبیاری گیاهان بر حسب پتانسیل و شرایط جغرافیایی و اجتماعی موجود در هر منطقه
- تعیین آب مورد نیاز ارقام جدید یا در دست معرفی محصولات زراعی
- مطالعه و شناسایی علل و عوامل شور شدن، ماندابی شدن و زهدار شدن اراضی تحت کشت
- تعیین تابع تولید و تابع هزینه محصولات زراعی بر اساس مقدار آب مصرفی؛
- بررسی چگونگی استفاده از آب‌های نامتعارف (آب‌های شور، آب زهکش‌ها و پساب‌های خانگی) در زراعت گیاهان.

با توجه به سیستم تولید، استفاده از گیاهان مقاوم به خشکی، روش‌های کشت مناسب، روش‌های موثر مصرف آب، افزایش عملکرد و کیفیت محصول، کاهش تلفات پس از برداشت باید مورد تأکید قرار گیرد. آبیاری و زهکشی مکانیکی، ماشین‌آلات کشاورزی خشکه کار و سمپاشی مکانیکی می‌تواند به‌طور موثر خطراتی مانند خشکسالی، سیل، علف‌های هرز و حشرات را کاهش دهد (Berdnikova, 2018). براساس تحقیقات انجام شده، یکی از بیوتکنولوژی‌های نگهداری آب در خاک، استفاده از پلیمرهای سوپر جاذب (زیست بسپار) است. این پلیمرها گروهی از بهسازها هستند که می‌توانند آب حاصل از آبیاری یا بارندگی را جذب کرده و از فرونشت عمیق آن جلوگیری کنند (Bandak *et al.*, 2018). در پژوهشی Campbell *et al.* (2011) راهبردهای مقابله کشاورزان جاماییکایی با خشکسالی را به چهار مرحله زیر تقسیم نمودند: راهبرد اول روش‌های مورد استفاده در هنگام کاشت شامل کاشت محصولات مقاوم به خشکی، کاشت زودرس، کاشت محصولات چند منظوره، کاهش سطح زیر کشت و اجتناب از کاشت در زمان خشکسالی است؛ راهبرد دوم تکنیک‌هایی است که برای حفظ

[۱] Shaller

[۲] Water use efficiency

رطوبت استفاده می‌شود، مانند استفاده از مالچ[1] آبیاری قطره‌ای[2] و تنظیم دوره آبیاری؛ راهبرد سوم که در زمان خشکسالی استفاده می‌شود شامل خرید آب، تقسیم آب، استفاده از کودهای گیاهی و دفن بخشی از محصول برای جذب آب است. راهبرد چهارم که برای جبران خشکسالی استفاده می‌شود شامل جستجوی کار غیرکشاورزی، کار کردن بر روی مزارع دیگران، مهاجرت موقت و فروش دام است.

۲-۳- جایگاه مکانیزاسیون در کشاورزی پایدار

امروزه بحث توسعه مکانیزاسیون کشاورزی به بحث بهبود تکنیک‌های کشاورزی و کمک به آنها در بهبود پایداری کل سیستم کشاورزی تبدیل شده است (Mrema *et al.*, 2014). در کشاورزی نوین برای ایجاد یک سیستم بهره‌برداری موثر باید رابطه طبیعت، انسان و ماشین مورد توجه قرار گیرد. استفاده بهینه و پایدار از ظرفیت‌های بالقوه منابع آب و خاک و استفاده بهینه از ماشین‌آلات در عملیات مختلف کشاورزی ضروری است (Almassi *et al.*, 2006). انسان در امور کشاورزی باید به‌عنوان کنترل‌کننده‌ی نیرو ظاهر شود و نقش عامل انسانی در حوزه تفکر، برنامه‌ریزی و مدیریت می‌باشد. مکانیزاسیون کشاورزی سیستمی است که با مدیریت صحیح می‌تواند تغییرات اساسی در کشاورزی یک جامعه ایجاد کند. استفاده از ماشین‌آلات و تسلط بر منابع نیرو به معنای مکانیزاسیون کشاورزی نیست و مکانیزاسیون کشاورزی در سطح بهینه را نباید توسعه فعالیت‌های سرمایه‌بر و حذف فعالیت‌های کارگربر دانست. بر اساس تحقیقات انجام شده، ۶۰ تا ۸۰ درصد نیروی محرکه کشاورزی مدرن مربوط به علم و فناوری است. بنابراین توسعه مکانیزاسیون کشاورزی با هدف افزایش تولید و کاهش هزینه‌ها امری اجتناب ناپذیر است. رویکردهای اصلی توسعه مکانیزاسیون کشاورزی عبارتند از (Ministry of Agriculture Jihad, 2016):

- توسعه مکانیزاسیون کشاورزی بر اساس توسعه پایدار بخش و در راستای تولید پایدار و حفظ منابع پایه آب و خاک؛
- توسعه مکانیزاسیون کشاورزی با توجه به اقلیم کشور به‌منظور کاهش اثرات خشکسالی، سرمازدگی و...؛
- توسعه مکانیزاسیون کشاورزی بر اساس روش‌های نوین و اولویت‌های تولیدی بخش؛
- توسعه مکانیزاسیون متناسب با شرایط اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی بهره‌برداران؛

از دهه آخر قرن بیستم، پیچیدگی رابطه بین کشاورزی، صنعت و محیط زیست به‌علت تفکر یک سویه نگر و فن‌گرایی متمرکز دچار بحران‌های متعددی شد که سرآغاز بازنگری در فلسفه و استراتژی توسعه کشاورزی بود. بر اساس فلسفه چند سویه نگر یا سیستمی، دامنه نظام کشاورزی فراتر از مرزهای مزرعه و در گستره‌ای به نام محیط زیست قرار دارد. کاهش مصرف فرآورده‌های شیمیایی و جایگزینی آنها با روش‌ها و فناوری‌های بیولوژیکی به‌منظور جلوگیری از آلودگی و مسمومیت منابع آب و خاک از پیامدهای این نگرش جدید بود (Khatoon Abadi, 2006). بحث مکانیزاسیون نیز از این قضیه مستثنی نیست. به‌عنوان مثال در عملیات خاک‌ورزی باید به عواملی مانند نحوه به‌هم زدن خاک، زمان و رطوبت مناسب آن توجه کرد که می‌تواند در نرمی و تخلخل خاک موثر باشد. ساختار خاک تقریباً در تمام خصوصیات فیزیکی آن موثر است و برای تغییر هر یک از این ویژگی‌های فیزیکی باید ساختار خاک را تغییر داد که مانند یک شمشیر دولبه است و می‌تواند منجر به نتایج مخربی شود. مثلاً هنگام شخم زدن زمین در رطوبت بالا، مقداری از رطوبت موجود در خاکدانه‌ها آزاد می‌شود، نیروی مکش آب کاهش می‌یابد، فشار مکانیکی ادوات کشاورزی خاکدانه‌ها را می‌شکند و شرایط را برای گل و لای فراهم می‌کند. کمبود رطوبت لازم برای شخم زدن و جابجایی تراکتور نیز مشکل ایجاد می‌کند و رطوبت بیش از حد کار را با مشکل مواجه می‌کند و باعث ایجاد کلوخه‌های زیادی در سطح خاک می‌شود که نیاز به استفاده از چندین بار دیسک برای نرم شدن آنها است. پس از پودر شدن خاک از اولین بارندگی سطح خاک سله می‌بندد و یا خاک در اثر جریان‌های آب و باد فرسایش می‌یابد. در اثر تردد بیش از حد تراکتور و ادوات کشاورزی، خاک مزرعه متراکم شده و با تشکیل لایه‌ی سخت زیرین، تهویه و نفوذپذیری آن کاهش یافته و عملکرد محصول افت می‌کند (Gharibi Asl, 2006). امروزه ماشین‌های مدرن (کمبینات‌ها) به‌منظور کاهش این اثرات مخرب چندین عملیات مختلف را همزمان انجام می‌دهند تا از حجم تردد ماشین کاسته شود. همچنین از روش‌های کشاورزی دقیق برای کاهش مصرف نهاده‌های مضر مانند سموم یا کودهای شیمیایی استفاده می‌شود.

کشاورزی متعارف با استفاده از فناوری‌های نوین و با تکیه بر منابع طبیعی ارزان قیمت پیشرفت‌های شگرفی در زمینه تأمین مواد غذایی در جهان داشته است. متاسفانه در برخی موارد این دستاوردها از نظر مشکلات زیست‌محیطی بهای گزافی را به همراه داشته و پیامدهایی مانند فرسایش خاک، تغییر اقلیم، آلودگی آب، خاک و هوا و کاهش تنوع زیستی را در پی داشته است (Omani & Chizari, 2006). مطالعات ثابت کرده است که کشاورزی متعارف به ساختار، بافت خاک و محیط زیست آسیب می‌رساند، تنوع اکولوژیکی را از بین می‌برد، خطراتی را در سلامت مواد غذایی ایجاد می‌کند، تعادل در طبیعت را به هم می‌زند، هزینه‌های تولید را افزایش می‌دهد و ظرفیت تولید را کاهش می‌دهد (Manafi Mollayosefi, 2017). بنابراین برای رهایی از بحران‌های به‌وجود آمده باید مدیریت مزارع متعارف بازنگری شود و سیستم جدیدی طراحی شود که هدف آن پایداری بلندمدت با حفظ سطح تولید در کوتاه‌مدت است. در این راستا راهبرد توسعه پایدار کشاورزی می‌تواند پاسخی مناسب برای حل مشکلات زیست‌محیطی کنونی در این زمینه باشد. زیرا هدف کشاورزی پایدار ایجاد سیستم‌های

[1] Mulch

[2] Drip Irrigation

تولید کشاورزی با دوام، سیستماتیک و انسانی است که با منافع زیست‌محیطی و اقتصادی- اجتماعی منافاتی نداشته باشد و اساساً بر ظرفیت حفظ باروری در کنار تداوم بقای منابع پایه تأکید دارد (Motiei Langroudi *et al.*, 2010). کارشناسان بر این باورند که توسعه پایدار کشاورزی مستلزم برنامه‌ای بلندمدت مبتنی بر چشم‌اندازهای جامع و همه‌جانبه است که بتواند محیط زیست را از پیامدهای ناخوشایند حفظ نماید و محصولات غذایی سالم تولید کند.

۲-۴- توسعه کشاورزی حفاظتی در راستای حفظ منابع پایه

به دنبال موضوع فرسایش بادی و آبی خاک، کاهش مواد آلی خاک به چالش دیگری برای کشاورزی تبدیل شده است. میزان مواد آلی در اکثر مناطق کشور زیر یک درصد است که این امر می‌تواند پیامدهای منفی زیادی برای کشاورزی پایدار داشته باشد. خاک اغلب در آب و هوای خشک محتوای آلی کمی دارد. بنابراین افزودن مواد آلی به خاصیت محدودکننده این خاک‌ها پاسخ می‌دهد و می‌توان انتظار داشت که کیفیت فیزیکی خاک به میزان قابل توجهی بهبود یابد. تغییر خواص هیدرولیکی با بهبود تجمع خاک همراه است. اجزای کربن آلی ذره‌ای و ناپایدار به مدیریت‌هایی مانند کوددهی آلی، خاک‌ورزی و بهبود فعالیت میکروبی پاسخ می‌دهند و به طور مستقیم و غیرمستقیم بر تجمع خاک تأثیر می‌گذارند (Bronick & Lal, 2005). به‌منظور حفاظت از منابع پایه آب و خاک در تولید کشاورزی، استفاده از سیستم‌های کشاورزی حفاظتی پیشنهاد می‌شود. کاربرد روش‌های نوین حفاظتی در عملیات کشاورزی اهداف کاهش تبخیر سطحی، حفظ و ذخیره رطوبت، کاهش فرسایش بادی و آبی خاک، افزایش بازده مصرف آب، افزایش مواد آلی خاک و بهبود بافت خاک، بهبود شرایط رشد ریشه گیاه، مدیریت مصرف انرژی و زمان در عملیات خاک‌ورزی و کاشت، کاهش هزینه‌های تولید و افزایش سود خالص بخش کشاورزی و در نهایت تولید پایدار و اقتصادی محصولات کشاورزی را فراهم می‌کند. کشاورزی حفاظتی مبتنی بر اصل مدیریت جمعی خاک، آب و سایر نهاده‌ها در فرآیند تولید است و ویژگی اصلی آن این است که در شرایط کشت مستمر، احیای خاک سریع‌تر از تخریب آن اتفاق می‌افتد. با توجه به موارد ذکر شده و با بروز مشکلاتی از جمله تغییر اقلیم و وقوع خشکسالی، کاهش منابع آبی، فرسایش خاک‌های زراعی و افزایش قیمت انرژی مصرفی، عدم اجرای به‌موقع عملیات آماده‌سازی زمین و کاشت محصول و در نتیجه افت عملکرد، کاهش حاصلخیزی خاک و افزایش هزینه‌های تولید، استفاده از سیستم کشاورزی حفاظتی به‌منظور رفع مشکلات و بهره‌مندی از سایر مزایای آن ضروری به نظر می‌رسد (Samqani, 2019). خاک‌ورزی حفاظتی همراه با مدیریت بقایای گیاهی و تناوب زراعی از ارکان کشاورزی حفاظتی هستند. در خاک‌ورزی حفاظتی به‌هم خوردن خاک به حداقل می‌رسد و عملیات برگردان خاک انجام نمی‌شود. حداقل ۳۰ درصد از بقایای گیاهی پس از کاشت محصول در سطح خاک نگهداری می‌شود تا فرسایش کاهش یابد و مواد آلی خاک حفظ شود و در نتیجه سبب بهبود پایداری ساختار خاک گردد (Den putts *et al.*, 2010). در تحقیقی که در مورد تاثیر سیستم‌های خاک‌ورزی و کم‌آبیاری بر عملکرد و بهره‌وری آب چغندرقند انجام دادند (Heidari & Ghadami Firouzabadi 2022)، به این نتیجه رسیدند که در روش خاک‌ورزی مرکب (گاوآهن چیزل با تیغه‌های پنجه غازی + غلطک) در پاییز و سپس سیکلوتیلر در بهار، سه تیماری که ۱۰۰، ۹۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه را تامین نمودند به ترتیب با میانگین بهره‌وری ۶/۱۱۳، ۶/۰۸۷ و ۵/۵۲۳ کیلوگرم به ازای یک متر مکعب مصرف آب، بیشترین اثر را بر افزایش بهره‌وری آب براساس شاخص عملکرد ریشه داشتند. نتیجه حاکی از آن بود که به کمک این روش خاک‌ورزی و تامین ۸۰ درصد نیاز آبی چغندرقند بعد از استقرار گیاه می‌توان تقریباً ۱۲ درصد معادل ۱۲۰۷ مترمکعب در مصرف آب، بدون کاهش چشمگیر در بهره‌وری آب براساس شاخص عملکرد ریشه، صرفه‌جویی کرد. بی‌خاک‌ورزی در طولانی مدت نه تنها نسبت ریز منافذ (کمتر از ۱۰ میکرومتر) بلکه نسبت منافذ بزرگ (بیشتر از ۱۰۰۰ میکرومتر) خاک را افزایش می‌دهد که این عامل به شدت بر هدایت هیدرولیکی اشباع شده اثرگذار است (Kumar *et al.* 2012). یکی دیگر از روش‌های کنترل فرسایش بادی و آبی، استفاده از مالچ‌های آلی، غیرآلی و معدنی است که با مسدود نمودن منافذ و پوشاندن لایه سطحی خاک مانع تبادل آب و انرژی و کاهش تبخیر از خاک می‌شود (Ministry of Energy, 2020). مالچ‌پاشی پس از برداشت را در خاک چرنوزم[۱](خاک سیاه غنی از هوموس) در مرکز مجارستان با بارندگی سالانه ۵۸۰ میلی‌متر و دمای متوسط ۱۰ درجه سلسیوس مورد مطالعه قرار دادند. آنها ۱۱-۸ درصد بیشتر محتوای آب خاک را در عمق ۶۵-۰ سانتی‌متری برای خاک پوشیده از مالچ دست نخورده با پوشش ۶۵-۵۵ درصد در مقایسه با خاک معمولی بدون پوشش مالچ اندازه‌گیری کردند. این امر نشان‌دهنده کاهش تلفات تبخیر در طول ماه‌های تابستان بود (Kálmar *et al.* 2013).

۲-۵- گذر از کشاورزی سنتی به کشاورزی عمودی

برخی پژوهشگران دومین انقلاب سبز (از سال ۲۰۰۰ میلادی به بعد) را مربوط به کشاورزی شهری[۲]نامیده اند (Armanda et al., 2019). کشاورزی عمودی در فضای بسته می‌تواند با کاهش مسافت طی شده در زنجیره تامین، عملکرد محصول را افزایش دهد، بر مساحت محدود زمین غلبه کند و حتی اثرات زیست محیطی کشاورزی را کاهش دهد (Moragues-Faus and Battersby, 2021). کشاورزی عمودی داخل ساختمان را می‌توان به‌عنوان تمرین کشت محصولات روی هم در یک محیط بسته و کنترل شده تعریف کرد. با استفاده از قفسه‌های

[۱] Chernozem

[۲] Urban Agriculture

رشد که به صورت عمودی نصب می‌شوند، میزان فضای زمین مورد نیاز برای رشد گیاهان را در مقایسه با روش‌های سنتی کشاورزی به میزان قابل توجهی کاهش می‌دهد. این نوع رشد به‌دلیل توانایی آن برای رشد در فضای محدود اغلب با کشاورزی شهری همراه است. مزارع عمودی از این نظر منحصر به فرد هستند که برخی از سازه‌ها برای رشد گیاهان به خاک نیاز ندارند. بیشتر آنها یا هیدروپونیک (آب‌کشت) هستند، جایی که سبزیجات در یک کاسه آب پر از مواد مغذی رشد می‌کنند، یا ایروپونیک (هواکشت)، که در آن ریشه‌های گیاه به‌طور سیستماتیک با آب و مواد مغذی پاشیده می‌شوند و از چراغ‌های رشد مصنوعی به‌جای نور طبیعی خورشید استفاده می‌شود (Beacham *et al.*, 2019). رشد پایدار شهری برای به حداکثر رساندن عملکرد و در عین حال کاهش هزینه‌های نیروی کار، مزیت آشکار کشاورزی عمودی داخل ساختمان است. کشاورزی عمودی می‌تواند متغیرهایی مانند نور، رطوبت و آب را برای اندازه‌گیری‌های دقیق در طول سال کنترل کند و با برداشت‌های مطمئن، تولید غذا را افزایش دهد. کاهش مصرف آب و انرژی باعث صرفه‌جویی در مصرف انرژی می‌شود. مزارع عمودی تا ۷۰ درصد کمتر از مزارع سنتی آب مصرف می‌کنند. نیاز به نیروی کار نیز با استفاده از ربات‌ها برای مدیریت کاشت، برداشت و تدارکات کاهش می‌یابد و چالشی را که مزارع با کمبود نیروی کار فعلی در صنعت کشاورزی با آن مواجه هستند، حل می‌کند.

۳- مکانیزاسیون و بحران آب

امروزه مکانیزاسیون کشاورزی معنای بسیار گسترده‌ای دارد. این معنای گسترده شامل تولید، توزیع و استفاده از انواع ابزار، ماشین‌آلات و تجهیزات برای توسعه زمین‌های کشاورزی، کاشت، داشت، برداشت و فرآوری اولیه است (Akinbamowo, 2013). تکیه بر روش‌های سنتی در تولید محصولات کشاورزی برای توسعه پایدار باعث افزایش هدررفت نهاده‌ها، افزایش قیمت تمام شده محصول و مشکلات تامین نیروی کار می‌شود. به این ترتیب نمی‌توان انتظار تولید بیشتر با آب کمتر را داشت. بنابراین مکانیزه شدن تولیدات کشاورزی امری اجتناب ناپذیر است. دستیابی به تجهیزات جدید فناوری تولید محصولات کشاورزی می‌تواند از وابستگی کشاورزان به ماشین‌آلات کشاورزی معمولی با بازده کم و هزینه بالا جلوگیری کند. زیرا با توجه به شرایط کم‌آبی حاکم بر فعالیت‌های کشاورزی کشور، رواج روش‌های نوین تولید محصولات زراعی با استفاده از آب کم می‌تواند پاسخگوی مشکلات کشاورزی در مناطق خشک کشور باشد.

۳-۱- مطالعات بهره‌وری آبی

نقش نهاده‌های مکانیزاسیون کشاورزی در افزایش بهره‌وری مصرف آب در کشاورزی حیاتی است. یکی از رویکردهای مربوط به کمبود آب و نیروی کار کشاورزی از طریق ذره‌بین بهره‌وری است. به‌منظور در نظر گرفتن تولید محصولات آبی در یک زمان معین و یک منطقه جغرافیایی مشخص، بهره‌وری آب به‌عنوان خروجی فیزیکی یا مالی به ازای واحد ورودی آب اندازه‌گیری می‌شود. جهت افزایش بهره‌وری عوامل تولید در بخش کشاورزی ابتدا باید عامل یا عوامل کمیاب را شناسایی کرده و در ادامه برنامه‌ریزی و تحقیقات در جهت ارتقای بهره‌وری آن عامل یا عوامل کمیاب صورت گیرد (Ehsani & Khaledi, 2004).

سه شاخص عمده برای اندازه‌گیری بهره‌وری آب کشاورزی عبارتند از CPD[1]، BPD[2] و NBPD[3]. شاخص CPD میزان محصول تولید شده را نسبت به حجم آب مصرفی اندازه‌گیری می‌کند. بدیهی است که هر چه این نسبت بیشتر باشد نشان‌دهنده مصرف صحیح آب است، اما نمی‌تواند نشانگر سود اقتصادی بیشتر باشد. شاخص BPD میزان سود ناخالص به ازای واحد حجم آب مصرفی را اندازه‌گیری می‌کند. بر این اساس سیاست مصرف آب باید به‌گونه‌ای باشد که میزان سود ناخالص حاصل از واحد آب مصرفی افزایش یابد. اما در این روش هزینه تولید محصول در نظر گرفته نمی‌شود. بنابراین بهترین شاخص برای اندازه‌گیری بهره‌وری آب، استفاده از شاخص NBPD است که نه تنها میزان سود خالص به ازای واحد حجم آب مصرفی را تعیین می‌کند، بلکه این شاخص در برنامه‌ریزی الگو و ترکیب کشت در مناطق خشک بسیار حائز اهمیت است. زیرا به این ترتیب می‌توان منابع کمیاب آب را به محصولاتی اختصاص داد که با کمترین واحد مصرف آب بیشترین سود را نصیب بهره‌برداران کنند (Ehsani & Khaledi, 2004). در پژوهشی بهره‌وری نهاده‌های آبی در تولید نیشکر را مورد مطالعه قرار داد و به این نتیجه رسید که متغیرهایی نظیر عوامل مدیریتی و اجرایی، اقلیمی، برخی پارامترهای کمی و کیفی مربوط به گیاه، آب و خاک توانسته‌اند بر شاخص‌های CPD، BPD و NBPD به ترتیب به میزان ۲/۳۷ کیلوگرم بر متر مکعب، ۱۰۸۲/۷۱ تومان بر متر مکعب و ۵۲۸/۰۳ تومان بر متر مکعب تاثیر بگذارند (Monjezi, 2020).

مطالعات انجام شده توسط موسسه بین المللی مدیریت آب در مورد بهره‌وری آب در بیش از ۴۰ شبکه آبیاری در سراسر جهان نشان می‌دهد که ارزش تقریبی محصول در واحد آب مصرفی تقریباً ۱۰ برابر است. برخی کارشناسان بخشی از این تفاوت را ناشی از شرایط اقلیمی یا قیمت غلات نسبت به محصولات گرانتر می‌دانند. اما در میان اقلیم‌ها و محصولات مشابه، تفاوت‌های زیادی در بهره‌وری آب وجود دارد. این موضوع می‌تواند نشان‌دهنده شکست در عملکرد سیستم‌های آبیاری، شکست در روش‌های آبیاری، ضعف مدیریت آبیاری، برنامه‌ریزی ناکارآمد و ... باشد (Maroufi *et al.*, 2014). عمده‌ترین چالش‌های موجود در مسیر ارتقای بهره‌وری آب کشاورزی عبارتند از: مزارع کوچک کشاورزی، نبود شبکه‌های آبیاری مدرن، عدم تسطیح و

[1] Crop Per Drop
[2] Benfit Per Drop
[3] Net Benefit Per Drop

شکل‌دهی اراضی، عدم پوشش مناسب مخازن و کانال‌های آبیاری، نبود سیستم زهکشی مناسب، تخریب اراضی آبی، نبود مشوق‌های لازم برای انجام کارهای کشاورزی، وجود سیستم اعتباری نامناسب برای انجام کارهای آبیاری در سطح مزرعه، نبود مراکز آموزشی، تحقیقاتی و ترویجی موثر برای ارائه خدمات آبیاری تحت فشار و ثقلی، اولویت سدسازی برای تامین آب و برق شهری و صنعتی و غیره (Ministry of Agriculture Jihad, 2002).

سیستم‌های آبیاری کارآمد و شیوه‌های مدیریت آب می‌تواند به حفظ سودآوری مزرعه در منطقه‌ای با منابع آبی محدود و نیروی کار و هزینه بالا کمک کند. مدیریت کارآمد آب همچنین می‌تواند تأثیر منفی بر تولیدات آبی را به‌دلیل کیفیت آب یا اختلافات توزیع آب کاهش دهد. توسعه آبیاری می‌تواند بهره‌وری آب را افزایش دهد. هدف از بهره‌وری آب ایجاد برنامه‌هایی است که بر فناوری‌های مدیریت آب و خاک و همچنین فناوری‌های آبیاری نوین تمرکز دارد که می‌تواند برای بهبود بهره‌وری مواد غذایی و ایجاد درآمد بدون استفاده از آب و نیروی کار زیاد مورد استفاده قرار گیرد. این طرح‌ها شامل فناوری‌های برداشت و پمپاژ آب، سیستم‌های انتقال و توزیع آب، سیستم‌های مصرف آب به‌ویژه سیستم‌های آبیاری قطره‌ای و مکانیزه، مدیریت تبخیر و تعرق آب‌های سطحی، پیش‌بینی الگوی بارش، صرفه‌جویی در نیروی کار، فناوری‌های مدیریت خاک و سیستم‌های اطلاعات مدیریت مزرعه هستند. بحران شدید آب در ایران، یا به عبارتی ورشکستگی آب[1] کشور را در شرایط سختی قرار داده است. با توجه به این وضعیت، ایران نه تنها باید اقدامات بیشتری را در زمینه بهره‌وری آب انجام دهد، بلکه باید الگوی کشت خود را بر اساس نیاز آبی محصولات کشاورزی و منابع آبی موجود اصلاح کند و در صورت نیاز طرح «عدم کشاورزی» را در مناطق مورد نیاز اجرا کند (Emami *et al.*, 2018). طراحی و مدیریت صحیح آبیاری مستلزم آن است که نیازهای خالص و ناخالص آبیاری به طور دقیق برآورد شوند. نیاز خالص آبیاری (Irn) برای یک محصول بدون تنش آبی برای هر دوره زمانی را می‌توان از طریق فرمول (۱) تعیین کرد. همچنین نیاز ناخالص آبیاری (Irg) را می‌توان در صورتی تعیین نمود که بازده کاربرد مزرعه و بازده سیستم توزیع کانال مشخص باشد یا بتوان آن را تخمین زد. برای تعیین نیاز آبیاری ناخالص از فرمول (۲) استفاده می‌شود:

$$Irn = ETc - Pe - Gw - Wb \quad (۱)$$

$$Irg = \frac{Irn}{Ea \times Ec} \quad (۲)$$

که در آن، Irn نیاز خالص آبیاری برای یک محصول معین، ETc تبخیر و تعرق محصول یا استفاده از آب محصول در شرایط بدون تنش، Pe میزان بارش مؤثر، Gw سهم آب زیرزمینی، Wb آب ذخیره شده موجود در خاک در ابتدای دوره، Irg نیاز ناخالص آبیاری، Ea بازده نسبی کاربرد مزرعه، یا نسبت بین آبی که وارد منطقه ریشه می‌شود و در ناحیه ریشه باقی می‌ماند تا نیازهای محصول را برآورده کند و آبی که به مزرعه تحویل داده می‌شود، Ec بازده نسبی انتقال کانال یا نسبت آب تحویلی به مزرعه و آب ورودی به کانال آبیاری است (Salazar *et al.*, 1994). نیازهای آبیاری محصول معمولاً برحسب حجم در واحد زمان یا سرعت جریان بیان می‌شود. برنامه الگوی کشت با توجه به نوع کشت متناسب با شرایط اقلیمی هر منطقه، تضمین‌کننده پایداری تولیدات کشاورزی و موضوع امنیت غذایی است و این امر منجر به استفاده صحیح و منطقی از توانایی‌ها و استعدادهای هر منطقه می‌شود و در نهایت بهره‌وری و پایداری منابع طبیعی را افزایش می‌دهد. به‌عنوان مثال به‌دلیل مصرف بالای آب در کشت چغندرقند و یونجه، پایین بودن عملکرد تولید در هکتار و ارزش افزوده ناچیز، حذف کشت این محصولات و جایگزینی آنها با سایر محصولات معمولی مانند گندم، جو، ارزن و پنبه علاوه بر کاهش برداشت آب از سفره زیرزمینی نتایج اقتصادی بهتری را برای بهره‌برداران کشاورزی فراهم می‌کند. از دیگر اقداماتی که می‌توان برای بهینه‌سازی مصرف آب کشاورزی انجام داد، می‌توان به اصلاح ارقام غلات، جایگزینی محصولات زراعی و تغییر نوع کشت، ارتقای توسعه فرهنگی و افزایش آگاهی کشاورزان و کاهش هدر رفت آب اشاره کرد. جدول ۱ مقدار متوسط مصرف آب اقلام مهم کشاورزی در کشور را در مقایسه با مصرف جهانی نشان می‌دهد.

جدول ۱- مقایسه مصرف آب محصولات زراعی در ایران و جهان
(Maroufi *et al.*, 2014)

Table 1. Comparison of crop water consumption in Iran and the World

محصولات Crops	مصرف جهانی Global Consumption (m^3/ha)	مصرف در ایران Consumption in Iran (m^3/ha)
گندم Wheat	4500-6500	7200
صیفی‌جات Summer crops	7000-10500	17900
چغندرقند Sugar beet	5500-7500	10000-14000
برنج Rice	4500-7000	8000-10000
نیشکر Sugarcane	15000-17000	18000-20000
ذرت Corn	5000-8000	10000-12000

۳-۲- برآورد انرژی و هزینه آبیاری

یکی از راهبردهای بلندمدت برای توسعه منابع آبی کشور هزینه تأمین آب است. تعیین نرخ آب برای مصارف مختلف باید به‌گونه‌ای انجام شود تا نیازهای اولیه آب شرب و بهداشت مردم شهر و روستا به صورت ترجیحی تأمین شود و برای مصارف فراتر از آن و سایر مصارف با توجه

[1] Water bankruptcy

به تأمین منابع مالی و ایجاد تنوع، در مرحله اول هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری آب و در مراحل بعدی بازیابی هزینه‌های سرمایه‌گذاری پوشش داده شود (Safahen et al., 2016). تا سال ۱۳۹۸ حدود ۲/۲ میلیون هکتار از اراضی کشاورزی ایران با استفاده از روش‌های آبیاری تحت فشار از قبیل بارانی[1] قطره‌ای و سایر روش‌ها، تحت کشت آبی بوده‌اند. به‌طور کلی با برآورد ۸/۱ میلیون هکتار از اراضی فاریاب در کشور، حدود ۲۷ درصد اراضی آبی تحت پوشش سیستم‌های نوین آبیاری قرار دارد. اکثر این طرح‌ها، در اراضی خرده مالکی همراه با الگوی کشت چند محصولی اجرا شده و همچنان در حال توسعه می‌باشند (Anonymous, 2021). بازدیدهای میدانی و بررسی‌ها نشان می‌دهد که استفاده از سیستم‌های آبیاری تحت فشار در اراضی بزرگ مالکی، کشت و صنعت‌ها و موارد مشابه اغلب موفقیت‌آمیز بوده است و از سوی دیگر اجرای این روش‌ها به‌ویژه روش آبیاری بارانی، در اراضی خرده مالکی به‌عنوان وجه غالب مالکیت در کشور که تنوع کشت یکی از ویژگی‌های متمایز آنهاست، در بیشتر موارد با مشکلات یا عدم موفقیت مواجه شده است (Anonymous, 2021). نتایج برخی مطالعات انجام شده در دنیا نشان داد که سیستم آبیاری قطره‌ای آب را مستقیماً به ریشه گیاهان می‌رساند و تبخیر ناشی از سیستم آبیاری بارانی را کاهش می‌دهد. همچنین، آبیاری قطره‌ای با نصب صحیح می‌تواند تا ۸۰ درصد بیشتر از آبیاری سطحی در مصرف آب صرفه‌جویی کند و حتی می‌تواند به افزایش عملکرد محصول کمک کند. نتایج تحقیق نشان داد که اجرای روش آبیاری بارانی منجر به صرفه‌جویی ۱۶ تا ۷۰ درصدی در مصرف آب کشاورزی و افزایش عملکرد محصول بین ۳ تا ۵۷ درصد نسبت به روش آبیاری متداول شده است.

سیستم‌های آبیاری سطحی معمولاً بر اساس گرانش عمل نموده و نیازی به مصرف انرژی ندارند (Bundschuh & Chen, 2022)؛ اما از آنجا که سیستم‌های آبیاری تحت فشار اغلب نیاز به مصرف انرژی برای تامین فشار لازم دارند، در نتیجه بحث تامین انرژی این سیستم‌ها و به تبع آن هزینه‌های انرژی مصرفی آنها بسیار حائز اهمیت است. سازمان فائو روابط بین هزینه‌های انرژی سازه‌ها، ابعاد لوله‌ها، پمپ‌ها و روش برآورد هزینه‌های فصلی انرژی در سیستم‌های آبیاری را ارائه کرده و بر لزوم توجه به هزینه‌های انرژی در سیستم‌های هیدرولیکی نوین آبیاری تاکید کرده است (FAO, 1992). در پژوهشی بر نقش مشارکت سازمان‌های بهره‌برداری شبکه‌های آبیاری تحت فشار در کاهش هزینه‌های انرژی تاکید شده و بیان شده است که بهبود مدیریت بهره‌برداری، هزینه‌های مصرف انرژی را تا ۱۵ درصد کاهش می‌دهد (Prats *et al.*, 2011). در پژوهشی Nazari *et al.* (2016) شاخص‌های مصرف انرژی و هزینه انرژی را در انواع آبیاری کلاسیک و تحت فشار مقایسه کردند و به این نتیجه رسیدند که بیشترین میزان مصرف انرژی و هزینه انرژی متعلق به سیستم آبیاری کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک بوده است و پس از آن سیستم آبیاری قطره‌ای (سنترپیوت و نواری) و آبیاری موضعی به ترتیب بیشترین سهم را در مصرف انرژی و هزینه داشته‌اند.

۳-۳- بازده سیستم‌های آبیاری مدرن

سیستم‌های آبیاری تحت فشار باعث افزایش بازده مصرف آب می‌شوند. بر اساس بیشترین بازده ممکن، روش آبیاری قطره‌ای عملکرد بهتری نسبت به آبیاری بارانی دارد و هر دو در مقایسه با آبیاری سطحی حداکثر بازده بیشتری دارند. هرچند طراحی و مدیریت سیستم می‌تواند تاثیر زیادی در بازده مصرف آب داشته باشد. برای مثال، یک سیستم آبیاری غرقابی با استفاده از کنترل مرزها، یک سیستم آبیاری تحت فشار با استفاده از حرکت شعاعی یا خطی و یک سیستم آبیاری قطره‌ای، بسته به طراحی سیستم و توان مدیریتی می‌توانند به بازده یکسانی منجر شوند. البته مدیریت ضعیف سیستم‌های آبیاری تحت فشار نسبت به روش غرقابی آسیب‌پذیری کمتری دارد (Bundschuh & Chen, 2022).

۳-۴- تسطیح اراضی

تسطیح اراضی[2] فرآیندی است که طی آن، تسکین سطحی یک مزرعه به میزان مطلوبی تغییر می‌کند تا سطح مناسب‌تری برای استفاده بهینه از آب آبیاری فراهم شود. تسطیح زمین مستلزم جابجایی زیاد خاک است و بدون ماشین‌آلات خاص برای اهداف عملی در مقیاس بزرگ انجام نمی‌شود. تسطیح زمین فشرده‌ترین و پرهزینه‌ترین عملی است که در زمین‌های کشاورزی اعمال می‌شود. با توجه به سرمایه‌گذاری بالای مورد نیاز برای این فعالیت، تنها باید خاک‌های عمیق و حاصلخیز را برای تسطیح در نظر گرفت. برای این منظور زمین باید نسبتاً تراز باشد تا هزینه‌های ساخت و جابجایی خاک کاهش یابد در غیر این صورت با شیب زمین این هزینه‌ها تا حد زیادی افزایش می‌یابد. صاف کردن زمین (درجه‌بندی ناهموار) نسبت به تسطیح آن فشرده‌تر است و هزینه بسیار کمتری دارد که ممکن است منجر به بهبود قابل توجهی در توانایی آب برای پخش یکنواخت روی سطح شود (Salazar *et al.*, 1994). تسطیح اراضی یکی از مهم‌ترین عملیات مکانیزاسیونی است که توسط ماشین‌های کشاورزی انجام می‌شود و می‌تواند به طور موثری استفاده از منابع کشاورزی را بهبود بخشد و نیاز به مبارزه با علف‌های هرز و آفات را کاهش دهد (Peng *et al.*, 2022).

۳-۵- کاربرد فناوری ماشینی در شرایط بحران آبی

اختلالات در قالب عوامل کلان اقتصادی از یک سو و محدودیت‌های زیست محیطی از سوی دیگر به‌ویژه بحران آب، از مهم‌ترین عوامل شناسایی شده در کنار وضعیت ناوگان مکانیزاسیون کشاورزی ایران

---

[1] Spray

[2] Land levelling

است (Emami *et al.*, 2018). کشور می‌تواند با توجه به بحران آب، گام‌هایی برای حداکثر استفاده مولد از منابع با استفاده از فناوری کشاورزی دقیق بردارد (Bundschuh & Chen, 2014). ترویج فناوری‌های نوین آبیاری کشاورزی به‌عنوان یک اقدام مهم برای مقابله با کمبود آب شناخته شده است (Zhang *et al.*, 2019). تأثیر فناوری بر کشاورزی با اتوماسیون سیستم‌های آبیاری بهتر نشان داده می‌شود. این سیستم‌ها نحوه تامین آب به محصولات کشاورزی را متحول کرده و کارایی توزیع آب، کیفیت و کمیت تولیدات کشاورزی را بهبود بخشیده است. سیستم‌های آبیاری پیشرفته، آب را بدون اتلاف منابع، در مواقع مورد نیاز فراهم می‌کنند. به‌عنوان مثال، استفاده از دستگاه آبپاش اتوماتیک باعث صرفه‌جویی در زمان می‌شود و همچنین به صرفه‌جویی در مصرف آب کمک می‌کند زیرا سیستم حسگر باران آن، مقدار دقیق آب مورد نیاز برای آبیاری را تامین می‌کند. دقت فناوری‌های نوین امکان توزیع کارآمدتر آب و عملکرد بهتر محصول را فراهم می‌کند.

نظارت از راه دور محصولات زراعی با استفاده از حسگرهایی مانند هواپیماهای بدون سرنشین و ماهواره‌ها به‌طور فزاینده‌ای محبوب شده است. یکی دیگر از پیشرفت‌های مهم در کشاورزی استفاده از هوش مصنوعی است. تجهیزات و ابزارهای مدرن مبتنی بر هوش مصنوعی امکان جمع‌آوری داده‌ها و کمک به کشاورزی دقیق و تصمیم‌گیری آگاهانه را فراهم می‌کند. این دستگاه‌های پیشرفته و سیستم‌های کشاورزی دقیق و رباتیک مزارع را قادر می‌سازد علاوه بر افزایش بهره‌وری، ایمن و سازگار با محیط زیست باشند. یکی از روش‌های در نظر گرفته شده برای کاهش مصرف آب و استفاده بهینه از منابع جاری، تجارت آب مجازی[1]است. تجارت آب مجازی می‌تواند از دو دیدگاه جداگانه "تولید" و "مصرف" بررسی شود. نخستین دیدگاه، مقدار آبی را که در فرآیند تولید هر کالا یا محصول در مکان تولید آن استفاده می‌شود، مبنای محاسبه قرار می‌دهد که به آن خاص مکانی تولید[2] گفته می‌شود. این دیدگاه ناظر بر مکان و زمان تولید و مقادیر آب محلی است که در فرآیند تولید کالا یا محصول به کار برده شده است. دیدگاه مصرف، ناظر بر مکان مصرف کالا یا محصول است که مبنای محاسبه را بر مقدار آب مورد نیاز برای تولید کالا یا محصول در مکان مصرف قرار می‌دهد و به آن خاص مکانی مصرف[3]گفته می‌شود. این دیدگاه ناظر بر مکان و زمان تولید و مقدار آبی است که با واردات یک کالا یا محصول به کشور صرفه‌جویی می‌شود. بنابراین دیدگاه دوم زمینه‌ساز ذخیره آب در داخل کشور از طریق واردات یک کالای تجاری یا محصول استراتژیک به جای تولید داخلی آن است و می‌تواند تاثیرات تجارت مجازی آب را بر بیلان آبی کشور بهتر نشان دهد (Anonymous, 2018).

آب مجازی مقدار و حجم آب موجود در مواد غذایی و محصولاتی است که برای تولید آنها استفاده می‌شود (Safahen *et al.*, 2016). برای مثال در بخش کشاورزی برای تولید یک کیلوگرم غلات به‌طور متوسط نیاز به مصرف ۱ الی ۲ مترمکعب آب است. از آنجا که آب به شکل‌های مختلف و به مقدار زیاد در بخش کشاورزی هدر می‌رود اگر بتوان با استفاده مناسب از مفهوم آب مجازی فقط یک درصد تلفات را کاهش داد، در این صورت از احداث سد و هزینه‌هایی که صرف ساخت بدنه سد خواهد شد، جلوگیری می‌شود (Rajabi Hashjin & Arab, 2006). در پژوهشی به‌منظور اصلاح و بازسازی مدیریت و مصرف بهینه آب در فرآیندهای کشاورزی استان مازندران به این نتیجه رسیدند که براساس نظر ۴۵/۵ درصد از کارشناسان، استفاده از مکانیزاسیون کشاورزی و روش‌های مدرن آبیاری، اصلاح قوانین و جلوگیری از تخلفات قانونی به‌عنوان الزامات ضروری در مدیریت مصرف آب معرفی شده است. از سوی دیگر، ۶۹/۶ درصد از کارشناسان عدم انتخاب الگوی کشت مناسب با اقلیم هر منطقه را چالش اساسی مدیریت و مصرف بهینه آب در فرآیندهای کشاورزی دانستند (Shafiee *et al.*, 2020).

۴- نتیجه‌گیری

بحران کم آبی و پیامدهای آن، کشاورزی در مناطق خشک را به‌طور جدی تهدید می‌کند، به‌گونه‌ای که به‌دلیل کاهش میزان بارندگی، ذخایر آبی پیوسته در حال کاهش بوده و آثار زیانبار آن بیشتر نمایان می‌شود. خطرات و خسارات شدید خشکسالی با برنامه‌ریزی صحیح و استفاده از روش‌ها و ابعاد جدید مدیریتی قابل کنترل و پیشگیری است. فناوری‌های نوین در مکانیزاسیون کشاورزی همگام با سیستم‌های پیشرفته کشاورزی می‌تواند در کنترل عواقب و کاهش خسارات خشکسالی کمک‌کننده باشد. از طرفی دولت می‌تواند با حمایت از طرح‌های اجرایی سودمند کشاورزان را به سرمایه‌گذاری روی ماشین‌های مختلف برای استفاده طولانی‌مدت ترغیب نماید. علاوه بر این، آموزش کشاورزان در مورد مکانیزاسیون می‌تواند برای بحران آب مفید باشد. هر چند پدیده خشکسالی امری نگران‌کننده است اما استمرار آن در شرایط فعلی می‌تواند منجر به ایجاد شرکت‌هایی برای تحقیق و توسعه بهره‌وری آب و سیستم‌های نظارت بر رطوبت نیز گردد.

۵- سپاس‌گزاری

نویسندگان مقاله حاضر مراتب سپاس و قدردانی خود را از دانشگاه شهید چمران اهواز برای حمایت‌های مادی و معنوی جهت انجام این پژوهش اعلام می‌نمایند.

1 Virtual Water Trade
2 Production Site Specific
3 Consumption Site Specific

منابع

Akinbamowo, R.O. (2013). *A review of government policy on agricultural mechanization in Nigeria*. Journal of Agricultural Extension and Rural Development. 5(8): 146–53.

Alam, Kh. (2015). *Farmers' adaptation to water scarcity in drought-prone environments: A case study of Rajshahi District, Bangladesh.* Agricultural Water Management. 148: 196–206.

Almassi, M., Kiani, Sh., and Loveimi, N. (2006). *Principles of agricultural mechanization.* 3rd edition. Hazrate Masoumeh Publications Institute, 248 pp. (In Persian).

Anonymous. (2018). *A guide on how to connect the country's water resources with virtual water trade.* Regulation on Executive Standards of Civil Projects. Planning and Budget Organization. (In Persian).

Anonymous. (2021). *Report of the fourth meeting of pressurized irrigation systems in smallholder lands (challenges and solutions).* National Committee on Irrigation and Drainage of Iran, Department of Development and Management of Irrigation Systems. (In Persian).

Azimi Dezfuli, A.A. (2020). *An Introduction to Agricultural Water Accounting by Estimating Crop Water Consumption.* Journal of Water and Sustainable Development. 6 (3): 31–40. (In Persian).

Bandak, C., Movahedi Naeini, S.A.R., and Zeinali, A. (2018). *Some soil physical properties and wheat root growth influenced by superabsorbent 200A polymer*. Journal of Soil Management and Sustainable Production. 8(2): 101–115. (In Persian).

Beacham A., Vickers L., Monaghan J. (2019), Vertical farming: A summary of approaches to growing skywards. The Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 94(3): 277–283, https://doi.org/10.1080/14620316.2019.1574214

Berdnikova, L.N. (2018). *The Safety of Working with the Equipment for Protecting Plants from Pests and Diseases Processing by Toxic Chemicals on Experimental Plots.* Bull. KSAU. 1, 114–120.

Bronick, C.J., and Lal, R. (2005). *Soil structure and management: a review*. Geoderma. 124(1–2): 3–22.

Bundschuh J., Chen G. (2014). *Sustainable Energy Solutions in Agriculture (Sustainable Energy Developments).* 1st Edition. CRC Press, 496 Pages

Campbell, D., Barker, D., and McGregor, D. (2011). *Dealing with Drought Small Farmers and Environmental Hazards in Southern St. Elizabeth Jamaica*. Applied Geography. 31: 146–158.

Chopra, P. (2006). *Drought Risk Assessment Using Remote Sensing and GIS: A case study of Gujarat.* M.Sc. Thesis, International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation (ITC), University of Twente, Enschede, Netherlands.

Den putts, A.V., Govers G., Diels J., Gillijns K., and Demuzere M. (2010). *Assessing the effect of soil tillage on crop growth: A meta regression analysis on European crop yield under conservation agriculture.* European Journal of Agronomy. 33: 231–241.

Ehsani, M., and Khaledi, H. (2004). *Identifying and improving agricultural water productivity in order to provide water and food security in the country.* 11th Conference of National Committee on Irrigation and Drainage of Iran. 657–674. (In Persian).

Emami, M., Almassi, M., Bakhoda, H., and Kalantari, I. (2018). *Agricultural mechanization, a key to food security in developing countries: strategy formulating for Iran.* Agriculture and Food Security. 7(24): 1–12.

FAO. (1992). *Small-scale pumped irrigation-energy and cost. Water Resources.* Development and Management Service.

Fischer, G., Shah, M., Tubiello, F.N., and Van Velhuizen, H. (2005). *Socio-economic and climate change impacts on agriculture: An integrated assessment, 1990–2080.* Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences. 360(1463): 2067–2083.

Gharibi Asl, S. (2006). *Agricultural mechanization (study and research of fundamental indicators in planning for mechanization development).* Mahde Tamadon Publications, Ardabil. 112 pp. (In Persian).

Haden, V.R., Niles, M.T., Lubell, M., Perlman, J., and Jackson, L.E. (2012). *Global and local concerns: What attitudes and beliefs motivate farmers to mitigate and adapt to climate change?*. Plos One. 7(12), e52882.

Hamilton, N. D. (1990). *The role of law in promoting sustainable agriculture.* Journal of Sustainable Agriculture. 1 (2): 111–129.

Heidari, A., and Ghadami Firouzabadi, A. (2022). *Effect of Different Tillage Systems and Deficit Irrigation on Yield and Water Use Efficiency of Sugar Beet*. Journal of Agricultural Machinery. 12(2): 219–229. (In Persian).

Heidari Sharifabad, H. (2008). *Drought damage reduction strategies in the agricultural sector.* 10th Iranian Congress of Agricultural Sciences and Plant Breeding. Karaj. 47–62. (In Persian).

Hisdal, H., and Kallaksen, L.M. (2003). *Estimation of regional meteorological and hydrological drought characteristics: a case study for Denmark.* Journal of Hydrology. 281: 230–247.

Kalmár, T., Bottlik, L., Kisić, I., Gyuricza, C., and Birkás, M. (2013). *Soil protecting effect of the surface cover in extreme summer periods*. Plant, Soil and Environment. 59(9): 404–409.

Khatoon Abadi, A. (2006). *Aspects of sustainable development (from thought to action).* First edition. Academic Center of Education, Culture and Research, Isfahan University of Technology, Isfahan. 358 pages. (In Persian).

Kumar, S., Kadono, A., Lal, R., and Dick, W. (2012). *Long-Term Tillage and Crop Rotations for 47–49 Years Influences Hydrological Properties of Two Soils in Ohio.* Soil Science Society of America Journal. 76(6): 2195–2207.

Manafi Mollayousefi, M. (2017). *Evaluation of Natural Resource and Agricultural Sustainability Using Composite Indicators in East Azerbaijan Province.* Ph. D. Thesis, Agricultural Economics- Natural Resources Economics, University of Tabriz, Tabriz. (In Persian).

Moragues-Faus A., Battersby J. (2021). Urban food policies for a sustainable and just future: Concepts and tools for a renewed agenda, Food Policy, 103, 102124.

Maroufi, A., Rasouli Azar, S., and Rezaee, A. (2014). *Analysis of Agricultural Water Resources Management Crisis in Iran.* 1st National Conference on Water, Man, Earth. Isfahan Tourism Developers Company, Isfahan. (In Persian).

Bundschuh, J., and Chen, G. (2022). *Sustainable energy solutions in agriculture (sustainable energy development).* Mesri Gundoshmian, T., Maysami, M.A., and Mirzazadeh, A. First Edition. University of Mohaghegh Ardabili. 636 pages. (In Persian).

Ministry of Agriculture Jihad. (2002). *Draft 10-year plan for development of irrigation networks and equipping and renovation of lands.* General Directorate of Irrigation Network Development and Land Equipping and Renovation. 32–45. (In Persian).

Ministry of Agriculture Jihad. (2016). *Knowledge-based packages of resistance economy in the field of agriculture and natural resources.* Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Office of Research Planning and Monitoring. (In Persian).

Ministry of Agriculture Jihad. (2018). *Crops Statistics.* Deputy of Planning and Economic, Information and Communication Technology Center. (In Persian).

Ministry of Energy. (2020). *Draft methods for estimating evaporation in different climatic conditions*. Deputy of Water and Sewage Affairs, Office of Standards and Water and Sewage Projects. (In Persian).

Monjezi, N. (2020). *Diagnose and Prioritizing of Effective Managerial and Executive Factors on Water Productivity in Sugarcane Production and Providing Practical Solutions to Increase It*. Iranian Journal of Biosystems Engineering. 51(1): 99–112. (In Persian).

Motiei Langroudi, S.H., Rezvani, M.R., Faraji Sabokbar, H.A., and Khajeh Shahkouhi, A.R. (2010). *Analysis of Sustainability of Family and Rural Production Cooperative Farming Systems (Case Study: Agh-Ghala Township: Golestan Province).* Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research. 41(2): 323–333. (In Persian).

Mrema, G., Soni, P., and Rolle, R.S. (2014). *A regional strategy for sustainable agricultural mechanization: sustainable mechanization across agri-food chains in Asia and the Pacific region*. Bangkok: FAO.

National Center for Drought and Crisis Management. (2018). *Annals of National Center for Drought and Crisis Management.* Iran Meteorological Organization. (In Persian).

Nazari, B., Liaqat, A.M., Parsinejad, M., Bahman Pouri, S., and Alizadeh, H.A. (2016). *Study of the Theoretical Basis and the Factors Affecting Energy Consumption in Pressurized Irrigation Systems in Qazvin Province*. Journal of Water Research in Agriculture. 30(2): 261–271. (In Persian).

Omani, A., and Chizari, M. (2006). *An analysis of farming system sustainability among wheat farmers (Khuzestan province).* Iranian Journal of Agriculture Science. 2–37(2): 258–266. (In Persian).

Peng, J., Zhao, Z., and Liu, D. (2022*). Impact of Agricultural Mechanization on Agricultural Production, Income, and Mechanism: Evidence from Hubei Province, China.* Frontiers in Environmental Science. 10, 838686.

Prats, A.G., Pico, S.G., Alzamora, F.M., and Bello, M.A.J. (2011). *Random Scenarios Generation with Minimum Energy Consumption Model for Sectoring Optimization in Pressurized Irrigation Networks Using a Simulated Annealing Approach.* Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 138(7): 613–624.

Rajabi Hashjin, M and Arab, D.R. (2006). *Virtual water trading: a tool to ensure food and water security.* Iran Water Resources Management Conference. Isfahan. (In Persian).

Rockstrom, J. (2003). *Resilience building and water demand management for drought mitigation.* Physics and chemistry of the earth. 28(20-27): 869–877.

Sadat Miri, M.H., and Farshi, A.A. (2004). *How to use and productivity of water in agriculture.* 11th Conference of National Committee on Irrigation and Drainage of Iran. 203–213. (In Persian).

Safahen, A., Naderi Mahdi, K., and Safahen, P. (2016). *Investigating the Status of Water Resources Management in Iran with Emphasis on Sustainable Development.* 2nd National Congress on Irrigation and Drainage of Iran, Isfahan University of Technology, Isfahan. (In Persian).

Salazar, L.R., Tolisano, J., Crane, K., Wheeler, L., Kuile, M., and Radtke, D. (1994). *Irrigation Reference Manual*. Peace Corps. Agro Engineering, Inc., Alamosa, Colorado. 430 pages.

Salmani Sabzevar, M., Rezaei, A.R., and Khaleghi, B. (2021). *Incremental adaptation strategies for agricultural water management under water scarcity condition in Northeast Iran.* Regional Sustainability. 2(3): 224–238.

Salman, M., Pek, E., and Lamaddalena, N. (2019). *Field guide to improve water use efficiency in small-scale agriculture – The case of Burkina Faso, Morocco and Uganda*. Rome, FAO.

Samqani, A.Q. (2019). *Investigation and comparison of the effect of row cleaners in no-tillage platers.* M.Sc. Thesis, Biosystems Mechanical Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. (In Persian).

Shafiee, F., Jafari Sayyadi, F., and Noori Darzikolaie, P. (2020). *Identifying challenges and requirements of optimal water management in agriculture (Case study: Mazandaran province).* Iranian Journal of Irrigation and Water Engineering, 10(40): 272–288. (In Persian).

Solomon, S., Plattner, G.K., Knutti, R., and Friedlingstein, P. (2009). *Irreversible climate change due to carbon dioxide emissions.* Proceedings of the National Academy of Sciences. 106(6): 1704–1709.

Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., and Midgley, P.M. (Eds.). (2013). *Climate change 2013: The Physical Science Basis.* Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.

Suryavanshi, S., Joshi, N., Maurya, H.K., Gupta, D., and Sharma, K.K. (2021). *Understanding Precipitation Characteristics of Afghanistan at Provincial Scale*.

Wheeler, S.A., Zuo, A., Loch, A. (2015). *Watering the farm: Comparing organic and conventional irrigation water use in the Murray–Darling Basin, Australia.* Ecological Economics. 112, 78–85.

Zhang, B., Fu, Z., Wang, J., and Zhang, L. (2019). *Farmers' adoption of water-saving irrigation technology alleviates water scarcity in metropolis suburbs: A case study of Beijing, China.* Agricultural Water Management. 212, 349–357.

This is an open access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)