

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



وزارت جهاد کشاورزی

سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی

(تحقیقات مهندسی کشاورزی)

پژوهشی

جلد ۲۵، شماره ۹۴، بهار ۱۴۰۳

شاپا چاپی: ۶۷۶۴ - ۳۰۶۰ شاپا الکترونیکی: ۶۷۷۲ - ۳۰۶۰

فهرست مقالات

پژوهشی

مروری بر شاخص‌های مدیریت مصرف آب گیاهان مختلف در ایران

فریبرز عباسی، مهدی اکبری، ابوالفضل ناصری، نادر عباسی، جواد باغانی، محمد جلینی، محمدعلی شاهرخ‌نیا، محمدمهدی نخجوانی، سالومه سپهری، منصور معیری، علیرضا حسن‌اقلی، ابوالقاسم حقایقی، علی قدمی فیروزآبادی، حسن موسوی فضل، محمدرضا یزدانی ۱

تأثیر اصلاح الگوی کشت بر بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب آبیاری محصولات زراعی در استان فارس (بررسی موردی: دشت قادراآباد-مادرسلیمان)

امیر اسلامی، عبدالرسول شیروانیان، غلامرضا زارعیان ۱۷

بررسی حجم آب آبیاری، عملکرد و بهره‌وری آب در مزارع پنبه استان خراسان رضوی

محمد جلینی، ابوالقاسم حقایقی مقدم، محمدمهدی نخجوانی مقدم ۳۹

بررسی حجم آب آبیاری و بهره‌وری آب کاربردی در باغ‌های آلو در استان خراسان رضوی (مشهد و چناران)

محمد کریمی، سالومه سپهری صادقیان، محمد جلینی ۵۳

تحلیل صحرایی عملکرد لایه‌ی ژئوممبران در کاهش نشست آب از کانال‌های شبکه آبیاری مغان

کرامت اخوان، میلاد خبری، مجید مردپور، فرهود کلاته ۶۹

یادداشت فنی

بررسی امکان استفاده از پساب تصفیه‌خانه فاضلاب در شبکه‌های آبیاری و زهکشی - مطالعه موردی: بوئین زهرا

بهمن یارقلی، فرشید تاران ۸۳

مجله "تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی"

با درجه علمی - پژوهشی مطابق ابلاغ (مجوز) شماره ۳/۱۸/۸۱۶۷۱ مورخ ۱۳۹۴/۰۴/۳۱ وزارت علوم، تحقیقات و فناوری.

نمایه شده در CABI، پایگاه استنادی علوم جهان اسلام (ISC)، ایران ژورنال، بانک اطلاعات نشریات کشور، پایگاه اطلاعات جهاد دانشگاهی و مرکز اطلاعات و مدارک علمی کشاورزی (Agris) و

صاحب امتیاز: مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

مدیر مسئول: حسین دهقانی‌سانج

سرمدیر: نادر عباسی

دستیار سرمدیر: امید رجا

هیأت تحریریه (به ترتیب حروف الفبا):

محمدحسین امید	استاد، دانشگاه تهران
عاطفه پرورش‌ریزی	دانشیار، دانشگاه تهران
نادر حیدری	دانشیار، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی
محمود شفاعی بجستان	استاد، دانشگاه شهید چمران اهواز
فریبرز عباسی	استاد، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی
نادر عباسی	استاد، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی
صلاح کوچک‌زاده	استاد، دانشگاه تهران
محمدجواد منعم	استاد، دانشگاه تربیت مدرس
ابوالفضل ناصری	دانشیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی
علیرضا کیانی	استاد، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان

هیأت تحریریه بین‌المللی (به ترتیب حروف الفبا):

علی ترابی حقیقی	دانشیار، گروه مهندسی و مدیریت هیدروسستم‌ها، دانشکده آب و انرژی و محیط زیست، دانشگاه Oulu فنلاند
محمدعلی شریفی	دانشیار مؤسسه علوم جغرافیایی و مشاهده زمین، دانشگاه Twente، هلند
راضیه فرمانی	دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی، دانشگاه Exeter انگلستان

بررسی‌کنندگان این شماره:

- مهدی اکبری	- محمدعلی شاه‌رخ‌نیا	- علی کیانی	- افشین یوسف گمرکچی
- جواد باغانی	- نادر عباسی	- سعید مرید	
- فرزین پرچی عراقی	- قربان قربانی نصرآباد	- مریم محمدی	
- نادر حیدری	- علی قدمی فیروزآبادی	- مریم نواییان	

ویراستار علمی و ادبی: محمدرضا داهی

ویراستار انگلیسی: محمدرضا داهی

مدیر داخلی: افشین یوسف گمرکچی

صفحه‌آرا: شبنم جباری

آدرس: کرج، بلوار شهید فهمیده، ص. پ. ۸۴۵-۳۱۵۸۵، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی
تلفن: ۳۲۷۰۵۳۲۰، ۳۲۷۰۵۲۴۲ و ۳۲۷۰۸۳۵۹ (۰۲۶)، دورنگار: ۳۲۷۰۶۲۷۷ (۰۲۶)

پایگاه اطلاعاتی مؤسسه: www.aeri.ir

پایگاه اطلاعاتی مجله: <http://idser.areeo.ac.ir>

پیام‌نگار: aridsej@areeo.ac.ir

شرایط پذیرش و راهنمای تهیه مقاله برای مجله تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی

نشریه "تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی" مقاله‌های علمی- پژوهشی در زمینه‌های فنی و مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی را که به زبان فارسی نوشته شده و قبلاً منتشر نشده یا برای انتشار در نشریه یا نشریه‌ای دیگر ارسال نشده باشد، برای بررسی و داوری می‌پذیرد و در صورت تأیید به ترتیب تاریخ وصول چاپ می‌کند. همچنین مقاله‌های گردآوری یا تحلیلی که توسط پژوهشگران صاحب‌نظر و تنها به دعوت هیأت تحریریه در زمینه مسائل روز فنی و مهندسی تهیه شده است، پس از بررسی و تصویب به چاپ خواهد رسید.

مسئولیت هر مقاله از نظر علمی بر عهده نویسنده (یا نویسندگان) است. ترتیب نام نویسندگان بر عهده شخص مکاتبه‌کننده خواهد بود و مکاتبات با وی انجام خواهد شد. نشریه در رد یا قبول و حک و اصلاح مقالات آزاد است و مقاله‌های دریافتی مسترد نخواهند شد. نشریه در نشر مطالب به صورت الکترونیکی، اینترنتی یا اینترنتی مجاز است.

مقاله‌ها باید با عنوان کامل، **بدون نام و مشخصات نگارنده (یا نگارندگان)**، به انضمام برگ مشخصات مقاله، روی کاغذ سفید A4 حداکثر در ۱۵ صفحه با فاصله سطرها یک سانتی‌متر و حاشیه از بالا ۳/۸ سانتی‌متر و ۲/۵ سانتی‌متر از چپ و راست و پایین صفحه با قلم فارسی نازنین (B Nazanin)، اندازه ۱۳، به صورت تایپ رایانه‌ای در محیط ورد (Microsoft Word) تهیه و به همراه اصل فایل در فرمت ورد (Word) از طریق سامانه (<http://idser.areeo.ac.ir>) ارسال شود. ارسال فرم تعهد نگارندگان و فرم تعارض منافع نیز الزامی است.

ترتیب و شرح قسمت‌های مختلف مقاله

مقاله‌های ارسالی شامل برگه مشخصات مقاله، عنوان، چکیده فارسی، واژه‌های کلیدی، مقدمه، مواد و روش‌ها، نتایج و بحث، نتیجه‌گیری، قدردانی، مراجع مورد استفاده، چکیده مبسوط و واژه‌های کلیدی به زبان انگلیسی و در صورت لزوم ضمائم است.

برگه مشخصات مقاله

این قسمت در یک صفحه جداگانه تهیه می‌شود و در برگه‌بند عنوان مقاله، نام و نام خانوادگی و مرتبه علمی نگارنده (یا نگارندگان)، آدرس کامل، شماره تلفن، شماره دورنگار، آدرس پست الکترونیکی، و منبعی خواهد بود که مقاله از آن استخراج شده است (پایان نامه دانشجویی، طرح تحقیقاتی و مانند آن). برگه مشخصات مقاله باید به دو زبان فارسی و انگلیسی ارائه شود.

عنوان

عنوان باید کوتاه (حداکثر ۲۵ کلمه)، رسا، جامع، و بیانگر محتوای مقاله باشد.

چکیده فارسی

چکیده فارسی (حداکثر در ۲۰۰) کلمه بیانگر فرضیه، هدف پژوهش، توصیف مختصر مواد و روش‌ها، نتایج اصلی به دست آمده و نتیجه‌گیری کلی از پژوهش است.

واژه‌های کلیدی

واژه‌های کلیدی شامل حداکثر پنج واژه مجزا یا مرکب خواهد بود و برای نشان دادن ماهیت و گرایش موضوع مقاله به هنگام طبقه‌بندی در سامانه‌های اطلاع‌رسانی است.

مقدمه

در این بخش باید موضوع مورد پژوهش معرفی و فرضیه مورد نظر تعریف شود. همچنین لازم است به اهم کارهای پژوهشی انجام شده قبلی در این مورد نیز اشاره و لزوم پژوهش مورد نظر تشریح و هدف مطالعه حاضر مشخص شود.

مواد و روش‌ها

این قسمت شامل شرح کامل مواد و روش‌های مورد استفاده در اجرای پژوهش است. در مورد روش‌های متداول و شناخته شده، ذکر منبع مربوط کافی است. ذکر مشخصات فنی و نام‌های دقیق علمی و تجاری مواد و دستگاه‌ها و همچنین معیارهای مورد استفاده ضرورت دارد.

نتایج و بحث

این بخش در برگیرنده نتایج حاصل از پژوهش به صورت متن(ها)، جدول(ها)، شکل(ها) و تصویر(ها) است. در این قسمت علل و روابط بین آنها در ایجاد نتایج حاصل، با استفاده از منابع علمی دیگر، مورد بحث قرار می‌گیرد. ضرورت دارد جدول‌ها و شکل‌ها با اندازه مناسب و کیفیت بالا تهیه شود، ارقام خوانا باشند، و تغییرات آشکار در منحنی‌ها با واحدهای سنجش سیستم بین‌المللی (SI) تهیه شود. عنوان جدول در بالا و عنوان نمودار یا شکل در زیر (به فارسی و انگلیسی) نوشته شود. عنوان جدول یا نمودار باید مختصر و گویای ارتباط عوامل مورد بحث در جدول یا نمودار باشد (لازم است تمامی توضیحات محورها و تمامی واحدها در نمودارها هم به فارسی و هم انگلیسی نوشته شوند و اعداد داخل جداول و نمودارها به انگلیسی نوشته شود). نتایج بررسی‌های آماری باید به یکی از روش‌های علمی در جدول(ها) منعکس شود مگر در مواردی که ذکر ارقام به صورت خام ضروری باشد. هر جا به جدول یا نموداری اشاره می‌شود آن جدول یا نمودار باید بلافاصله نشان داده شود مگر در موارد ضروری که حسب مورد در قسمت ضمایم ارائه خواهد شد. اعداد، مقیاس‌ها، واحدها در متن مقاله و در جدول و نمودار به فارسی نوشته شود. کارهای ترسیمی اصلی بوده یا به صورت رایانه‌ای و سازگار با ورد (Word) دارای کیفیت مناسب برای چاپ باشد. تکرار جدول‌ها، نمودارها، و غیره به هنگام بیان نتایج ضرورت ندارد.

نتیجه‌گیری

این قسمت شامل یک استنتاج نهایی، خلاصه پژوهش، و ذکر کاربرد (یا کاربردهای) احتمالی موضوع مورد تحقیق است. نگارندگان می‌توانند پیشنهادها را خود را برای انجام تحقیقات تکمیلی ارائه کنند.

قدردانی

در این بخش (در صورت نیاز)، از اشخاص حقیقی، حقوقی، سازمان‌ها، و نهادهای مؤثر در انجام پژوهش قدردانی می‌شود.

مراجع

- ۱- کلیه مراجعی که در متن مقاله بیان شده است باید در فهرست مراجع و بعد از متن آورده شوند. نگارندگان موظف‌اند مشخصات مراجع را چه در این بخش، چه در متن مقاله به درستی و مطابق با مشخصاتی بیاورند که در هر یک از منابع دیده می‌شود.
- ۲- در متن مقاله فقط به نام نگارنده (یا نگارندگان) و سال انتشار مرجع اشاره شود (به صورت شماره اشاره نشود). مثال: (Razavi, 2003)، (Regier & Schubert, 2001)

۳- اگر مرجع بیشتر از دو نگارنده دارد نام نفر اول همراه با «*et al.*» ذکر شود اما در فهرست مراجع اسامی تمامی نگارندگان درج شود.

مثال: (Budiman *et al.*, 1999)

۴- مراجع به ترتیب حروف الفبای نام نگارندگان مرتب شود. در صورتی که نگارنده‌ای در یک سال چند مقاله دارد با اضافه کردن حروف a و b و ... تنظیم شوند.

۵- **مراجع فارسی به زبان انگلیسی ترجمه شده و در انتها عبارت (in Persian) قید شود.**

۶- از روش زیر برای مرتب کردن مراجع استفاده شود.

الف- تک نگارنده

Elsafi, S. H., 2014. Artificial neural networks (ANNs) for flood forecasting at Dongola Station in the River Nile, Sudan. *Alexandria Engineering Journal*, 53(3), pp.655-662.

ب- دو یا چند نگارنده

Kashefipour, S. M., Lin, B., & Falconer, R. A. (2006). Modelling the fate of faecal indicators in a coastal basin. *Water Research*, 40(7), pp.1413-1425.

پ- کتاب

Chanson, H., 2004. *Hydraulics of open channel flow*. Butterworth-Heinemann.

ت- فصلی از کتاب

Pfister, M., Schleiss, A. J., & Tullis, B. (2013). *Effect of driftwood on hydraulic head of piano key weirs*. In S. Erpicum., F. Laugier., M. Pfister., M. Pirotton., G. M. Cicero., & A. J. Schleiss (Eds.) *Labyrinth and Piano Key weirs II* (pp 225-265). CRC Press, Leiden, Netherlands.

در صورتی که تعداد نگارندگان فصل یک نفر باشد از (Ed.) و در غیر این صورت از (Eds.) استفاده شود.

ث- مجموعه مقاله‌ها

Pagliara, S., & Carnacina, I. (2010). *Scour and dune morphology in presence of large wood debris accumulation at bridge pier*. In *International Conference on Fluvial Hydraulics*. Sep. 8-10. Braunschweig, Germany.

ج- دیسکت فشرده مجموعه مقاله‌ها (CD)

فقط کلمه CD قبل از Proceeding یا مجموعه مقاله‌ها آورده شود.

چنانچه مقاله‌ای در دست چاپ است، به جای کلمه ناشر، In press یا «در دست چاپ» به کار برده شود.

چ- پایان نامه، گزارش یا طرح تحقیقاتی

Stockstill, R.L. (1998). Innovative lock design, report 1, case study, New McAlpine Lock Filling and Emptying System, Ohio River, Kentucky. *Technical Rep. INP-CHL*, 1.

Salahinia, S. (2015). Experimental investigation of the subsurface flow under rainfall recharge and soil variability (M. Sc. Thesis), Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Yasouj University, Yasouj, Iran. (in Persian)

ه- مرجع بدون نویسنده مشخص

Anon. 1998. ASAE Standard: ASAE S368.1. Compression tests of food materials of convex shape. ASAE. St. Joseph. MI 49085-9659. USA.

چکیده مبسوط به زبان انگلیسی

چکیده مبسوط انگلیسی شامل مقدمه، مواد و روش‌ها، نتایج و بحث، نتیجه‌گیری، قدردانی و کلمات کلیدی است که طبق فرمت نشریه (در بخش راهنمای نگارندگان) تهیه شده در انتهای مقاله آورده می‌شود.

واژه‌های کلیدی به زبان انگلیسی

این واژه‌ها معادل "واژه‌های کلیدی فارسی" به زبان انگلیسی ذکر شود.

تذکر

الف- برای پذیرش اولیه مقاله و بررسی آن، رعایت دقیق دستورالعمل بالا ضروری است (جزئیات فرمت تهیه مقاله در سایت نشریه و در بخش راهنمای نگارندگان موجود است).

ب- به منظور بهبود کیفیت مقاله و رفع اشکالات اساسی احتمالی توصیه می‌شود که نگارندگان محترم قبل از ارسال مقاله برای درج در این نشریه آن را به نظر دو نفر از همکاران مجرب خود برسانند.

تبصره

نشریه علمی پژوهشی تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی کتاب‌ها و مجلات جدید مهندسی کشاورزی به زبان فارسی را که یک نسخه از آن به دفتر نشریه برسد، پس از تصویب هیأت تحریریه معرفی می‌نماید.

مروری بر شاخص های مدیریت مصرف آب گیاهان مختلف در ایران

فریبرز عباسی^{۱*}، مهدی اکبری^۲، ابوالفضل ناصری^۳، نادر عباسی^۴، جواد باغانی^۵، محمد جلینی^۶،
محمدعلی شاهرخ نیا^۷، محمد مهدی نخجوانی^۸، سالومه سپهری^۹، منصور معیری^{۱۰}، علیرضا حسن اقلی^{۱۱}،
ابوالقاسم حقایقی^{۱۲}، علی قدمی فیروز آبادی^{۱۳}، حسن موسوی فضل^{۱۴}، محمدرضا یزدانی^{۱۵}

^{۱*} - ۱۴ اعضای هیات علمی موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

^{۱۵} عضو هیات علمی موسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۱۶

چکیده

این تحقیق با هدف ارزیابی حجم آب آبیاری و بهره‌وری آب ۳۵ محصول زراعی و باغی در ایران اجرا شد. اندازه‌گیری‌های میدانی شامل حجم آب آبیاری و عملکرد محصول برای حداقل یک فصل زراعی در قطب‌های تولید هر محصول بود. دوازده محصول زراعی (گندم، برنج، جو، ذرت علوفه‌ای، یونجه، چغندر قند، نیشکر، لوبیا، آفتابگردان، پنبه، کلزا، سویا)، ۱۷ محصول باغی (زعفران، سیب، زیتون، پرتقال، نارنگی، هلو، شلیل، آلو، لیمو، انجیر، انگور، خرما، انار، گردو، بادام، پسته، گیلاس) و ۶ سبزی و صیفی (گوجه‌فرنگی، هندوانه، سیب‌زمینی، خیار، خربزه، پیاز) در این تحقیق در نظر گرفته شدند. این محصولات بیش از ۸۵ درصد از سطح زیرکشت و تولیدات آبی کشور را در استان‌های مختلف پوشش می‌دادند. برای هر محصول حجم آب آبیاری در یک فصل زراعی و عملکرد گیاهان زراعی برای یک سال و یا میانگین دوساله ولی برای گیاهان باغی با توجه به تغییرات اقلیمی و سرمازدگی که عملکرد باغ‌ها را تحت تاثیر قرار می‌دهد، میانگین عملکرد ۱-۳ سال تعیین و در تحلیل‌ها استفاده شد. بهره‌وری فیزیکی آب آبیاری از نسبت عملکرد محصول به حجم آب آبیاری و بهره‌وری آب از نسبت عملکرد محصول به حجم آب (مجموع حجم آب آبیاری و بارش موثر) و درآمد ناخالص در واحد حجم آب آبیاری از حاصل ضرب عملکرد محصول در قیمت فروش بخش بر حجم آب آبیاری محاسبه شد. در این پژوهش، برای تعیین محصولات همگن از نظر شاخص‌های مورد بررسی (حجم آب آبیاری، بهره‌وری آب، و غیره) از مدل تحلیل خوشه‌ای استفاده گردید. نتایج تحقیق نشان داد میانگین حجم آب آبیاری محصولات مختلف از ۳۹۸۴ مترمکعب بر هکتار برای کلزا تا ۳۲۵۰۰ مترمکعب بر هکتار برای نیشکر متغیر است. میانگین وزنی حجم آب آبیاری (نسبت به سطح زیرکشت) ۳۵ محصول مورد مطالعه ۸۰۳۲ مترمکعب بر هکتار تعیین گردید که این شاخص به تفکیک محصولات باغی، زراعی و سبزی و صیفی به ترتیب ۹۱۶۲، ۷۶۶۹ و ۷۲۴۷ مترمکعب بر هکتار است. حجم کل آب مورد استفاده برای ۳۵ محصول مورد مطالعه ۶۱/۷ میلیارد مترمکعب و حجم کل آب آبیاری دیگر محصولاتی که در این تحقیق ارزیابی نشده بودند، ۹/۴ میلیارد مترمکعب برآورد شد. در مجموع، حجم کل آب مورد استفاده برای آبیاری محصولات آبی کشور ۷۱/۱ میلیارد مترمکعب برآورد می‌شود که حدود ۷۰ درصد حجم کل آب تجدیدپذیر کشور است. میانگین وزنی بهره‌وری آب آبیاری و آب محصولات مورد مطالعه به ترتیب ۱/۹ و ۱/۵ کیلوگرم بر مترمکعب تعیین شد که با مقدار هدف‌گذاری شده در برنامه چشم‌انداز ۲۰ ساله بسیار نزدیک است. از نظر شاخص درآمد ناخالص به ازای واحد حجم آب آبیاری، زعفران و پسته بیشترین، و نیشکر، سویا، جو، ذرت علوفه‌ای، گندم و یونجه کمترین مقدار این شاخص را داشته‌اند.

واژه‌های کلیدی: حجم آب کاربردی، بهره‌وری فیزیکی، تحلیل خوشه‌ای، درآمد ناخالص

مقدمه

را ۷۰ میلیارد مترمکعب و محمد ولی سامانی (Mohammad-Vali-Samani, 2005) مصرف آب در بخش کشاورزی را در سال های ۱۳۷۵ و ۱۳۸۰ به ترتیب ۸۱ و ۸۶ میلیارد مترمکعب در سال گزارش داده است. ناصری و همکاران (Nasseri et al., 2017) آب تجدیدپذیر کشور را به روش بیلان آب حدود ۱۰۶ میلیارد مترمکعب برآورد و گزارش کرده اند که از این مقدار ۷۵ میلیارد مترمکعب آن برای تولید محصولات مختلف در بخش کشاورزی برداشت می شود. ناصری و همکاران (Nasseri et al., 2018) حجم آب مصرفی در بخش کشاورزی را به روش نیاز آبی در شرایط ۷۰ و ۸۰ درصد تولید پتانسیل محصولات زراعی و باغی به ترتیب برابر ۶۷ و ۷۷ میلیارد مترمکعب در سال گزارش داده اند.

بهره‌وری فیزیکی آب نیز یکی از شاخص‌های مهم مدیریت آبیاری است که با استفاده از مقدار محصول تولید شده به ازای واحد حجم آب آبیاری به دست می‌آید. تعیین مقدار محصول تولیدی معمولاً ساده‌تر است و برای این کار از آمارهای رسمی استفاده می‌شود. ولی در خصوص مقدار آب آبیاری، آمارها بسیار متفاوت است. در نتیجه شاخص بهره‌وری آب به شدت وابسته به آمار مربوط به حجم آب آبیاری است. عباسی و همکاران (Abbasi et al., 2017) مقادیر بهره‌وری آب را برای سال‌های ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۴ برآورد و تحلیل کرده‌اند. این پژوهشگران مقادیر بهره‌وری آب را از ۰/۹۴ تا ۱/۲۹ کیلوگرم بر مترمکعب و متوسط آن را ۱/۰۷ کیلوگرم بر مترمکعب برآورد کرده‌اند. عباسی و همکاران (Abbasi et al., 2019) همچنین نشان دادند که شاخص بهره‌وری آب در کشور روند صعودی با شیب ۰/۰۴۵ کیلوگرم در سال دارد و از ۱/۰ کیلوگرم بر مترمکعب در سال ۱۳۸۷ به حدود ۱/۴۵ کیلوگرم بر مترمکعب در سال ۱۳۹۶ رسیده است.

پژوهش‌های گذشته در خصوص برآورد مصرف آب در بخش کشاورزی همواره با روش‌های تخمینی مانند روش

تولید گیاهان زراعی و باغی در مناطق خشک و نیمه خشک جهان وابستگی شدیدی به آب دارد. آبیاری و بارش دو روش عمده تامین نیاز آبی گیاهان است. حدود ۱۵ درصد از زمین‌های کشاورزی جهان آبیاری می‌شود و نصف تولیدات کشاورزی از این زمین‌ها به دست می‌آید (Ahmadi et al., 2019; Tavakoli et al., 2021). تغییرات میانگین آب مصرفی در بخش کشاورزی در ایالات متحده از ۸۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ مترمکعب در هکتار و در کشورهای آسیایی از ۵۰۰۰ تا ۱۷۰۰۰ مترمکعب در هکتار گزارش شده است (Shiklomanov, 2000). منشأ اصلی آب آبیاری، بارش‌هاست با میانگین جهانی ۸۶۰ میلی‌متر در سال. ایران به دلیل پایین بودن میزان بارندگی‌ها با کمتر از یک سوم میانگین بارش سالانه جهانی و با توزیع نامناسب مکانی و زمانی آن، در منطقه‌ای خشک و نیمه‌خشک واقع شده است. برآوردها نشان می‌دهد که نیاز خالص آبی گیاهان زراعی و باغی فاریاب در جهان سالیانه حدود ۲۲۰۰ میلیارد مترمکعب است که ۷۰ درصد آن از طریق آبیاری و ۳۰ درصد آن از طریق باران تأمین می‌شود. به عبارت دیگر، ۱۵۴۰ میلیارد مترمکعب از آب‌های با کیفیت استحصالی در جهان برای جبران نیاز آبی گیاهان زراعی و باغی مصرف می‌شود (Molden, 2007).

از نظر مصرف آب در بخش‌های مختلف، در ایران نیز مانند دیگر کشورها بخش قابل‌توجهی از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی در بخش کشاورزی استفاده می‌شود. برای حجم آب مصرفی در بخش کشاورزی ایران، اعداد و ارقام متفاوتی در منابع گزارش شده است. قدرت‌نما (Ghodratnema, 1998) مصرف آب در بخش‌های شرب، صنعت و کشاورزی را در سال‌های ۱۳۴۲ تا ۱۳۷۲ بررسی و مصرف بخش کشاورزی را در این بازه زمانی ۴۴ تا ۷۸ میلیارد مترمکعب در سال گزارش کرده است. موحد دانش (Movaheddanesh, 1994) مصرف آب در بخش کشاورزی

خیار، خربزه، پیاز) بودند. این محصولات بیش از ۸۵ درصد از سطح زیرکشت و تولیدات آبی کشور را در استان‌های مختلف پوشش می‌دادند. برای هر محصول، حجم آب آبیاری در یک فصل زراعی و در قطب‌های تولید آن پایش شد. قطب‌های تولید طوری انتخاب شدند که حداقل ۷۰ درصد مناطق تولید هر محصول پوشش داده شود. مزارع و باغ‌ها در شرایط مدیریت بهره‌بردار، در روش‌های مختلف آبیاری، بافت‌های مختلف خاک و کیفیت‌های متفاوت آب آبیاری و خاک پایش شدند. حجم آب آبیاری با کنتور حجمی، دستگاه اولتراسونیک یا فلوم اندازه‌گیری شد. در صورت نصب کنتور، پایش حجم آب آبیاری به صورت مستمر در فصل زراعی بوده است. ولی در صورت استفاده از فلوم یا دستگاه اولتراسونیک، دبی آب چند نوبت در فصل زراعی اندازه‌گیری و حجم آب آبیاری با لحاظ زمان آبیاری و تعداد نوبت‌های آبیاری برآورد شد.

تعداد مزارع و باغ‌های مورد ارزیابی برای هر محصول در قطب‌های تولید طوری انتخاب شدند که کفایت آنها از نظر آماری تایید شود (Sarmad et al., 2001). روش آماری طبقه‌بندی نظام‌دار برای این تحقیق انتخاب شد، بدین ترتیب که استان‌ها و شهرستان‌های تولیدکننده هریک در یک طبقه و مزارع یا باغ‌های مورد نظر نیز در یک طبقه قرار گرفتند. عملکرد گیاهان زراعی برای اغلب آنها در یک سال اندازه‌گیری و برای برخی از میانگین دو سال استفاده شد. ولی برای گیاهان باغی با توجه به تغییرات اقلیمی و سرمازدگی که عملکرد باغ‌ها را تحت تاثیر قرار می‌دهد، میانگین عملکرد ۱-۳ سال تعیین و در تحلیل‌ها استفاده شد. مقدار عملکردها عمدتاً با طرح پرسش از بهره‌بردار اخذ شد. در برخی موارد، عملکرد محصول برای محصولات با خرید تضمینی از مستندات فروش محصول استخراج شد. سطح زیرکشت هر محصول با GPS تعیین شد. با توجه به اینکه قطب‌های تولید هر محصول سطح زیرکشت متفاوت داشتند، در تجزیه و تحلیل‌ها میانگین وزنی عملکرد، حجم آب آبیاری

بیان آب برآورد شده‌است که دقیق نیست و با خطا همراه است. از طرف دیگر، اعداد و ارقام ارائه شده برای حجم آب مصرفی بخش کشاورزی بسیار متفاوت است و در خصوص درست یا نادرست بودن آنها نیز تردیدهایی وجود دارد. با وجود اهمیت موضوع، اطلاع دقیقی از حجم آب آبیاری محصولات زراعی و باغی در مناطق مختلف کشور در دسترس نیست و این موضوع همواره از دغدغه‌های اصلی متولیان و برنامه‌ریزان صنعت آب کشور بوده و هست. پرداختن به کار پژوهشی در کشور که بتواند به اعداد دقیق‌تری درباره حجم آب آبیاری محصولات مختلف در کشور منتهی شود، می‌تواند کمک شایانی به تصمیم‌گیری مسئولان مرتبط با آب و کشاورزی بکند. هدف اصلی این مقاله ارزیابی جامع شاخص‌های مدیریت آب در بخش کشاورزی (شامل بهره‌وری و حجم آب آبیاری محصولات زراعی و باغی در کشور) است. در این مقاله، بهره‌وری فیزیکی آب و حجم آب آبیاری ۳۵ محصول زراعی، سبزی و صیفی و باغی در مزرعه اندازه‌گیری و تحلیل شده است.

روش تحقیق

این تحقیق به صورت گسترده در سطح ملی و در قطب‌های تولید محصولات کشاورزی اجرا شد. داده‌های میدانی شامل حجم آب آبیاری و عملکرد ۳۵ محصول مختلف زراعی، باغی و سبزی و صیفی در قطب‌های تولید این محصولات در یک فصل زراعی در بازه زمانی ۱۴۰۰-۱۳۹۵ اندازه‌گیری شد. سال‌های ارزیابی شامل دو سال نرمال (۱۳۹۴-۱۳۹۶)، دو سال تر (۱۳۹۷-۱۳۹۹) و دو سال خشک (۱۳۹۷-۱۳۹۶ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹) بود. دوارده محصول زراعی (گندم، برنج، جو، ذرت علوفه‌ای، یونجه، چغندر قند، نیشکر، لوبیا، آفتابگردان، پنبه، کلزا، سویا)، ۱۷ محصول باغی (زعفران، سیب، زیتون، پرتقال، نارنگی، هلو، شلیل، آلو، لیمو، انجیر، انگور، خرما، انار، گردو، بادام، پسته، گیلاس) و ۶ محصول سبزی و صیفی (گوجه‌فرنگی، هندوانه، سیب‌زمینی،

و بهره‌وری آب (نسبت به سطح زیرکشت) تعیین شد. برای یکنواختی تجزیه و تحلیل‌ها، سطح زیرکشت همه محصولات از آمارنامه وزارت جهاد کشاورزی در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۸ استخراج شد (Ahmadi et al., 2019). بهره‌وری فیزیکی آب آبیاری از نسبت عملکرد محصول به حجم آب آبیاری و بهره‌وری آب از نسبت عملکرد محصول به حجم آب (مجموع حجم آب آبیاری و بارش موثر) محاسبه شد. بارندگی مؤثر به روش SCS برآورد شد (SCS, 1972). قیمت فروش محصولات مختلف از مرکز ملی آمار ایران برای سال ۱۳۹۹ استخراج و درآمد ناخالص در واحد حجم آب آبیاری از حاصل ضرب عملکرد محصول در قیمت فروش بخش بر حجم آب آبیاری محاسبه شد. برای تعیین محصولات همگن از نظر شاخص‌های مورد بررسی (حجم آب آبیاری، بهره‌وری آب، و غیره) از مدل تحلیل خوشه‌ای استفاده گردید (Manly, 1994). تحلیل خوشه‌ای روشی است آماری برای تعیین گروه‌ها یا خوشه‌های همگن. در تحلیل خوشه‌ای، گروه‌بندی محصولات بر مبنای فاصله بین شاخص‌هاست. برای تحلیل خوشه‌ای از روش وارد^۱ و برای

ارزیابی فاصله از فاصله اقلیدسی^۲ بهره گرفته شد. نتایج با رسم دندوگرام^۳ نمایش داده شد. برای تعیین تعداد مطلوب خوشه‌ها از رابطه زیر استفاده گردید (Manly, 1994):

$$N = \sqrt{\frac{n}{2}} \quad (1)$$

که در آن، N و n به ترتیب تعداد خوشه‌های مناسب و تعداد محصولات زراعی و باغی است.

در مجموع، محصولات مورد مطالعه در ۵۵۰۰ باغ و مزرعه، ۲۹ استان و ۶۷۷ شهرستان-محصول پایش شدند. سهم بهره‌برداران پیشرو در مزارع و باغ‌های مورد مطالعه حدود ۱۵ درصد بود ولی مزارع و باغ‌ها طوری انتخاب شدند که طیف گسترده‌ای از بهره‌برداران را پوشش دهد. حدود ۵ درصد از مزارع و باغ‌های مورد پایش در تجزیه و تحلیل‌های آماری به عنوان داده پرت حذف شدند. برخی اطلاعات از محصولات و محدوده تغییرات بعضی پارامترهای اندازه‌گیری شده در مزارع و باغ‌های مورد مطالعه در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱- برخی اطلاعات از محصولات و محدوده تغییرات برخی پارامترهای اندازه‌گیری شده در مزارع و باغ‌های مورد مطالعه

Table 1- Some information about the crops and range of changes of some parameters measured in the studied farms and gardens

محصول Crop	تعداد استان مورد مطالعه No. Province	تعداد شهرستان مورد مطالعه No. Town	تعداد مزرعه/باغ No. Farm	سطح مزرعه/باغ Area (ha)	شوری آب آبیاری Irrig. Water Salinity (dS/m)	شوری خاک Soil EC (dS/m)
گوجه‌فرنگی Tomato	11	29	176	4.45±5.49	1.47±2.10	2.34±2.04
پیاز Onion	9	22	190	3.31±5.39	1.42±0.92	2.71±1.65
سیب‌زمینی Potato	14	31	259	10.92±16.31	1.40±0.93	1.00±0.72
خیار cucumber	9	28	207	2.30±1.10	0.80±0.10	2.70±0.30
خربزه Melon	5	17	138	8.45±11.11	1.92±1.47	3.11±1.91
هندوانه Watermelon	9	29	156	10.32±12.68	1.41±1.03	2.64±1.90

³ Dendogram¹ Ward² Euclidean

ادامه جدول ۱						
2.67±2.04	1.78±1.69	20.69±39.64	241	26	12	گندم Wheat
5.50±6.35	2.91±2.74	12.39±27.75	296	37	12	جو Barley
1.50±0.59	1.40±0.69	1.50±1.20	37	14	3	برنج Rice
2.49±2.75	1.53±1.51	8.83±12.47	267	33	13	کلزا Rapeseed
3.09±1.89	1.40±1.50	14.90±32.80	301	36	12	یونجه Alfalfa
2.00±1.80	1.50±1.10	10.00±11.00	104	19	8	ذرت علوفه‌ای Fodder corn
6.46±4.67	3.99±2.52	9.20±11.87	121	18	7	پنبه Cotton
1.40±0.69	1.08±0.26	5.25±8.82	103	10	2	سویا Soybean
1.25±1.55	0.59±0.31	5.15±6.69	85	13	6	لوبیا Beans
1.40±1.11	0.84±0.68	10.29±10.91	126	17	8	چغندر قند Sugar beet
3.25±2.20	2.10±2.12	25.00±0.00	47	4	1	نیشکر Sugar cane
2.48±2.73	1.37±1.54	3.74±4.76	166	23	6	آفتابگردان Sunflower
7.36±5.47	4.84±3.78	57.39±60.37	88	19	4	پسته Pistachio
6.41±6.28	2.77±2.11	8.44±20.38	126	20	7	خرما Date
3.52±2.35	2.77±2.11	1.95±1.68	132	15	6	انار Pomegranate
1.32±2.96	0.51±0.35	3.61±6.90	211	27	12	گردو Walnut
1.42±0.70	0.74±0.40	1.17±1.08	123	9	5	انجیر Fig
1.52±0.95	1.07±0.95	3.52±9.40	164	23	10	انگور Grape
1.17±0.93	0.56±0.29	4.89±9.32	145	20	8	سیب Apple
1.62±1.05	0.71±0.37	1.63±1.83	177	17	8	آلو Plum
2.75±1.68	1.44±0.75	3.03±3.60	212	15	4	لیمو Lemon
1.29±0.87	0.76±0.68	2.12±3.07	198	26	12	گیلاس Cherry
1.41±0.86	0.69±0.38	2.67±5.01	195	20	12	هلو و شلیل Peaches and nectarines
1.55±0.80	0.83±0.45	7.13±16.32	264	17	6	پرتقال و نارنگی Orange and tangerine
3.48±3.38	2.70±1.96	18.39±24.40	120	12	6	زیتون Olive
1.50±0.88	0.91±0.59	6.58±26.86	149	25	9	بادام Almonds
2.58±1.60	1.88±1.56	1.17±2.93	126	6	2	زعفران Saffron

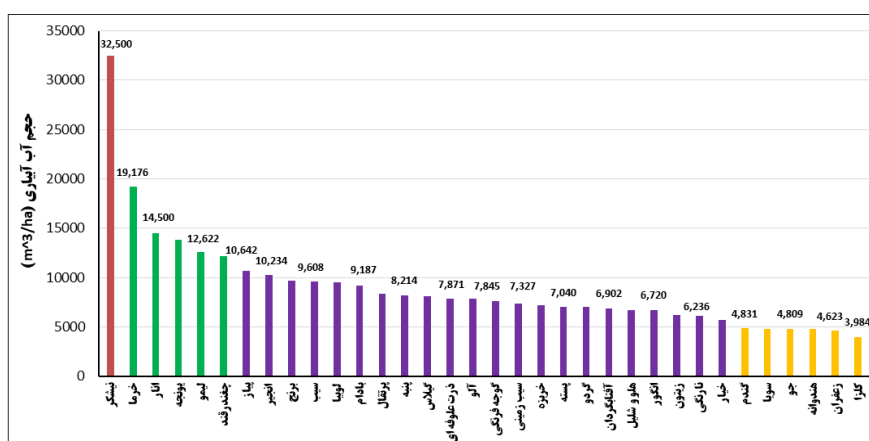
* در سه ستون آخر جدول، عدد اول از سمت چپ میانگین پارامتر اندازه‌گیری شده و عدد سمت راست انحراف معیار است.

نتایج و بحث

حجم آب آبیاری

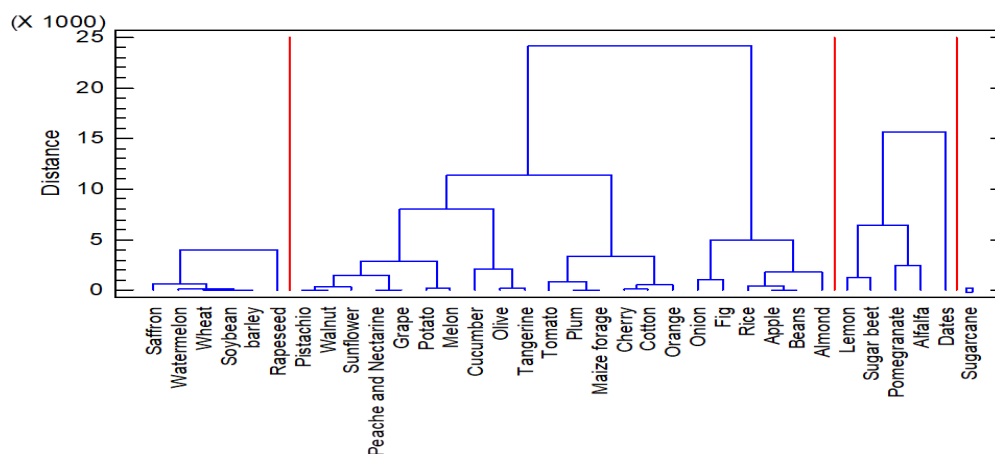
مورد مطالعه بر اساس حجم آب آبیاری به چهار خوشه تقسیم شدند (شکل ۲). در خوشه اول زعفران، هندوانه، گندم، سویا، جو و کلزا با میانگین حجم آب آبیاری ۴۶۳۷ مترمکعب در هکتار؛ در خوشه دوم پسته، گردو، آفتابگردان، هلو و شلیل، انگور، سیب زمینی، خربزه، خیار، زیتون، نارنگی، گوجه فرنگی، آلو، ذرت علوفه ای، گیلان، پنبه، پرتقال، پیاز، انجیر، برنج، سیب، لوبیا و بادام با میانگین حجم آب آبیاری ۷۹۰۶ مترمکعب در هکتار؛ در خوشه سوم لیمو، چغندر، انار، یونجه و خرما با میانگین حجم آب آبیاری ۱۴۴۶۳ مترمکعب در هکتار؛ و در خوشه چهارم نیشکر با حجم آب آبیاری ۳۲۵۰۰ مترمکعب در هکتار قرار گرفتند.

میانگین حجم آب آبیاری محصولات مختلف از ۳۹۸۴ مترمکعب بر هکتار برای کلزا تا ۳۲۵۰۰ مترمکعب بر هکتار برای نیشکر متغیر است. گیاهان گرمسیری از جمله نیشکر (۳۲۵۰۰)، خرما (۱۹۱۷۶)، انار (۱۴۵۰۰)، یونجه (۱۳۸۰۸) و لیمو (۱۲۶۲۲) محصولاتی هستند که از نظر حجم آب آبیاری در واحد سطح بیشترین حجم آب را دارند. کلزا (۳۹۸۴)، زعفران (۴۶۲۳)، هندوانه (۴۷۵۱)، سویا (۴۸۲۴)، جو (۴۸۰۹) و گندم (۴۸۳۱) نیز محصولاتی هستند که کمترین حجم آب آبیاری را داشته اند (شکل ۱). محصولات



شکل ۱- مقایسه حجم آب آبیاری محصولات مختلف (ستون های هم رنگ از نظر آماری در یک خوشه قرار دارند)

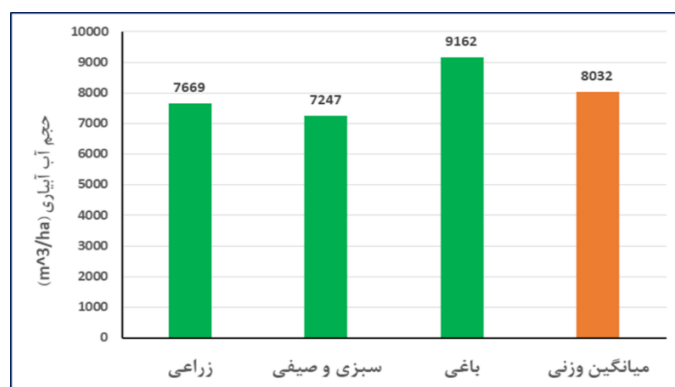
Fig. 1- Comparison of applied Irrigation water in different crops (columns of the same color are statistically placed in same cluster)



شکل ۲- دندروگرام حاصل از تحلیل خوشه ای محصولات مورد مطالعه بر مبنای حجم آب آبیاری

Fig. 2 -Dendrogram of cluster analysis of the crops based on applied Irrigation water

میانگین وزنی حجم آب آبیاری (نسبت به سطح زیرکشت) محصولات مورد مطالعه ۸۰۳۲ مترمکعب بر هکتار است. میانگین حجم آب آبیاری برای محصولات باغی (۹۱۶۲ مترمکعب بر هکتار) بیشتر از میانگین حجم آب آبیاری برای محصولات زراعی (۷۶۶۹ مترمکعب بر هکتار) و برای سبزی



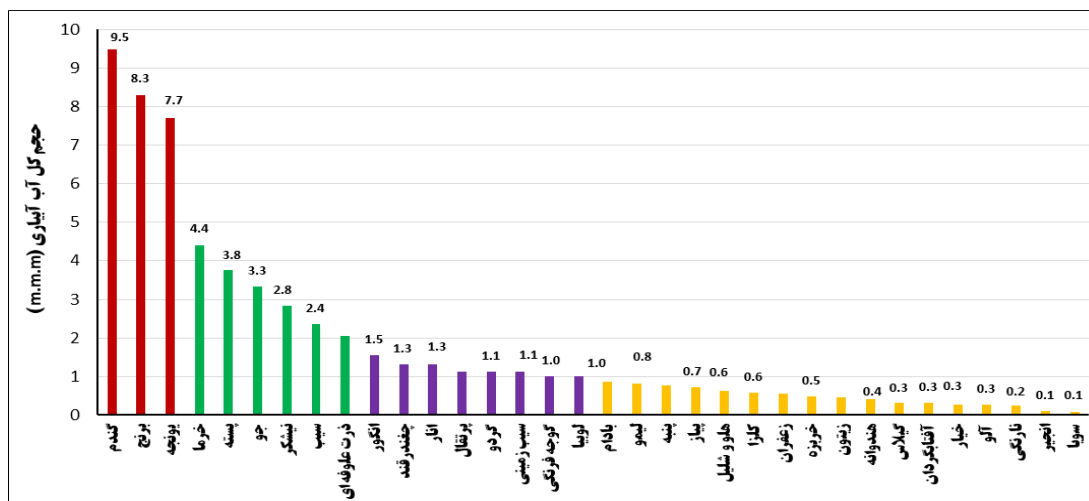
شکل ۳- مقایسه میانگین حجم آب آبیاری محصولات مختلف

Fig. 3 - Comparison of the average of applied irrigation water for different crops

حجم کل آب آبیاری

آب بر محسوب می‌شوند. سطح زیرکشت محصول در کشور عامل مهمی در تعیین حجم آب آبیاری است. گندم، به‌رغم اینکه از نظر حجم آب آبیاری در واحد سطح محصول آب‌بری نیست، با توجه به سطح زیرکشت زیاد آن در کشور (حدود ۲ میلیون هکتار) بیشترین حجم آب آبیاری را با ۹/۵ میلیارد مترمکعب به خود اختصاص داده است. برنج، یونجه، خرما و پسته به ترتیب با ۸/۳، ۷/۷، ۴/۴ و ۳/۸ میلیارد مترمکعب در رتبه‌های بعدی قرار دارند. آفتابگردان، خیار، آلو، انجیر و سویا به ترتیب با ۳۲۰، ۲۷۰، ۲۶۰، ۱۰۰ و ۹۰ میلیون مترمکعب کمترین حجم کل آب آبیاری دارند. برخی محصولات مانند نیشکر و انار، به‌رغم اینکه جزء محصولاتی بودند که بیشترین حجم آب آبیاری در واحد سطح را داشته‌اند، در شاخص حجم کل آب آبیاری در زمره محصولات آب‌بر قرار نمی‌گیرند. حجم کل آب مورد استفاده برای ۳۵ محصول مورد مطالعه ۶۱/۷ میلیارد مترمکعب برآورد شده‌است که بیش از ۶۰ درصد آن به محصولات زراعی و حدود ۵۵ درصد آن به محصول گندم، برنج، یونجه، خرما و پسته اختصاص دارد.

محصولات مختلف از نظر شاخص حجم کل آب آبیاری (حاصل ضرب حجم آب آبیاری در واحد سطح در سطح زیرکشت محصول) در شکل (۴) مقایسه شده‌اند. بر مبنای شاخص حجم کل آب آبیاری، محصولات مورد مطالعه به چهار خوشه تقسیم شدند (نتایج دندوگرام نشان داده نشده‌اند). در خوشه اول زعفران، کلزا، هلو و شلیل، هندوانه، خربزه، زیتون، لیمو، پنبه، بادام، پیاز، گیلان، آفتابگردان، خیار، آلو، نارنگی، انجیر و سویا با میانگین حجم کل آب آبیاری ۰/۴۶ میلیارد مترمکعب؛ در خوشه دوم پسته، جو، خرما، سیب، ذرت علوفه‌ای و نیشکر با میانگین حجم کل آب آبیاری ۳/۱۲ میلیارد مترمکعب؛ در خوشه سوم سیب‌زمینی، گردو، پرتقال، گوجه‌فرنگی، لوبیا، انگور، انار و چغندر قند با میانگین حجم کل آب آبیاری ۱/۱۹ میلیارد مترمکعب؛ و در خوشه چهارم برنج، یونجه و گندم با میانگین حجم کل آب آبیاری ۸/۵ میلیارد مترمکعب قرار دارند. از نظر این شاخص، گندم، برنج و یونجه با بیشترین حجم آب آبیاری محصولاتی

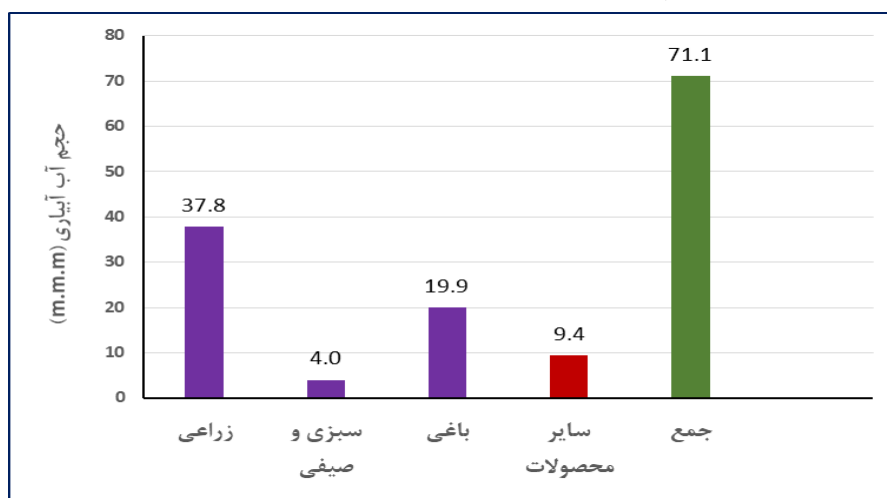


شکل ۴- مقایسه حجم کل آبیاری محصولات مورد مطالعه
(ستون های هم رنگ از نظر آماری در یک خوشه قرار گرفته اند)

Fig. 4- Comparison of total applied Irrigation water for different crops (columns of the same color are statistically placed in the same cluster)

کشور است. این رقم با ارقام گزارش شده توسط ناصری و همکاران (Nasseri et al., 2017; 2018) که به روش های تقریبی حجم آب در بخش کشاورزی را برآورد کرده اند، همخوانی دارد. نتایج بررسی هانشان می دهد که سهم بخش کشاورزی از آب تجدیدپذیر در یک دهه اخیر ثابت و حدود ۷۰ درصد بوده است. در سند ملی دانش بنیان امنیت غذایی کاهش حجم آب بخش کشاورزی به ۵۱ میلیارد مترمکعب برای سال ۱۴۱۱ پیش بینی شده است.

بر اساس نتایج این ارزیابی، حجم کل آب مورد استفاده برای آبیاری محصولات زراعی مورد مطالعه ۳۷/۸ میلیارد مترمکعب برآورد شده است. این رقم برای محصولات باغی و سبزی و صیفی مورد مطالعه به ترتیب ۱۹/۹ و ۴/۰ میلیارد مترمکعب است. حجم کل آب آبیاری دیگر محصولاتی که در این تحقیق ارزیابی نشده اند ۹/۴ میلیارد مترمکعب برآورد شده است (شکل ۵). در مجموع، حجم کل آب مورد استفاده برای آبیاری محصولات آبی کشور ۷۱/۱ میلیارد مترمکعب برآورد می شود که حدود ۷۰ درصد حجم کل آب تجدیدپذیر

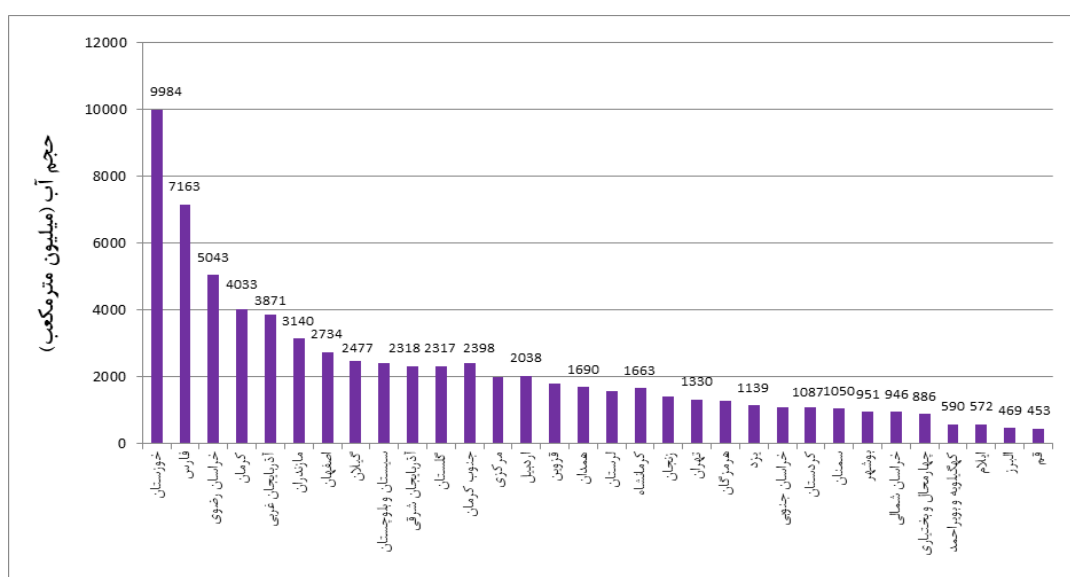


شکل ۵- مقایسه حجم کل آبیاری محصولات زراعی، باغی و سبزی و صیفی

Fig. 5- Comparison of the total applied irrigation water for different crops

داشته‌اند. اقلیم گرم و خشک در بخش‌های زیادی از استان‌های خوزستان، فارس، کرمان و خراسان رضوی و کشت محصولات آب‌بری مانند نیشکر، خرما، مرکبات و چغندر قند نیز از دیگر دلایل است. حجم آب آبیاری در هر یک از استان‌های بوشهر، خراسان شمالی، چهارمحال و بختیاری، کهگیلویه و بویراحمد، ایلام، البرز و قم کمتر از یک میلیارد مترمکعب بوده است.

در شکل (۶) حجم آب آبیاری در استان‌های مختلف با هم مقایسه شده است. استان‌های خوزستان (۹۹۸۴)، فارس (۷۱۶۳)، کرمان (۶۴۳۱)، خراسان رضوی (۵۰۴۳)، آذربایجان غربی (۳۸۷۱) و مازندران (۳۱۴۰) میلیون مترمکعب) بیشترین حجم آب آبیاری را داشته‌اند. دلیل اصلی آن، وسعت زیاد اراضی آبی این استان‌هاست. بر اساس آمارنامه‌های کشاورزی، استان‌های خوزستان، فارس، خراسان رضوی و کرمان بیشترین سطح اراضی آبی کشور را



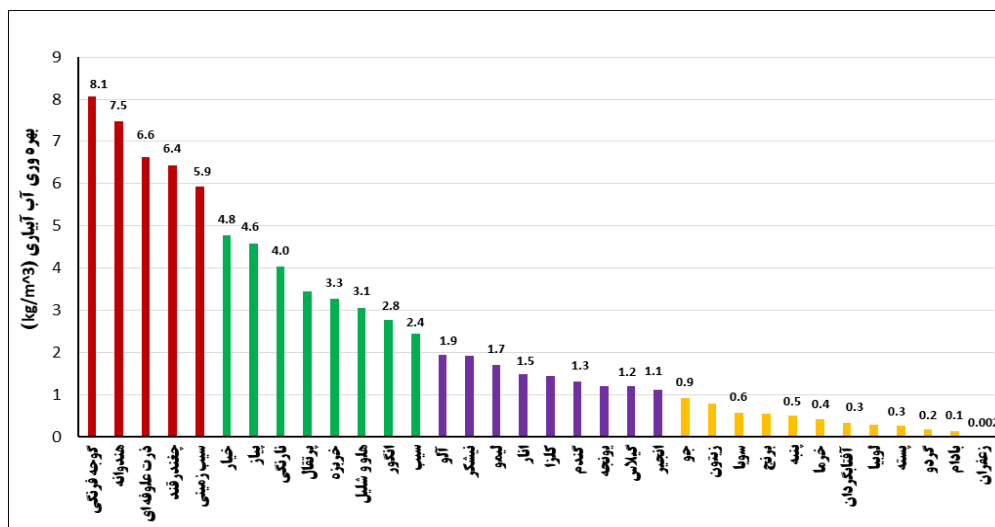
شکل ۶- مقایسه حجم آب آبیاری در استان‌های مختلف

Fig. 6- Comparison of the volume of Irrigation water in different provinces

خریزه، پرتقال، پیاز، خیار، نارنگی با میانگین بهره‌وری آب آبیاری $3/55$ کیلوگرم بر مترمکعب، قرار دارند. در خوشه چهارم سیب زمینی، چغندر قند، ذرت علوفه‌ای، گوجه فرنگی و هندوانه با میانگین بهره‌وری آب آبیاری $6/91$ کیلوگرم بر مترمکعب، قرار دارند. میانگین شاخص بهره‌وری فیزیکی آب آبیاری محصولات مورد مطالعه $1/9$ کیلوگرم بر مترمکعب برآورد شده است که بیشتر از مقادیر گزارش شده برای این شاخص در کشور است. عباسی و همکاران (Abbasi et al., 2019) مقادیر شاخص بهره‌وری فیزیکی آب آبیاری را برای بازه زمانی ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۶ برابر $1/0$ تا $1/45$ کیلوگرم بر مترمکعب اعلام کرده‌اند.

بهره‌وری آب آبیاری

شاخص بهره‌وری فیزیکی آب آبیاری محصولات مورد مطالعه در شکل (۷) مقایسه شده است. چهار خوشه برای محصولات مورد مطالعه بر مبنای بهره‌وری آب آبیاری در نظر گرفته شده است (نتایج دندوگرام نشان داده نشده‌اند). در خوشه اول زعفران، بادام، گردو، پسته، لوبیا، آفتابگردان، برنج، سویا، خرما، پنبه، زیتون و جو با میانگین بهره‌وری آب آبیاری $0/36$ کیلوگرم بر مترمکعب قرار دارند. در خوشه دوم، لیمو، آلو، نیشکر، گیلان، یونجه، انجیر، گندم، کلزا و انار با میانگین بهره‌وری آب آبیاری $1/48$ کیلوگرم بر مترمکعب دیده می‌شوند. در خوشه سوم هلو و شلیل، انگور، سیب،



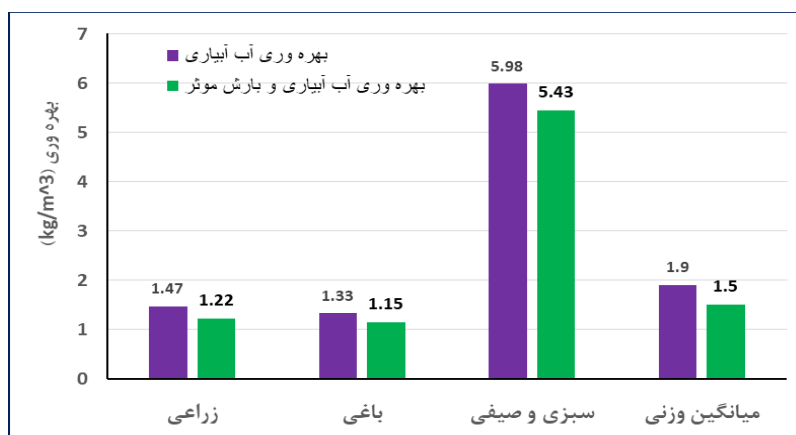
شکل ۷- مقایسه شاخص بهره‌وری فیزیکی آب آبیاری محصولات مورد مطالعه

(ستون‌های هم‌رنگ از نظر آماری در یک خوشه قرار گرفته‌اند)

Fig. 7- Comparison of physical irrigation water productivity of different crops (columns of the same color are statistically placed in the same cluster)

باید در سیاست‌گذاری‌های کلان کشور از جمله تدوین الگوی کشت، مناطق مستعد کشت سبزی و صیفی شناسایی و مدنظر قرار گیرد. میانگین وزنی بهره‌وری آب محصولات مورد مطالعه ۱/۵ کیلوگرم بر مترمکعب است که با مقدار هدف‌گذاری شده در برنامه چشم‌انداز ۲۰ ساله بسیار نزدیک است. بهره‌وری آب در سند ملی دانش بنیان امنیت غذایی ۲/۶ کیلوگرم بر مترمکعب برای سال ۱۴۱۱ هدف‌گذاری شده است.

در شکل (۸)، بهره‌وری فیزیکی آب آبیاری و بهره‌وری آب (آب آبیاری و بارش موثر) محصولات مورد مطالعه مقایسه شده‌اند. نتایج تحقیق نشان می‌دهد میانگین بهره‌وری آب محصولات زراعی و باغی تفاوت زیادی با هم ندارند. ولی میانگین بهره‌وری آب محصولات سبزی و صیفی به‌طور قابل توجهی بیشتر از میانگین بهره‌وری آب محصولات زراعی و باغی است. یافته‌های این تحقیق بر اساس شاخص بهره‌وری فیزیکی آب، مزیت نسبی کشت گیاهان سبزی و صیفی را نسبت به سایر محصولات نشان می‌دهد. از این‌رو، این موضوع



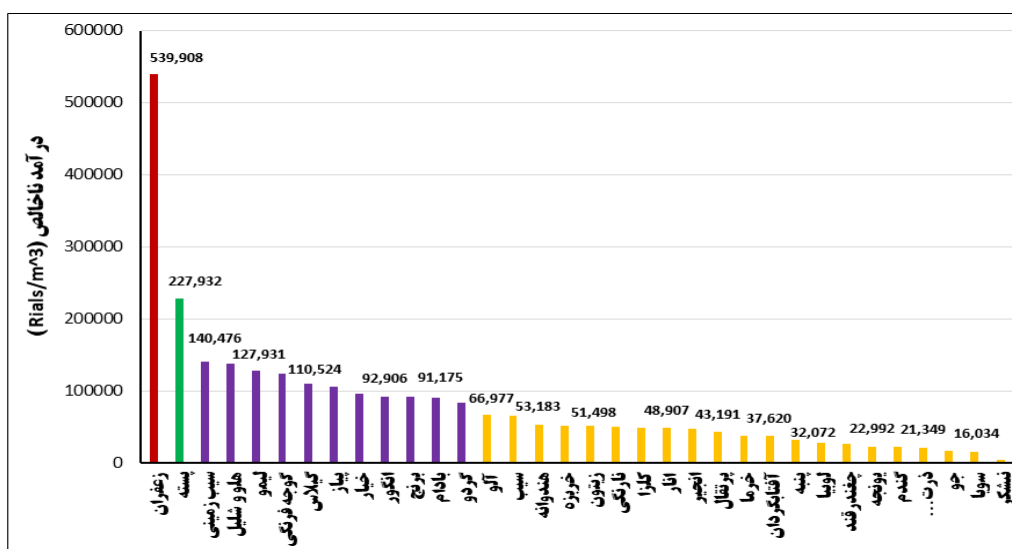
شکل ۸- مقایسه بهره‌وری فیزیکی آب آبیاری و بهره‌وری آب محصولات مورد مطالعه

Fig. 8 - Comparison of physical water and irrigation productivity of different crops

شاخص درآمد ناخالص

گوجه‌فرنگی، گیلان، پیاز، خیار، انگور، برنج، بادام و گردو با میانگین درآمد ناخالص ۱۰۹۴۳۳ ریال بر مترمکعب قرار دارند. در خوشهٔ چهارم آلو، سیب، خربزه، هندوانه، زیتون، نارنگی، کلزا، انار، انجیر، پرتقال، خرما، آفتابگردان، پنبه، لوبیا، چغندرقد، یونجه، گندم، ذرت علوفه‌ای، جو، سویا، نیشکر هستند با میانگین درآمد ناخالص ۳۷۹۹۱ ریال بر مترمکعب. از نظر شاخص درآمد ناخالص به ازای واحد حجم آب آبیاری، نیشکر، سویا، جو، ذرت علوفه‌ای، گندم و یونجه کمترین مقدار این شاخص را دارند.

در شکل (۹) محصولات مورد مطالعه از نظر شاخص درآمد ناخالص به ازای واحد حجم آب آبیاری با هم مقایسه شده‌اند. برای محصولات مورد مطالعه بر مبنای شاخص درآمد ناخالص به ازای مصرف یک مترمکعب آب در تولید محصول، چهار خوشه در نظر گرفته شد (نتایج دندوگرام نشان داده نشده‌اند). در خوشهٔ اول زعفران با میانگین درآمد ناخالص ۵۳۹۹۰۸ ریال بر مترمکعب و در خوشهٔ دوم پسته با میانگین درآمد ناخالص ۲۲۷۸۳۲ ریال بر مترمکعب قرار دارد. در خوشهٔ سوم سیب‌زمینی، هلو و شلیل، لیمو،



شکل ۹- مقایسه محصولات مورد مطالعه بر مبنای شاخص درآمد ناخالص به ازای واحد حجم آب (ستون‌های هم‌رنگ از نظر آماری در یک خوشه قرار گرفته‌اند. قیمت فروش محصولات مختلف از مرکز ملی آمار ایران برای سال ۱۳۹۹ استخراج شده است)

Fig. 9 - Comparison of studied crops based on gross income index per unit of applied irrigation water (columns of the same color are statistically placed in the same cluster)

نتیجہ گیری

(۱۳۸۰) و لیمو (۱۲۶۲۲) محصولاتی هستند که از نظر حجم آب آبیاری در واحد سطح بیشترین آن را داشته‌اند. کلزا (۳۹۸۴)، زعفران (۴۶۲۳)، هندوانه (۴۷۵۱)، سویا (۴۸۲۴)، جو (۴۸۰۹) و گندم (۴۸۳۱) نیز کمترین حجم آب آبیاری در واحد سطح را داشته‌اند.

با توجه به مجموعه نتایج بدست آمده از اندازه‌گیری‌ها و ارزیابی‌های این مطالعه، موارد زیر قابل استنتاج و ارائه است:

میانگین وزنی حجم آب آبیاری (نسبت به سطح زیرکشت) ۳۵ محصول مورد مطالعه ۸۰۳۲ مترمکعب بر هکتار تعیین گردید که این شاخص به تفکیک محصولات

میانگین حجم آب آبیاری محصولات مختلف از ۳۹۸۴ مترمکعب بر هکتار برای محصول کلزا تا ۳۲۵۰۰ مترمکعب بر هکتار برای نیشکر متغیر است. گیاهان گرمسیری از جمله نیشکر (۳۲۵۰۰)، خرما (۱۹۱۷۶)، انار، (۱۴۵۰۰)، بونجه

باغی، زراعی و سبزی و صیفی به ترتیب ۹۱۶۲، ۷۶۶۹ و ۷۲۴۷ مترمکعب بر هکتار است.

نسبی اقتصادی آب (Jafari and Abbasi, 2023) نیز برآورد و تحلیل شود.

سطح زیرکشت هر محصول عامل مهمی در تعیین حجم آب آبیاری هر محصول است. گندم، به رغم اینکه از نظر حجم آب آبیاری در واحد سطح، محصولی آب بر نیست؛ ولی با توجه به سطح زیرکشت زیاد آن در کشور (حدود ۲ میلیون هکتار) بیشترین حجم آب آبیاری را با ۹/۵ میلیارد مترمکعب داشته است. برنج، یونجه، خرما و پسته به ترتیب با ۸/۳، ۷/۷، ۴/۴ و ۳/۸ میلیارد مترمکعب در رتبه های بعدی قرار دارند.

میانگین شاخص بهره‌وری فیزیکی آب آبیاری محصولات مورد مطالعه ۱/۹ کیلوگرم بر مترمکعب برآورد شده است که بیشتر از مقادیر گزارش شده برای این شاخص در کشور است. عباسی و همکاران (Abbasi et al., 2019) مقادیر شاخص بهره‌وری فیزیکی آب آبیاری را برای بازه زمانی ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۶ برابر ۱/۰ تا ۱/۴۵ کیلوگرم بر مترمکعب اعلام کرده‌اند.

آفتابگردان، خیار، آلو، انجیر و سویا به ترتیب با ۳۲۰، ۲۷۰، ۲۶۰، ۱۰۰ و ۹۰ میلیون مترمکعب کمترین حجم کل آب آبیاری را داشته‌اند.

برخی محصولات مانند نیشکر و انار، به رغم اینکه جزء محصولاتی هستند که بیشترین حجم آب آبیاری در واحد سطح را به دست آورده‌اند، ولی به دلیل سطح زیرکشت کمتر آنان نسبت به دیگر محصولات در کشور، شاخص حجم کل آب آبیاری آنها در مقایسه با محصولات دیگر بسیار کم است.

حجم کل آب مورد استفاده برای ۳۵ محصول مورد مطالعه ۶۱/۷ میلیارد مترمکعب برآورد شده است که بیش از ۶۰ درصد آن به محصولات زراعی و حدود ۵۵ درصد آن به ۵ محصول گندم، برنج، یونجه، خرما و پسته اختصاص دارد.

حجم کل آب آبیاری دیگر محصولاتی که در این تحقیق ارزیابی نشده‌اند، ۹/۴ میلیارد مترمکعب برآورد شده است.

در مجموع، حجم کل آب مورد استفاده برای آبیاری محصولات آبی کشور حدود ۷۱ میلیارد مترمکعب برآورد می‌شود که حدود ۷۰ درصد حجم کل آب تجدیدپذیر کشور است.

میانگین وزنی بهره‌وری آب محصولات مورد مطالعه ۱/۵ کیلوگرم بر مترمکعب است که با مقدار هدف گذاری شده در برنامه چشم‌انداز ۲۰ ساله بسیار نزدیک است. ضرورت دارد شاخص بهره‌وری آب برای محصولات مختلف در کشور با شاخص‌های جدید بهره‌وری آب مانند شاخص بهره‌وری

شاخص بهره‌وری آب، اگرچه معیاری است بسیار مهم در تصمیم‌گیری و تعیین مزیت نسبی کشت، اما گاهی قیود حاکم بر ساختار کشاورزی مثل کیفیت آب، جنبه‌های زیست‌محیطی، ریسک تولید و بازار، فرآوری و حتی مسائل اجتماعی و سیاسی، سبب می‌شود تصمیمات مدیریتی متناسب با شرایط گرفته شود.

شاخص بهره‌وری آب صرفاً متأثر از برنامه و سامانه آبیاری نیست و عوامل مهم و فراوانی در آن دخالت دارند که عبارت‌اند از آب و آبیاری (کیفیت و کمیت آب، منبع آب، نظام و روش آبیاری، نیاز آبی و آبیاری، برنامه آبیاری، نوسان‌های سطح ایستابی و زهکشی، مدیریت زراعی، کم‌آبیاری، پارامترهای اقلیمی، آبیاری تکمیلی و تک‌آبیاری، استحصال و جمع‌آوری آب باران)، خاک و تغذیه، گیاه، اقلیم، آفات و بیماری‌ها و علف‌های هرز، اقتصاد و بازار، فرآوری و بسته‌بندی، قوانین و برنامه‌ریزی، ماشین‌های کشاورزی، الگوی تولید و الگوی کشت.

برای ارتقای بهره‌وری آب دو راهبرد کلی شامل روش‌های مستقیم و روش‌های غیرمستقیم وجود دارد. در روش‌های مستقیم با افزایش صورت کسر بهره‌وری، کاهش

مخرج کسر و یا با روش‌های تلفیقی همزمان با کاهش مخرج کسر، صورت کسر نیز افزایش یابد. در روش‌های غیرمستقیم (مثل کاهش ضایعات محصولات کشاورزی)، اساساً به فرآیندهایی پرداخته می‌شود که اگرچه بسیار اهمیت دارد و برای آن نهاده‌های مختلف مصرف شده، اما کمتر مورد توجه واقع شده‌اند.

برنامه‌های بالادستی نزدیک شده‌است و راهبردهای مستقیم به‌ویژه کاهش حجم آب در مخرج کسر بهره‌وری دیگر تاثیر چندانی در ارتقای شاخص‌های ذکر شده نخواهند داشت. از این‌رو، در کنار کاربرد فناوری‌ها و تکنولوژی‌های نو برای ارتقای بهره‌وری پیشنهاد می‌شود راهبردهای غیرمستقیم از جمله کاهش ضایعات محصولات کشاورزی در اولویت قرار گیرد. استفاده بهینه از تولیدات موجود، فرآوری و کاهش ضایعات در حقیقت نوعی افزایش بهره‌وری منابع تولید است.

با توجه به وضعیت موجود مقادیر شاخص‌های راندمان آبیاری و بهره‌وری آب و روند افزایشی آنها، به نظر می‌رسد که کشور در آینده نزدیک به مقادیر هدف‌گذاری شده در

مراجع

- Abbasi, F., Abbasi, N. & Naseri, A. 2019. The technical-economic effects of knowledge and technology on the promotion of water productivity in production areas. *Baztab-e-Tat*, 2(1), 5-6. (in Persian).
- Abbasi, F., N. Abbasi, and A.R. Tavakoli, 2017. Water productivity in agriculture; Challenges and prospects. *Journal of Water and Sustainable Development*, 4(1): 141-144. (in Persian).
- Ahmadi, K., Ebadzadeh, H.R., Hatami, F., Hosseinpour, R. & Abdshah, H. 2019. Agricultural Statistics of the Crop in Year 2017-2018. Volume 3: Crop Products. Ministry of Jihad e Agriculture, Deputy of Planning and Economy, Information and Communication Technology Center. 166 p.
- Ghodratnema, G.H. 1998. Water resources, uses and demands for water in Iran: present and future. *J. Water Develop.* 6(3): 20-46. (in Persian)
- Jafari, H., and F. Abbasi, 2023. Introducing and evaluation of relative economic water productivity index. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 54 (7): 1095-1114. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.358941.669495>.
- Manly, B.F.J., 1994. *Multivariate Statistical Methods: A Primer*. Second Edition, Chapman and Hall/CRC, 232p.
- Mohammad-Vali-Samani, J. 2005. Water resources management and sustainable development. Infrastructure Studies Office of the Islamic Consultative Assembly. Report No. 7374. (in Persian).
- Molden, D. 2007. *Water for Food. Water for Life. A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture*. International Water Management Institute (IWMI) and FAO.
- Movahheddaneh, A.S. 1994. *Hydrology of Surface Water. The Study and Compilation of Humanities Pub.* (in Persian)
- Naseri, A., F. Abbasi, and M. Akbari, 2017. Estimating agricultural water consumption by analyzing water balance. *Irrigation and Drainage Structures Engineering Research*, 18(68): 17-32. (In Persian).
- Nasseri, A., F. Abbasi and M. Akbari, 2018. Estimation of Water Consumption in Agricultural Sector. Research Report, No. 54001, Agricultural Engineering Research Institute, Karaj. Iran. (in Persian).
- Sarmad, Z., A. Bazargan, and E. Hejazi, 2001. *Research Methods in Behavioral Sciences*. Agah Publishing, Tehran, 405 pp.
- SCS, 1972. U.S. Soil Conservation Service, *National Engineering Handbook*, Hydrology Section 4.

Shiklomanov, I.A., 2000. Appraisal and assessment of world water resources. *Water International*, 25(1): 11-32, DOI: 10.1080/02508060008686794.

Tavakoli, A.R., H. Ramazani Etedali, and M. Sarai Tabrizi, 2021. Green Water Productivity, ways to improving it in agriculture. Gazvin, Imam Khomeini International University (IKIU) Press, 429p

A Review of Water Consumption Management Indicators of different Crops in Iran

F. Abbasi^{*1}, M. Akbari¹, A. Nasser¹, N. Abbasi¹, J. Baghani¹, M. Joleini¹, M.A. Shahrokhnia¹, M.M. Nakhjavani¹, S. Sepehri Sadeghian¹, M. Moayeri¹, A.R. Hassanoghli¹, A. Haghayeghi¹, A.Ghadami Firouzabadi¹, H.Mousavi Fazl¹, M.R. Yazdani²

***Corresponding Author:** Professor Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

Received: 5 January 2024, **Accepted:** 5 June 2024

Email: Fa.abbasi@areeo.ac.ir

https://doi.org/10.22092/IDSER.2024.364605.1569

Extended Abstract

Introduction

In terms of water consumption in different sectors, in Iran as in other countries, a significant part of surface and groundwater resources is used in agricultural sector. For the amount of water consumed in Iran's agricultural sector, different numbers have been reported in various sources. In the past three decades, water consumption in agricultural sector in various sources and methods has been reported between 44 and 86 billion cubic meters (Movaheddanesh, 1994; Ghodratnema, 1998; Mohammad-Vali-Samani, 2005; Nasser *et al.*, 2017; 2018). The physical water productivity is also one of the important indicators of irrigation management, which is determined by using the amount of product produced per unit of applied irrigation water. Abbasi *et al.* (2017) estimated and analyzed water productivity values in Iran for different years. They estimated the values of water productivity varying from 0.94 to 1.29 kg/m³ and average being 1.07 kg/m³. Abbasi *et al.* (2019) also showed that water productivity index in Iran had an upward trend with a slope of 0.045 kg per year. It varied from 1.0 kg/m³ in 2008 to about 1.45 kg/m³ in 2017. Past researches regarding the estimation of water consumption in agricultural sector have been reported with estimation methods such as water balance method, which was not accurate and was associated with errors. On the other hand, the figures presented for the amount of water consumed in agricultural sector are very different and there are doubts about their accuracy. Despite the importance of the issue, accurate information on the amount of irrigation water for agricultural crops in different regions of Iran is not available and this issue has always been one of the main concerns of the water industry managers and planners. Therefore, carrying out a research work that leads to more accurate numbers about the amount of applied irrigation water for different crops, can be of great help to the decision-making of officials related to water and agriculture. The main goal of this article is a comprehensive evaluation of water management indicators in agricultural sector (including the water productivity and applied irrigation water for different crops).

Methodology

Field measurements including applied irrigation water and crop yield were carried out for at least one cropping season in the production hubs of each crop. Twelve crops included 12 wheat, rice, barley, fodder corn, alfalfa, sugar beet, sugar cane, beans, sunflower, cotton, rapeseed, and soybean, 17 garden crops included saffron, apple, olive, orange, tangerine, peach, nectarine, plum, lemon, fig, grape, date, pomegranate, walnut, almond, pistachio, and cherry and 6 vegetable and summer crops were tomato, watermelon, potato, cucumber, melon, and onion. These crops covered more than 85% of the cultivated area and irrigated lands in different provinces. For each crop, applied irrigation water was measured in a crop season and the yield for one year or the average of two years, but for garden plants, due to climate changes and frost damages, the average yield of 1-3 years was determined and used in the analysis. Physical water productivity of irrigation water from the ratio of crop yield to applied irrigation water and water productivity from the ratio of crop yield to water (total volume of irrigation water and effective precipitation) and gross income per unit of applied irrigation water was calculated from the product of crop yield in the sales price divided by the applied irrigation water. In this research, the cluster analysis model was used to determine the homogeneous crops.

Results and Discussion

The results showed that applied irrigation water for different crops varied from 3984 for rapeseed to 32500 cubic meters per hectare for sugarcane. So that the weighted average applied irrigation water of 35 studied crops was determined to be 8032 cubic meters per hectare. This index was 9162, 7669 and 7247 cubic meters per hectare for garden, agricultural, vegetable and summer crops, respectively. Also, the total applied water used for the 35 studied crops was estimated at 61.7 billion cubic meters and the total irrigation water for other crops that were not evaluated in this research was estimated at 9.4 billion cubic meters. The total water used in irrigated crops was estimated at 71 billion cubic meters, which was about 70% of the total renewable water in Iran. The weighted average of irrigation water productivity and water productivity of the studied crops was determined as 1.9 and 1.5 kg/m³, respectively. Saffron and pistachio provided the highest gross income per unit of irrigation water and sugarcane, soybean, barley, fodder corn, wheat and alfalfa had the lowest values.

Conclusions

The results of this research provided valuable information for managers and decision makers in different provinces of Iran.

Keywords: Applied irrigation water, Physical productivity, Cluster analysis, Gross income

تأثیر اصلاح الگوی کشت بر بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب آبیاری محصولات زراعی در استان فارس (بررسی موردی: دشت قادر آباد-مادر سلیمان)

امیر اسلامی^{۱*}، عبدالرسول شیروانیان^۲ و غلامرضا زارعیان^۳

^{۱*} استادیار پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، شیراز، ایران

^۲ استادیار بخش تحقیقات اقتصادی، اجتماعی و ترویجی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، شیراز، ایران

^۳ استادیار پژوهش، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، شیراز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۰۲

چکیده

افت شدید سطح آب سفره‌های آب زیرزمینی دشت‌ها، نشان از نبود رویکرد مناسب برای ایجاد هم‌افزایی بین تمامی ذی‌نفعان حوزه آب در مدیریت منابع آب است. انکارناپذیر بودن محدودیت منابع آب، موجب شده اتخاذ مدیریت یکپارچه منابع آب به‌عنوان یک الزام مورد توجه قرار گیرد. در این خصوص، باید در هر دشت کشاورزی تطابق برداشت از منابع آب زیرزمینی با آب قابل‌برنامه‌ریزی وجود داشته باشد تا از شدت بحران کاسته شود و به‌مرور زمان به تعادل بخشی دشت کمک شود. از این‌رو، اجتناب از توسعه افقی در بخش کشاورزی و پرداختن به افزایش بهره‌وری آب باید در دستور کار تصمیم‌گیران، به ویژه در مبحث برنامه‌ریزی الگوی کشت، قرار گیرد. این پژوهش با هدف نقش اصلاح الگوی کشت در ارتقای بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در دشت قادرآباد-مادرسلیمان استان فارس به انجام رسیده است. داده‌های مورد نیاز محصولات شامل تقویم زراعی، قیمت محصول در زمان برداشت، هزینه تولید، عملکرد، میزان آب قابل برنامه‌ریزی ماهانه دشت و میزان آب آبیاری ماهانه هر یک از محصولات مربوط به سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ بوده است که به صورت اسنادی از سازمان جهاد کشاورزی و شرکت آب منطقه‌ای استان فارس جمع‌آوری گردید. داده‌ها به روش برنامه‌ریزی ریاضی و با استفاده از نرم‌افزار GAMS تجزیه و تحلیل شدند. نتایج تحقیق نشان داد، اصلاح الگوی کشت در این دشت سبب صرفه‌جویی سالانه ۸/۶۴ میلیون مترمکعب آب (معادل ۲۶ درصد کاهش نسبت به مصرف الگوی کشت فعلی دشت)، افزایش ۱۱ درصد در بهره‌وری فیزیکی و افزایش ۳۹/۴ درصد در بهره‌وری اقتصادی آب نسبت به الگوی فعلی کشت شده است.

واژه‌های کلیدی: آب قابل برنامه‌ریزی، تغییر اقلیم، کمبود آب، معیشت بهره‌بردار

مقدمه

مواجهه است و با افزایش جمعیت و تغییر سلیقه‌ها و ذائقه‌ها، روزبه‌روز بر تقاضای مواد غذایی بخش کشاورزی، هم از بعد کمی و هم از بعد کیفی، افزوده می‌شود. این موضوع اتخاذ تدابیر مناسب برای کاهش فشار بر منابع پایه (آب و خاک) از یک‌سو و از سوی دیگر، تأمین امنیت غذایی را به یک مسئولیت سیاسی، اقتصادی و اجتماعی برای تصمیم

کشاورزی بخش کلیدی در توسعه اقتصادی و اجتماعی در کشورهای در حال توسعه است. این بخش نقش حیاتی در تأمین امنیت غذایی، تنوع اقتصادی، کاهش فقر و ایجاد رفاه اجتماعی دارد. در حال حاضر، ایران و به ویژه استان فارس با قرار گرفتن در اقلیم خشک و نیمه‌خشک، با محدودیت‌های اساسی در منابع پایه از جمله آب و خاک

گیرندگان و متولیان بدل کرده است. در این راستا، برنامه ریزی الگوی کشت شیوه ای است که با جمع تمام هدف های به ظاهر متضاد، امکان نیل به هدف های یاد شده را ممکن می سازد. در بُعد عملیاتی، در هر الگوی کشت مواردی مانند تعیین نظام کشاورزی مبتنی بر مزیت اقتصادی پایدار با تکیه بر سیاست های کلان کشور، دانش بومی کشاورزان و بهره گیری بهینه از پتانسیل های منطقه ای با رعایت اصول اکوفیزیولوژیک تولید محصولات کشاورزی در راستای حفظ محیط زیست مورد توجه قرار می گیرد.

در حال حاضر آنچه برای اکثر قریب به اتفاق دشت های کشور و به ویژه دشت های استان فارس رخ داده است افت شدید سطح آب سفره های آب زیرزمینی است. بر اساس آخرین آمار موجود، سطح آب زیرزمینی دشت های استان فارس در فاصله زمانی شهریورماه ۱۳۸۳ تا شهریورماه ۱۳۹۷ به میزان ۱۰/۸۶ متر افت داشته است (Report on water resources & consumption, 2017). این موضوع از نبود رویکرد مناسب برای ایجاد هم افزایی بین کلیه ذی مدخلان و ذی نفعان حوزه آب به ویژه وزارت نیرو و وزارت جهاد کشاورزی در مدیریت منابع آب نشان دارد. از سوی دیگر، انکارناپذیر بودن محدودیت منابع آب موجب شده اتخاذ مدیریت یکپارچه منابع آب به عنوان یک الزام و اجبار مورد توجه قرار گیرد. در این خصوص، آنچه باید به آن اذعان کرد دوری جستن از توسعه افقی در بخش کشاورزی و پرداختن به افزایش بهره وری آب و به عبارت دیگر، توسعه عمودی است. باید توجه داشت که شاخص بهره وری آب از دو بُعد فنی و اقتصادی می تواند در دستور کار قرار گیرد. بهره وری فیزیکی آب، میزان تولید کشاورزی به ازای هر واحد آب مصرفی در تولید محصولات کشاورزی است. بهره وری اقتصادی آب، ارزش تولید حاصل از هر واحد آب مصرفی است (Askari Bezaye et al., 2019). در ادامه به برخی از سوابق تحقیقات در زمینه بهره وری آب، میزان آب آبیاری و اصلاحات الگوی کشت پرداخته می شود.

نتایج تحقیقات نشان داد که عوامل مختلفی شامل آبیاری و زهکشی مناسب، مدیریت حاصلخیزی خاک، کاهش عملیات خاک ورزی، حفظ رطوبت خاک و استفاده از ارقام مقاوم به خشکی و بیماری در بهبود بهره وری آب کشاورزی تأثیرگذار هستند (Fischer et al., 2009; Geerts & Raes, 2009; De Vries et al., 2010; Arora et al., 2011; Balwinder et al., 2011).

به عنوان یک اصل مهم در بهره وری آب کشاورزی، زمانی تنش آب به تنهایی به بهبود بهره وری آب کمک خواهد کرد که دیگر تنش ها (کمبود مواد مغذی، علف های هرز و بیماری) نیز کاهش داده شده یا حذف شده باشند (Bouman, 2007). برای مثال، مدیریت آب باید توأم با مدیریت تغذیه، مدیریت خاک و مدیریت آفات باشد (Bindraban et al., 2000; Rockström & Barron, 2007).

رضوی و همکاران (Razavi et al., 2021) در خصوص ارزیابی بازدهی کاربرد آب در مزارع گندم، چغندر قند، لوبیا و یونجه با روش آبیاری سطحی، در شرایط کشاورزان استان آذربایجان غربی تحقیق کردند. بر اساس نوع مدیریت، قطعات زراعی انتخاب و سپس اندازه گیری بده ورودی، رواناب خروجی، رطوبت قبل و بعد از آبیاری، عمق توسعه ریشه و دیگر عوامل لازم برای محاسبه بازدهی کاربرد آب اجرا گردید. نتایج تحقیق نشان داد که متوسط بازدهی کاربرد آب آبیاری در اکثر مزارع تحت مطالعه نسبت به میانگین ارقام گزارش شده کشور بیشتر و مقادیر آن بسته به مدیریت کشاورز، روش آبیاری و نوع محصول متغیر است. حداقل و حداکثر بازدهی کاربرد آب در مزارع تحت مطالعه به ترتیب ۳۶ و ۹۵ درصد به دست آمد. عباسی و همکاران (Abbasi et al., 2014) حجم آب مصرفی به روش بیلان آب را برآورد کردند که بر اساس این ارقام و آمار مربوط به تولید محصولات زراعی و باغی کشور در سال های مختلف، مقادیر بهره وری آب از ۰/۹۴ تا ۱/۲۹ کیلوگرم بر مترمکعب متغیر و متوسط آن ۱/۰۷ کیلوگرم بر مترمکعب است.

هکتار، ۸۹۸۰ مترمکعب در هکتار و ۰/۴۳ کیلوگرم بر مترمکعب به‌دست آمد. براساس شاخص $NBPD^1$ (سود خالص به ازای واحد حجم آب مصرفی) استان‌های فارس، خراسان شمالی و اردبیل به ترتیب بیشترین و دو استان سمنان و البرز به ترتیب کمترین میزان بهره‌وری اقتصادی آب در تولید پنبه را دارا بودند. سپهری صادقیان و همکاران (Sepehri Sadeghian et al., 2022) در پروژه‌ای تحقیقاتی حجم آب کاربردی و عملکرد آلو در ۱۷۷ باغ منتخب در هشت استان قطب تولید این محصول در کشور (استان‌های آذربایجان غربی، فارس، تهران، خراسان رضوی، همدان، البرز، قزوین و گلستان) به‌طورمستقیم طی یک سال زراعی ۱۳۹۹-۱۴۰۰ اندازه‌گیری کردند و نشان دادند تفاوت عملکرد، حجم آب آبیاری و آب کاربردی و شاخص‌های بهره‌وری آب در استان‌های یادشده بسیار معنی‌دار است. حجم آب آبیاری آلو در مناطق مورد مطالعه از ۴۰۶۴ تا ۱۰۶۱۹ مترمکعب در هکتار متغیر بود و میانگین وزنی آن ۷۸۲۳ مترمکعب در هکتار به‌دست آمد. در خصوص شاخص عملکرد آلو در استان‌های مورد مطالعه، میانگین عملکرد از ۱۱۵۳۹ تا ۱۹۲۱۳ کیلوگرم بر هکتار متغیر و میانگین وزنی آن ۱۵۰۲۲ کیلوگرم بر هکتار بود. میانگین وزنی بهره‌وری آب آبیاری در تمامی مزارع منتخب معادل ۲/۲۷ کیلوگرم بر مترمکعب تعیین شد. محمدی و همکاران (Mohammadi et al., 2014) به بهینه‌سازی الگوی کشت با تاکید بر منافع اجتماعی در بهره‌برداری منطقی آب در تولید محصولات زراعی در شهرستان مرودشت پرداخته‌اند. به‌منظور تعیین الگوهای بهینه کشت در سطح دشت از الگوهای برنامه‌ریزی ریاضی استفاده شده است. بخشی از داده‌های مورد نیاز در این مطالعه از جمله عملکرد تولید هریک از محصولات زراعی، قیمت و هزینه تولید محصولات زراعی و میزان نهاده‌های مورد نیاز برای تولید محصولات مختلف زراعی از یک هکتار زمین با استفاده از روش نمونه‌گیری خوشه‌ای دو مرحله‌ای و از طریق مصاحبه

با مقایسه نتایج مشخص شد که شاخص بهره‌وری آب در کشور طی ۱۰ سال گذشته منتهی به سال ۱۳۹۴ روند صعودی داشته است که این روند به معنای اثربخشی فعالیت‌ها در خصوص افزایش تولید و کاهش حجم آب مصرفی در کشور است. شاهرخ‌نیا و همکاران (Shahrokhnia et al., 2022) در یک سال زراعی با اندازه‌گیری آب آبیاری و محاسبه بهره‌وری آب در ۳۰ مزرعه گندم در سه منطقه آب و هوایی مختلف استان فارس نشان دادند که متوسط مقدار آب آبیاری کاربردی در مزارع گندم معادل ۵۳۴۰ مترمکعب در هکتار و میزان بهره‌وری آب آبیاری ۱/۲۵ کیلوگرم بر مترمکعب است. تفاوت بهره‌وری آب آبیاری در منطقه گرم با منطقه سرد و منطقه گرم با منطقه معتدل در سطح پنج درصد معنی‌دار بوده است. شاهرخ‌نیا و همکاران (Shahrokhnia et al., 2022) در تحقیق دیگری بهره‌وری آب و میزان آب داده شده در ۷۰ باغ لیموترش مناطق مختلف استان فارس را در سال زراعی ۱۳۹۹ تا ۱۴۰۰ اندازه‌گیری کردند. در بین باغ‌های انتخابی، میزان حجم آب آبیاری از حدود ۶۰۰۰ تا ۲۱۰۰۰ مترمکعب در هکتار در سال متفاوت بود. میانگین کل حجم آب آبیاری ۱۳۳۷۶ مترمکعب در هکتار به‌دست آمد. میزان بهره‌وری آب آبیاری در باغ‌های انتخابی بین ۰/۶۹ تا ۳/۲۱ کیلوگرم بر مترمکعب و به‌طور متوسط ۱/۵۲ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمد. نخجوانی مقدم (Nakhjavani Moghaddam, 2018) میزان آب مصرفی پنبه در مزارع تحت مدیریت کشاورزان را در استان‌های برتر تولیدکننده این محصول در سال زراعی ۱۳۹۷ اندازه‌گیری کرد. در کل کشور ۱۲۱ مزرعه پنبه در استان‌های خراسان رضوی، فارس، گلستان، خراسان شمالی، اردبیل، سمنان و البرز انتخاب شد. میانگین آب مصرفی پنبه در کشور در دو روش آبیاری سطحی و قطره‌ای به ترتیب برابر ۹۰۹۷ و ۷۲۴۵ مترمکعب در هکتار به‌دست آمد. میانگین عملکرد پنبه، حجم آب مصرفی و بهره‌وری آب در سطح کشور به ترتیب ۳۳۸۴ کیلوگرم در

¹ Net Benefit Per Depth

بهره برداری (۰/۰۳۹) بیشترین اولویت را در انتخاب الگوی کشت داشته‌اند. نتایج تحقیق مبتنی بر روش تصمیم‌گیری چند معیاره تاپسیس نشان داد که کشت‌های چغندر قند پاییزه (۰/۵۹۸)، گندم (۰/۵۸۹)، جو (۰/۵۵۸)، کلزا (۰/۵۵۶)، نخود پاییزه (۰/۵۱۵)، برنج (۰/۴۹۹)، کینوا (۰/۴۷۱) و زعفران (۰/۳۹۰) به ترتیب، در اولویت الگوی کشت منطقه قرار دارند. رضوی اصل و همکاران (Rezaei *et al.*, 2022) الگوی کشت در منطقه سیستان را با تأکید بر توزیع بهینه آب، دانش کشاورزی و تولید پایدار ارزیابی کردند. در این مطالعه، با استفاده از برنامه‌ریزی غیرخطی چندهدفه با هدف حداکثرسازی سودخالص و حداقل‌سازی میزان آب آبیاری، مصرف کود و سموم شیمیایی الگوی کشت بهینه محصولات زراعی منطقه سیستان پیشنهاد شد. داده‌های مورد نیاز پژوهش از طریق سالنامه‌های آماری کشاورزی و مصاحبه با کارشناسان هر شهرستان و تکمیل پرسشنامه از کشاورزان منطقه گردآوری شد. نتایج بررسی‌ها نشان داد الگوی کشت موجود در منطقه سیستان بهینه نیست و با ادامه این الگو مشکلاتی مانند کمبود آب و آلودگی زیست‌محیطی به دلیل مصرف بی‌رویه نهاده‌های شیمیایی در منطقه ایجاد خواهد شد. با در نظر گرفتن هدف‌هایی مانند بیشینه‌سازی سود ناخالص و کمینه‌سازی مصرف آب آبیاری، کود و سموم شیمیایی و ریسک، سطح زیرکشت بعضی محصولات منتخب به دلایلی مانند درآمد محصول و میزان استفاده از نهاده‌ها با کاهش برخی با افزایش مواجه شد. بر اساس یافته‌های این تحقیق پیشنهاد شد سهم آب محصولات که به ازای هر مترمکعب آب مصرف شده درآمد بیشتری به دست آورده بودند افزایش یابد. با توجه به یافته‌های این مطالعه توجه به اهداف اثرهای زیست محیطی از جمله کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی در بهینه‌سازی الگوی کشت امری ضروری است. با استفاده از مدل پیشنهادی می‌توان علاوه بر انتخاب الگوی مناسب و استفاده بهینه از منابع آب و زمین، در راستای افزایش سود و کاهش اثرهای زیست محیطی گام مؤثری برداشت. درزی

حضور و تکمیل پرسشنامه با ۹۷ نفر از کشاورزان در شهرستان مرودشت جمع‌آوری شده است. نتایج حاصل از تعیین الگوی کشت بهینه با هدف حداکثر کردن منافع اجتماعی نشان می‌دهد که مجموع سطح زیرکشت در این حالت نسبت به کل سطح زیرکشت فعلی در سطح شهرستان مرودشت تغییر نکرده است؛ اما در این الگو محصولاتی مانند گندم آبی، گندم دیم، ذرت دانه‌ای، هندوانه، خیار، پیاز، عدس آبی و لوبیا از برنامه حذف شده و جو دیم، خربزه و پیاز (به ترتیب ۳۳۱۹۳، ۱۴۷۷ و ۴۳۱۲۶ هکتار) وارد الگوی کشت گردیده‌اند. از طرفی، سطح زیرکشت گوجه‌فرنگی به میزان ۹۳ هکتار افزایش یافته است. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که در الگوی حداکثر کردن منافع اجتماعی، میزان منافع اجتماعی و بازده برنامه‌ای نسبت به الگوی فعلی به ترتیب به میزان ۱۶۲۷۱۷۰ و ۱۴۸۲۹۱۵ میلیون ریال افزایش یافته است. سبزواری و همکاران (Sabzevari *et al.*, 2019) به بررسی الگوی کشت محصولات زراعی به‌عنوان راهکاری برای کاهش مخاطرات امنیت غذایی کشور پرداختند. در این مطالعه انتخاب الگوی کشت از اصلی‌ترین عوامل افزایش بهره‌وری تولید در کشاورزی محسوب شده است و تخصیص بهینه اراضی و تعیین محصولات مناسب کشت هر منطقه برای جلوگیری از مصرف بی‌رویه نهاده‌ها و کاهش مخاطرات ناشی از کمبود منابع تأمین غذا، پس از بررسی علمی عوامل مؤثر بر الگوی کشت و با در نظر گرفتن شاخص‌های مختلف قابل دستیابی ارزیابی شده است. آن پژوهش به تعیین عوامل مؤثر بر الگوی کشت و اولویت‌بندی آن‌ها در پهنه کشاورزی سیلاخور واقع در دورود لرستان پرداخته بود. روش تحقیق آن پژوهش کتابخانه‌ای، مصاحبه با خبرگان و پیمایشی (گردآوری پرسشنامه از کشاورزان) بود. برای اولویت‌بندی کشت محصولات کشاورزی از روش تاپسیس مبتنی بر آنتروپی شانون استفاده شد. نتایج بررسی‌ها نشان داد چهار معیار دسترسی به سرمایه نقدی مورد نیاز کشت و کار (۰/۲۳۶)، نیاز آبی محصول (۰/۲۳۳)، سود محصول (۰/۰۹۸) و بیشتر از یک هکتار بودن واحد

سود اقتصادی کشاورزان و منافع زیست‌محیطی را ایجاد کند.

در یک جمع‌بندی از ادبیات موضوع، نتایج تحقیقات گذشته دلالت بر اهمیت و تأثیر عوامل مختلف در بهینه‌سازی الگوی کشت دارد، هرچند به موضوع تأثیر اصلاح الگوی کشت در بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب کمتر پرداخته شده است. از این‌رو، در تحقیق حاضر به این مورد پرداخته خواهد شد.

دشت قادریاباد-مادرسلیمان یکی از دشت‌های بحرانی استان فارس از نظر منابع آب است و جامعیت اطلاعات مورد نیاز را برای تدوین الگوی کشت نیز دارد. بر این اساس، در تحقیق حاضر، این دشت برای مطالعه انتخاب گردید. هدف اصلی این پژوهش مقایسه بهره‌وری فیزیکی و بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری محصولات زراعی در الگوی کشت فعلی و الگوی کشت بهینه این دشت است.

مواد و روش‌ها

خصوصیات دشت مورد مطالعه

دشت قادریاباد-مادرسلیمان با ارتفاع ۱۸۰۰ متر از سطح دریا در محدوده جغرافیایی شهرستان‌های خرم‌بید و پاسارگاد در استان فارس قرار دارد (شکل ۱). موقعیت جغرافیایی دشت بین ۳۰ درجه و ۰۷ دقیقه تا ۳۰ درجه و ۱۸ دقیقه عرض شمالی و ۵۳ درجه و ۰۶ دقیقه تا ۵۳ درجه و ۱۸ دقیقه طول شرقی واقع شده است. بر اساس داده‌های موجود، مساحت‌های دشت مورد مطالعه و حوزه آبریز به ترتیب ۱۵۶/۵ و ۲۸۷۰/۶ کیلومتر مربع محاسبه شده است. بررسی آمار طولانی مدت ایستگاه سینوپتیک صفاشهر (خرمبید) به‌عنوان ایستگاه مبنا نشان دهنده آن است که میانگین طولانی مدت دمای سالانه و بارندگی سالانه این ایستگاه به ترتیب ۱۲/۱ درجه سانتی‌گراد و ۲۰۵/۳ میلی‌متر است. میانگین رطوبت نسبی سالانه این دشت ۳۷/۲ درصد

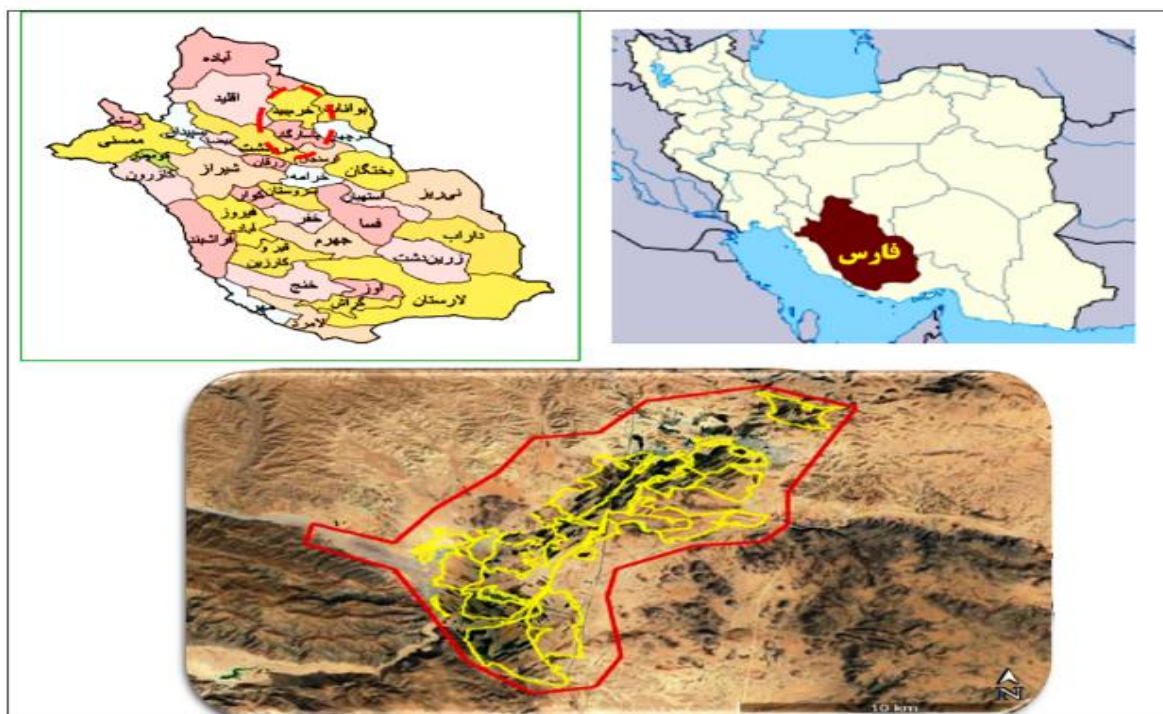
نفتچالی و همکاران (Darzi-Naftchali et al., 2023) در پژوهشی در استان مازندران یک مدل کشت پایدار (CP¹) با توسعه تابع چند هدفه را ارائه دادند که بتواند حداکثر سود را تأمین کند و در عین حال مشکلات زیست محیطی را به حداقل برساند و همزمان سبب بالا بردن شاخص‌های اجتماعی گردد. برای این کار از فرایند ارزیابی چرخه عمر (LCA²) و یک شاخص امنیت اقتصادی (ESI³) به ترتیب، برای بررسی اثرهای زیست محیطی و عملکرد اقتصادی CP استفاده شد. با استفاده از شاخص‌هایی از جمله همبستگی اجتماعی، امنیت اجتماعی، مشارکت و کیفیت زندگی، پیامدهای اجتماعی طرح نیز ارزیابی گردید. برای جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز، از پرسشنامه کاملی که در اختیار کشاورزان و کارشناسان قرار داده شده بود و نیز از آمارنامه‌های رسمی دولتی استفاده شد. نتایج بررسی‌ها نشان داد که کشاورزان کمترین توجه را به کشت حبوبات داشتند. پنج محصول برتر که مورد توجه کشاورزان قرار داشت به ترتیب اولویت شامل هندوانه، خیار، شبدر، برنج و لوبیا بودند. بر اساس اهمیت پارامترهای محیطی، محصولاتی مانند خربزه، سیر، خیار، گوجه‌فرنگی و ذرت به‌عنوان بهترین محصولات زراعی شناخته شدند در حالی که تنباکو کمترین میزان تناسب را داشت. کمترین و بیشترین ESI به ترتیب مربوط به پنبه (۰/۳۴) و خیار (۰/۲۰۸) بود. سود حاصل از کشت سیب‌زمینی، برنج، خیار، سیر، لوبیا و گوجه‌فرنگی بیش از ۱۰۰۰ دلار در هکتار بود در حالی که سویا، گندم، ذرت، جو، شبدر و پنبه کمتر از ۵۰۰ دلار در هکتار سود داشتند. دستیابی به کشاورزی پایدار در منطقه مستلزم کاهش ۱۵/۲۰ درصد در سطح زیر کشت بود که منجر به کاهش ۱۳/۳۶ درصد سود ناخالص و کاهش ۱۴/۵۳ و ۱۴/۷۰ درصد مصرف آب و کود شیمیایی می‌شد. مدل ایجاد شده در این مطالعه برای کشت پایدار CP می‌تواند سبب کاهش تبعیضات اجتماعی شود و در عین حال هم‌افزایی بین

¹ Cropping pattern

² Life Cycle Assessment

³ Economic Security Index

گزارش شده است و دشت مذکور سالانه حدود ۲۲۰۰ میلیون مترمکعب آبیاری تبخیر دارد. بررسی اقلیم به روش دومارتن نشان می دهد دشت در اقلیم نیمه خشک سرد واقع شده است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی مرز حوزه آبریز و محدوده مطالعاتی دشت قادرآباد- مادر سلیمان واقع در استان فارس

Fig. 1- Geographical location of the border of the watershed and the study area of Qaderabad-Mader Solaman plain located in Fars province

روش تحقیق

ترتیب و با داشتن این نسبت، میزان آب قابل برنامه ریزی دشت در همراه به دست آمد.

در بخش مصارف آب کشاورزی برای تعیین آب آبیاری مورد نیاز در همراه، ابتدا اطلاعات تقویم زراعی گیاهان زراعی و باغی دشت از مدیریت های زراعت و باغبانی سازمان جهاد کشاورزی اخذ و پس از آن در جلسات کارشناسی با حضور کارشناسان مراکز خدمات منطقه مورد مطالعه، راستی آزمایی و صحت سنجی گردید. سپس، با استفاده از نتایج طرح کلان تحقیقاتی "تعیین آب مصرفی محصولات زراعی و باغی کشور" و گزارش های مرتبط با محصولات کشاورزی استان فارس، میزان آب آبیاری (مترمکعب در هکتار) برای هر محصول تعیین شد. بدین ترتیب، برای هر محصول پارامترهایی مانند تعداد نوبت های آبیاری، عمق آب آبیاری (میلی متر)، حجم آب در هر آبیاری (مترمکعب در هکتار)،

روش پژوهش حاضر به بخش های مختلفی تقسیم شده است که در ادامه به تشریح روش تحقیق در هر قسمت پرداخته می شود:

تعیین منابع آب و مصارف آب کشاورزی دشت

مبنای تعیین میزان منابع آب دشت، محاسبات آب قابل برنامه ریزی است که پیش از این وزارت نیرو به تمامی استان ها از جمله استان فارس ابلاغ کرده است. برای تطابق میزان آب قابل برنامه ریزی (مترمکعب در سال) هر دشت با میزان مصرف کشاورزی دشت مورد مطالعه آمار چاه های مورد بهره برداری و ساعت کارکرد آن ها در ماه های مختلف سال جمع آوری گردید؛ بنابراین، میزان برداشت آب از چاه ها در همراه و نسبت آن به آب قابل برنامه ریزی به دست آمد. بدین

جمله مباحث اقتصادی است که در پرداختن به آن سه شاخص هزینه تولید، درآمد تولید و بازده خالص اقتصادی مورد توجه قرار می‌گیرد (Shariati et al., 2021). در خصوص محصولاتی زراعی که فرآیند داشت آن‌ها بیش از یک سال است (مانند زعفران، یونجه، آغوزه و ...) با استفاده از تکنیک‌های اقتصاد مهندسی، هزینه تولید آن محصولات به تعداد سال‌های عملکردی تقسیم شده و به صورت سالانه مورد استفاده قرار گرفت (Skonjad, 2019).

به منظور محاسبه درآمد کل دشت، لازم است درآمدهای اصلی و فرعی هر یک از فعالیت‌های زراعی محاسبه و با یکدیگر جمع شود. با توجه به اینکه دوره تولید برخی محصولات بیش از یک سال است، به پیروی از اسکونژاد (Skonjad, 2019) با استفاده از روش‌های اقتصاد مهندسی، درآمدها به دوره زمانی یکسان تبدیل گردید. در راستای تبدیل درآمدها به ارزش زمانی یکسان، روش متداول استفاده از روش تنزیل ارزش آینده به ارزش کنونی است. بدین منظور از رابطه ۲ استفاده شد (Skonjad, 2019; Zarea, et al., 2014). که در آن، TR درآمد کل دشت (ریال)، MY_{it} میزان تولید محصول اصلی به دست آمده از فعالیت زراعی i ام در سال t (کیلوگرم)، P_{MYi} قیمت هر کیلوگرم از محصول اصلی حاصل از فعالیت زراعی i ام در سال t (ریال)، SY_{it} میزان محصول فرعی در هر هکتار از فعالیت زراعی i ام در سال t (کیلوگرم)، P_{SYit} قیمت هر کیلوگرم از محصول فرعی به دست آمده از فعالیت زراعی i ام در سال t (ریال) و $\left[\frac{1}{(1+r)^t} \right]$ فاکتور ارزش فعلی یکبار پرداخت، r نرخ بهره است.

به منظور محاسبه هزینه کل دشت، مقدار مصرف نهاده‌ها یا به کارگیری آن‌ها در هر یک از مراحل مختلف کاشت، داشت و برداشت هر یک از محصولات کشاورزی با توجه به ارزش هر واحد از این نهاده‌ها به دست آمد. با توجه به اینکه

تقویم آبیاری (ماه‌هایی که محصول آبیاری می‌شود) و حجم ماهانه آبیاری (مترمکعب در هکتار) محاسبه گردید. بر این اساس، میزان حجم آب آبیاری (مترمکعب در هکتار) تمامی محصولات در همراه برای وضعیت موجود هر دشت به دست آمد. توجه به این نکته ضروری است که این مقدار نباید از میزان آب قابل برنامه‌ریزی همان ماه بیشتر شود؛ بنابراین، این شاخص باید به عنوان یک عامل محدود کننده در برنامه‌ریزی الگوی کشت دشت محسوب شود. بدین ترتیب، مبنای تعیین الگوی کشت بهینه در دشت مورد مطالعه، حد مجاز آب قابل برنامه‌ریزی است که برای رعایت این حد، نیاز به حذف یا کاهش سطح کشت برخی محصولات و همچنین انتخاب گیاهان کم‌آب‌بر، تغییر تاریخ کشت، رعایت اصول بهزرایی و به باغی است. بدین ترتیب، با توجه به مجموعه موارد یادشده، حجم آب آبیاری (میلیون مترمکعب) مورد استفاده برای وضع موجود کشت و الگوی بهینه دشت، تعیین و میزان صرفه‌جویی آب به دست می‌آید.

بهره‌وری فیزیکی آب آبیاری

ساده‌ترین روشی که در مزارع کشاورزان برای برآورد بهره‌وری فیزیکی آب آبیاری گیاه می‌توان به کار برد، اندازه‌گیری عملکرد و مقدار آب آبیاری در فصل زراعی است. با داشتن این مقادیر و با توجه به رابطه ۱، بهره‌وری فیزیکی آب محاسبه می‌شود (Abbasi et al., 2014).

$$WP_p = \frac{Y}{I} \quad (1)$$

که در آن، WP_p بهره‌وری فیزیکی آب آبیاری (کیلوگرم بر مترمکعب)، Y عملکرد (کیلوگرم بر هکتار) و I عمق آب آبیاری (مترمکعب بر هکتار) است.

محاسبات اقتصادی و بازده برنامه‌ای دشت

یکی از اولویت‌های اساسی در تدوین الگوی کشت هر دشت، حداکثرسازی بازده برنامه‌ای است. این موضوع از

$$\rho = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I \frac{(MY_{it} \times P_{MYit})}{(1+r)^t} + \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^M \frac{(SY_{it} \times P_{SYit})}{(1+r)^t} \quad (2)$$

مدل برنامه ریزی ریاضی

رویکرد متداول در تدوین الگوی کشت، استفاده از مدل برنامه ریزی ریاضی است. بر این اساس، در این پژوهش به منظور بهینه سازی الگوی کشت دشت قادرآباد-مادرسلیمان استان فارس از نرم افزار گمز (GAMS¹) استفاده شد. این مدل با بهره گیری از الگوی ریاضی چند هدفه ضمن پرداختن به محدودیت ها به دنبال حداکثر سازی سود، تأمین امنیت غذایی، مصرف آب کشاورزی بر مبنای آب برنامه ریزی شده و رعایت تناسب اراضی است. لازم است گفته شود فرآیند اجرای این تحقیق در قالب مدل مفهومی در شکل ۲ ارائه شده است.

بانک داده (ورودی نرم افزار)

بانک داده شامل تمامی داده های مرتبط با محصولات کشاورزی است که در حال حاضر در دشت مورد تحقیق کشت می شوند و نیز تمامی محصولاتی است که بر اساس شرایط اقلیمی دشت، امکان کاشت آن ها وجود دارد. این داده ها مربوط به سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ و دربرگیرنده قیمت محصولات در زمان برداشت، هزینه تولید محصولات در مراحل مختلف کاشت، داشت و برداشت، عملکرد آنها (در قالب محصولات اصلی و فرعی)، میزان آب قابل برنامه ریزی ماهانه دشت، میزان آب آبیاری ماهانه هر یک از محصولات و تقویم زراعی آنهاست. این داده ها، به پیروی از دیدگاه های شریعتی و همکاران (Shariati et al., 2021)، به صورت اسنادی از سازمان جهاد کشاورزی و شرکت آب منطقه ای استان فارس به دست آمد. به منظور پالایش داده ها، پانل تخصصی مشتمل بر متخصصان زراعت، باغبانی، آب، خاک، هوا و اقلیم و اقتصاد کشاورزی، تشکیل و در ادامه این بانک در قالب یک فایل اکسل به عنوان بانک داده ارائه گردید.

دوره بهره برداری در برخی از محصولات، بیش از یک سال است، در خصوص این دسته از محصولات کشاورزی با استفاده روش تنزیل ارزش آینده به ارزش کنونی، هزینه ها به دوره زمانی یکسان تبدیل شد. بدین ترتیب، برای محاسبه هزینه کل دشت از رابطه ۳ استفاده شد (Skonjad, 2019; Zarea, et al., 2014):

$$TC = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^M \sum_{k=1}^K \frac{(X_{ikt} \times P_{Xikt})}{(1+r)^t} \quad (3)$$

که در آن، TC هزینه کل دشت (ریال)، X_{ikt} میزان مصرف یا به کارگیری نهاده k ام در فعالیت زراعی i ام در سال t (کیلوگرم)، P_{Xikt} قیمت هر واحد از نهاده k ام مصرف یا به کارگیری شده در فعالیت زراعی i ام در سال t است (ریال)، دیگر متغیرها پیش از این تعریف شده اند.

با در اختیار داشتن درآمد کل و هزینه کل هر یک از محصولات کشاورزی، بازده خالص برنامه ای دشت با استفاده از رابطه ۴ محاسبه گردید:

$$NM = TR - TC \quad (4)$$

که در آن، NM بازده خالص برنامه ای دشت (ریال) است. دیگر متغیرها پیش از این تعریف شده اند.

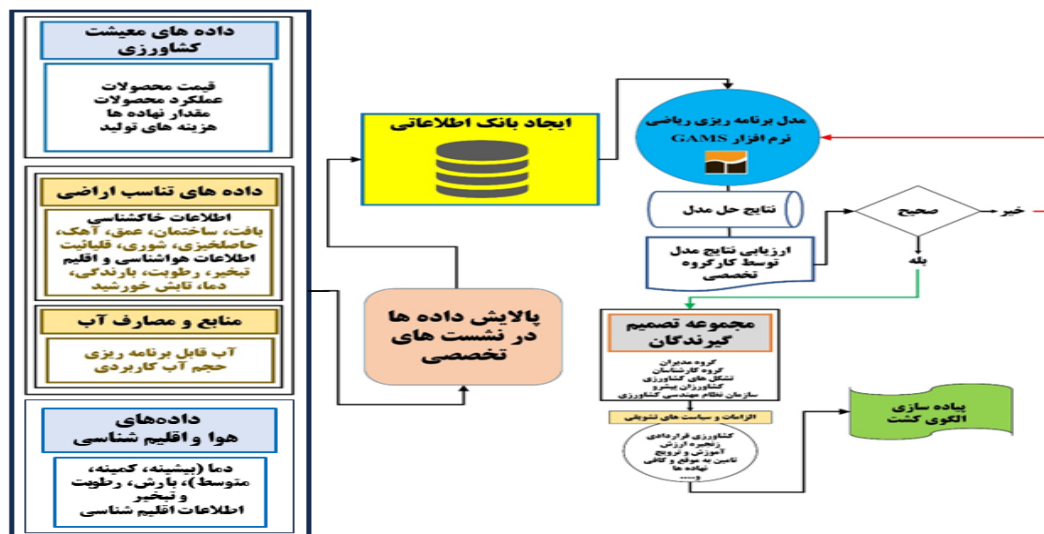
بهره وری اقتصادی آب

بهره وری اقتصادی آب آبیاری با اندازه گیری بازده خالص اقتصادی (سود) و مقدار آب آبیاری در فصل زراعی به دست می آید. با داشتن این مقادیر و با توجه به رابطه ۵ بهره وری اقتصادی آب آبیاری محاسبه شد (Abbasi et al., 2014).

$$WP_e = \frac{NM}{I} \quad (5)$$

که در آن، WP_e بهره وری اقتصادی آب آبیاری (ریال بر مترمکعب) است. دیگر متغیرها پیش از این تعریف شده اند.

¹ General Algebraic Modeling System



شکل ۲ - مدل مفهومی روند تحقیق

Fig. 2- Conceptual model of the research process

نتایج و بحث

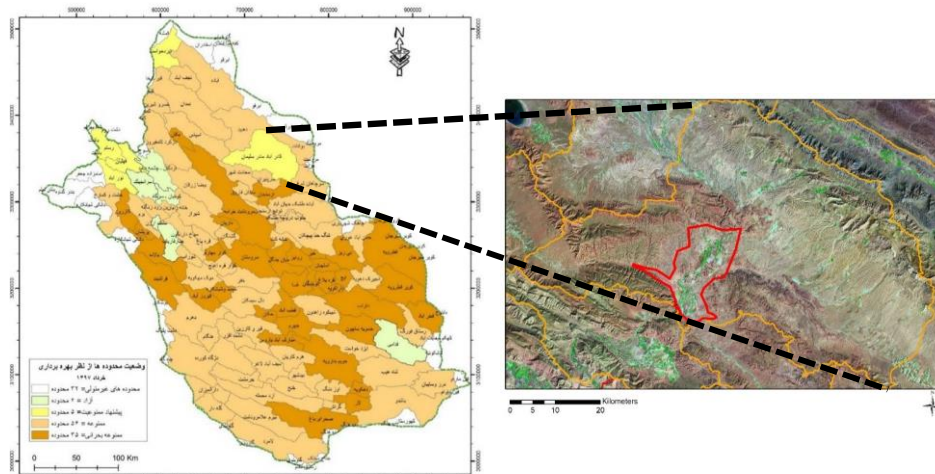
بانک داده (ورودی نرم‌افزار)

منابع آب و حجم آب قابل برنامه‌ریزی دشت
شکل ۳ وضعیت محدوده مطالعاتی را از نظر وضعیت توسعه بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی و موقعیت دشت در این محدوده نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌گردد محدوده موردنظر در طبقه پیشنهاد ممنوعیت قرار دارد. محدوده قرمز رنگ محدوده دشت (قادرآباد-مادرسلیمان) و خط نارنجی رنگ محدوده مطالعاتی را نشان می‌دهد. این دشت با مساحت حدود ۲۰ هزار هکتار، ۱۴ درصد از سطح محدوده مطالعاتی را شامل می‌گردد که ۹۹۲۵ هکتار از سطح آن در شهرستان پاسارگاد و ۱۰۱۸۴ هکتار آن در شهرستان خرمبید واقع شده است.

در محدوده مطالعاتی قادرآباد-مادر-سلیمان ۶۸۷ حلقه چاه وجود دارد. از این تعداد چاه، ۴۳۱ حلقه مجاز و ۲۵۶ حلقه غیرمجاز است (شکل ۴). وضعیت چاه‌های این دشت و میزان آب قابل برنامه‌ریزی از منابع آب زیرزمینی در جدول (۱) نشان داده شده است. بر اساس آمار میان مدت ۱۰ ساله، میزان آب قابل برنامه‌ریزی بخش کشاورزی در این دشت ۲۴/۵ میلیون مترمکعب در سال است (Report on water

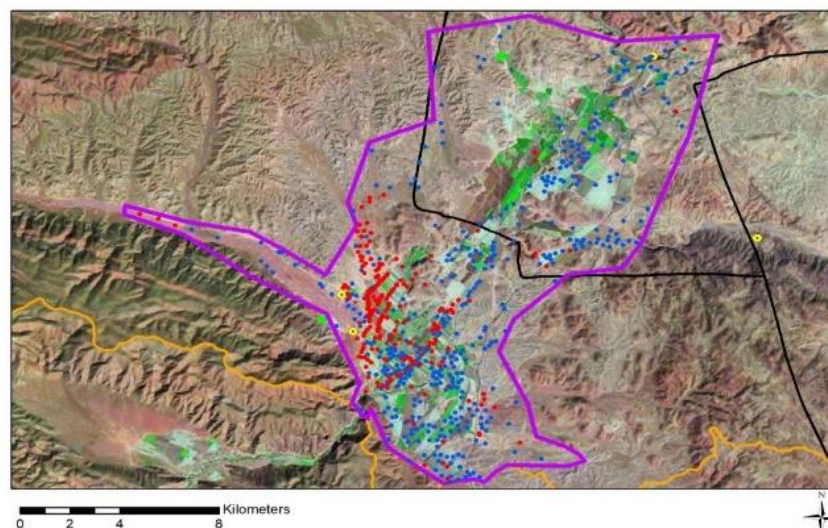
(resources & consumption, 2023).

بانک داده شامل تمامی داده‌های مرتبط با محصولات کشاورزی است که در حال حاضر در دشت مورد تحقیق کشت می‌شوند و نیز تمامی محصولاتی است که بر اساس شرایط اقلیمی دشت، امکان کاشت آن‌ها وجود دارد. این داده‌ها مربوط به سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ و دربرگیرنده قیمت محصولات در زمان برداشت، هزینه تولید محصولات در مراحل مختلف کاشت، داشت و برداشت، عملکرد آن‌ها (در قالب محصولات اصلی و فرعی)، میزان آب قابل برنامه‌ریزی ماهانه دشت، میزان آب آبیاری ماهانه هر یک از محصولات و تقویم زراعی آن‌هاست. این داده‌ها، به پیروی از دیدگاه‌های شریعتی و همکاران (Shariati et al., 2021)، به صورت اسنادی از سازمان جهاد کشاورزی و شرکت آب منطقه‌ای استان فارس به‌دست آمد. به منظور پالایش داده‌ها، پانل تخصصی مشتمل بر متخصصان زراعت، باغبانی، آب، خاک، هوا و اقلیم و اقتصاد کشاورزی، تشکیل و در ادامه این بانک در قالب یک فایل اکسل به‌عنوان بانک داده ارائه گردید.



شکل ۳- محدوده های مطالعاتی استان فارس از نظر وضعیت توسعه بهره برداری از منابع آب زیرزمینی و موقعیت مکانی دشت قادراবাদ-مادرسلیمان (مرز قرمز) در محدوده مطالعاتی (مرز نارنجی)

Fig. 3 - The study areas of Fars province in terms of the development status of the exploitation of underground water resources and the location of Qaderabad-Madarsolaman plain (red border) in the study area (orange border)



شکل ۴- پراکنش چاه ها در دشت قادراবাদ-مادرسلیمان استان فارس؛ آبی رنگ (مجاز) قرمز رنگ (غیر مجاز)

Fig. 4 - Distribution of wells in the Qaderabad-Madarsolaman plain of Fars province; Blue color (allowed) Red color (not allowed)

از ۲۵۶ حلقه چاه غیر مجاز، ۹ حلقه در شهرستان خرمبید و ۲۴۷ حلقه در شهرستان پاسارگاد است که پراکنش آن ها در شکل ۴ نشان داده شده است. مطابق با آخرین اطلاعات شرکت آب منطقه ای فارس با توجه به اینکه بیشتر چاه های غیر مجاز متروکه و فاقد آبدهی هستند، میزان برداشت سالانه از این چاه های غیرمجاز در حدود ۳/۷ میلیون است (Report on water resources & consumption, 2023).

مترمکعب برآورد شده است. در دشت قادراবাদ-مادرسلیمان، منبع تأمین آب سطحی تنها شامل رودخانه تنگ حنا و چشمه بناب می گردد. در جدول ۲، متوسط میزان آب قابل تأمین سالانه از منابع آب سطحی در این دشت آورده شده است (Report on water resources & consumption, 2023).

جدول ۱- وضعیت تعداد چاه‌ها و حجم آب قابل برنامه‌ریزی (م.م.م) از منابع آب زیرزمینی در دشت قادریاد - مادر سلیمان
Table 1- The status of the number of wells and programmable water volume (million cubic meters) from underground water sources in the Qaderabad-Madarsolaman

گروه مصرف Consumption group	تعداد حلقه چاه No. Wells	حجم کل (م.م.م)* Total volume (MCM)	درصد مصرف (%) Consumption percentage (%)
کشاورزی	۳۷۵	۲۴/۵	۸۲
شرب	۱۰	۳/۱	۱۰/۳
صنعت	۴۶	۲/۳	۷/۷
مجموع	۴۳۱	۲۹/۹	۱۰۰

*: واحد اختصاری م.م.م معادل میلیون مترمکعب است.

جدول ۲- وضعیت میزان آب قابل تأمین سالانه از منابع آب سطحی در دشت قادریاد - مادر سلیمان
Table 2 - Status of the amount of water that can be supplied annually from surface water sources in the Qaderabad-Madarsolaman

منبع تأمین آب Water Supply Source	حجم کل (م.م.م) Total Volume (MCM)	درصد مصرف در بخش کشاورزی (%) The Percentage of Consumption in the Agricultural Sector (%)
تنگ حنا	۳	۲۵
چشمه بناب	۹	۷۵
مجموع	۱۲	۱۰۰

با توجه به جدول‌های ۱ و ۲، مجموع آب قابل برنامه‌ریزی زیرزمینی و سطحی در دشت مورد تحقیق معادل ۳۶/۵ م.م.م. است که از این میزان ۷ م.م.م. برای باغ‌ها به مصرف می‌رسد و ۲۹/۵ م.م.م. برای برنامه‌ریزی الگوی کشت در نظر گرفته شد.

شکل ۵ توزیع ماهانه حجم آب قابل برنامه‌ریزی به نسبت ۲۴/۵ (م.م.م) در دشت قادریاد-مادرسلیمان را نشان می‌دهد. بر اساس اطلاعات این شکل، بیشترین میزان حجم آب قابل برنامه‌ریزی در فصل تابستان به میزان ۲/۸ م.م.م. در هرماه و کمترین آن در ماه‌های دی و بهمن به مقدار ۰/۸۲ م.م.م. ماهانه تخصیص یافته است. توزیع در دیگر ماه‌های سال ترتیب مشخصی ندارد، بطوریکه بعد از خردادماه (۲/۷۴ م.م.م) مهرماه (۲/۶۲ م.م.م) و سپس اردیبهشت‌ماه (۲/۴۵ م.م.م) قرار گرفته است.

تقویم زراعی و میزان آب آبیاری محصولات زراعی در جدول ۳، تقویم زراعی و مساحت زیر کشت محصولات زراعی در سال ۱۴۰۱-۱۴۰۰ آورده شده است. لازم است یادآوری شود مساحت باغ‌های دشت که در منطقه قادریاد واقع شده‌اند، ثابت در نظر گرفته شد. ازاین‌رو منابع آب سطحی نیز که در منطقه قادریاد وجود دارند، برای آبیاری باغ‌های موجود استفاده خواهند شد و در برنامه‌ریزی الگوی کشت وارد نمی‌شوند.

در شکل ۶ میزان آب آبیاری محصولات مختلف زراعی در الگوی فعلی کشت دشت قادریاد-مادر سلیمان آورده شده است. همان‌طور که در این شکل مشخص است، بیشترین میزان آب آبیاری (مترمکعب در هکتار) به ترتیب مربوط به چغندر قند بهاره، ۱۳۰۰۰؛ پیاز، ۱۱۷۰۰؛ گوجه‌فرنگی، ۱۰۰۰۰؛ یونجه، ۱۰۰۰۰؛ سیب‌زمینی، ۹۷۰۰؛ خیار سبز، ۸۰۰۰؛ لوبیا، ۷۵۰۰؛ ذرت سیلوئی، ۷۴۰۰؛ نخود، ۶۵۰۰؛ گندم و کلزا، ۵۵۰۰؛ و جو، ۴۵۰۰ مترمکعب در هکتار است.

حجم آب آبیاری و سطح زیر کشت در وضعیت موجود

با توجه به مقادیر سطح زیر کشت (جدول ۳) و میزان آب آبیاری (شکل ۶) محصولات مختلف زراعی در الگوی فعلی کشت مقادیر حجم آب آبیاری (م.م.م) محاسبه شد (شکل ۷). با مشاهده این شکل مشخص است که جو و گندم (محصولات استراتژیک) بیشترین سطح زیر کشت و در نتیجه، بیشترین حجم آب را به خود اختصاص داده‌اند. این در حالی است که میزان آب آبیاری جو و گندم به ترتیب ۳۵ و ۴۲ درصد آب آبیاری چغندر قند است (شکل ۶)؛ بنابراین، در انتخاب الگوی بهینه باید به این نکته توجه داشت که شاخص میزان آب آبیاری محصول (مترمکعب در هکتار) به تنهایی نمی‌تواند در برنامه‌ریزی الگوی کشت لحاظ گردد. در شکل ۷ دیده می‌شود بیشترین حجم آب مربوط به محصولاتی مانند گندم و جو است اما به دلیل سیاست‌های کلان و استراتژیک بودن این محصولات حفظ آن‌ها در الگوی پیشنهادی، جزئی از اهداف اصلاح و بهینه‌سازی الگوی کشت است.

حجم کل آب آبیاری مورد استفاده از منابع آب زیرزمینی برای ۱۲ محصول در وضعیت موجود دشت بر اساس داده‌های شکل ۷ معادل ۳۳/۱۴ (م.م.م) به‌دست آمد. بدین ترتیب، در الگوی فعلی کشت، ۲۶ درصد آب بیشتری نسبت به آب قابل برنامه‌ریزی مورد استفاده قرار می‌گیرد. بر اساس جدول ۳، مجموع سطح زیر کشت ۱۲ محصول زراعی در الگوی فعلی دشت معادل ۵۳۰۳ هکتار به‌دست آمده است. در این الگو بیشترین و کمترین سطح کشت به ترتیب مربوط به جو، ۲۳۷۲ هکتار و سیب‌زمینی، ۲ هکتار است.

الگوی پیشنهادی کشت بر اساس مدل GAMS

در شرایط فعلی ۸/۶۴ میلیون مترمکعب آب بیشتر از آب قابل برنامه‌ریزی استفاده می‌شود، از این رو برای اصلاح الگو، سناریوی اصلاح و تعدیل سطح زیرکشت در مدل اجرایی شد. از سوی دیگر، برای جبران کاهش معیشت

کشاورزان دشت، با استفاده از دیدگاه‌های کارشناسی اعضای پانل تخصصی، شش محصول جدید به الگوی فعلی اضافه و سپس مدل اجرا گردید. نتایج به‌دست آمده از سطوح زیرکشت، هزینه تولید، درآمد و بازده اقتصادی الگوی پیشنهادی بر اساس خروجی مدل در جدول ۴ ارائه شده است. بر اساس نتایج این جدول، سطح زیرکشت در الگوی پیشنهادی معادل ۳۸۶۱ هکتار به‌دست آمده است. بازده خالص اقتصادی دشت تیز در الگوی پیشنهادی معادل ۲۰۳۵/۶۰ میلیون ریال است. این شاخص برای الگوی فعلی معادل ۱۹۷۵/۳۷ میلیون ریال است.

نکته قابل توجه این است که در محصول یونجه بازده خالص اقتصادی معادل ۱۳۱/۶۷ - میلیون ریال در هکتار محاسبه شده که نشان‌دهنده بالاتر بوده هزینه تولید نسبت به درآمد برای کشاورزان است.

بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب آبیاری

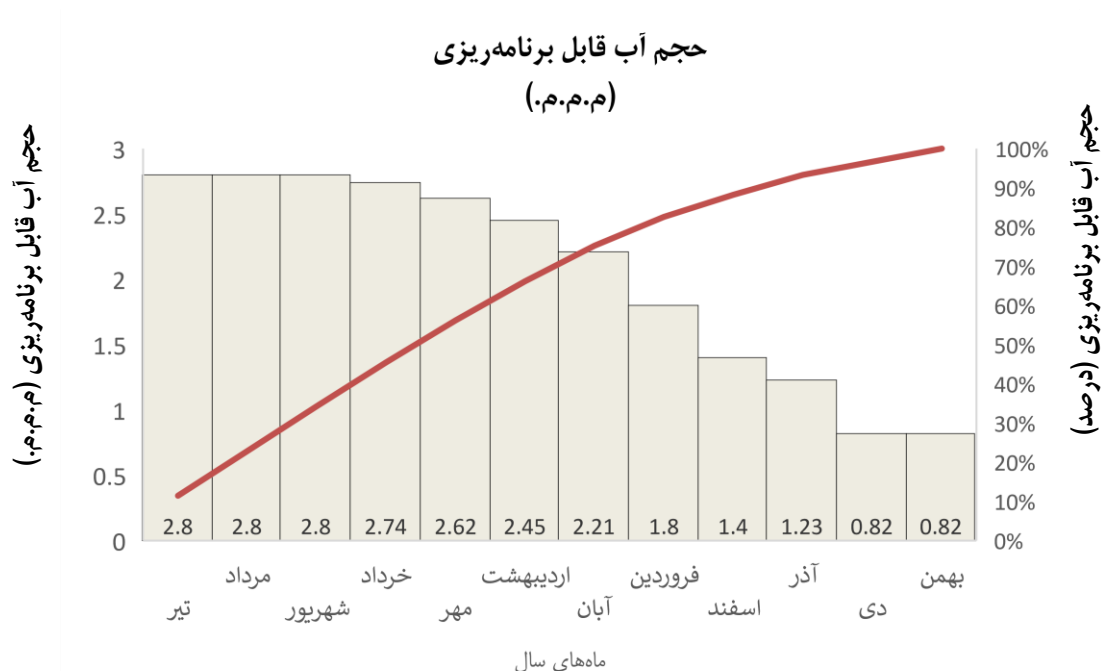
با توجه به داده‌های شکل ۶ و جدول ۴، شاخص بهره‌وری فیزیکی آب (کیلوگرم بر مترمکعب) و شاخص اقتصادی آب (ریال بر مترمکعب) محاسبه و نتایج آن در جدول ۵ آورده شده است.

همان‌طور که مشاهده می‌شود، بالاترین میزان شاخص بهره‌وری فیزیکی آب آبیاری برای سه محصول ذرت سیلویی، گوجه‌فرنگی و چغندر قند به ترتیب ۷/۴۳، ۵/۵۰ و ۵/۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب و کمترین آن در محصولات آویشن شیرازی، انگوزه و زعفران به ترتیب ۰/۲۱، ۰/۱۵۰ و ۰/۰۰۳ کیلوگرم بر مترمکعب به‌دست آمده است. این در حالی است که شاخص بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری در محصولات انگوزه، زعفران و آویشن شیرازی به ترتیب ۱۱۲۱۸۷۵، ۶۹۵۶۲۷ و ۵۸۳۱۱۸ ریال بر مترمکعب بیشترین مقادیر را دارد. کمترین مقدار این شاخص در محصولات ذرت سیلویی، گوجه‌فرنگی و یونجه به ترتیب ۲۰۸۴۲، ۱۷۴۷۰ و ۱۳۱۶۷ - به‌دست آمده است.

جدول ۳- تقویم زراعی و سطح زیرکشت محصولات زراعی الگوی کشت فعلی دشت قادراًباد-مادرسلیمان در سال ۱۴۰۱-۱۴۰۰

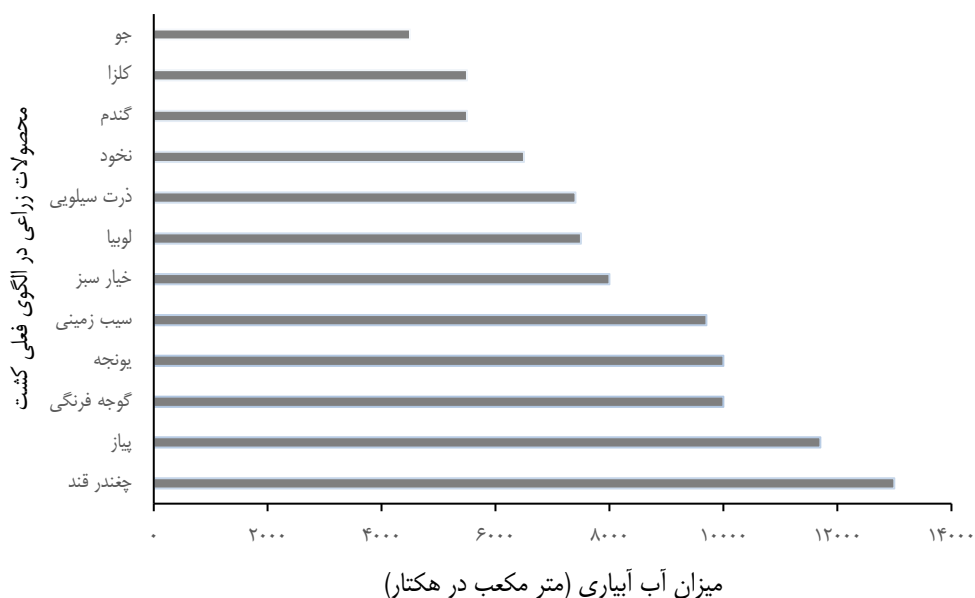
Table 3 - Agricultural calendar and cultivated area of crops of the current cultivation pattern of Qaderabad-Madarsolaman plain in 2021-2022

ردیف Row	نام محصول Product Name	تاریخ کاشت Planting Date	تاریخ برداشت Harvest Date	سطح کشت (هکتار) Cultivated Area (ha)
۱	گندم	۱۵ آبان	۴ تیر	۱۲۹۲
۲	جو	۵ آذر	۱۵ خرداد	۲۳۷۲
۳	کلزا	۲۰ شهریور	۲۵ خرداد	۸
۴	سیبزمینی	۲۵ اسفند	۲۵ تیر	۲
۵	گوجه‌فرنگی	۱۷ اردیبهشت	۵ شهریور	۱۶۱
۶	ذرت سیلویی	۵ خرداد	۱۰ شهریور	۵۸۲
۷	پیاز	۲۴ بهمن	۱۰ مرداد	۱۰
۸	خیار سبز	۱ خرداد	۲۶ مرداد	۱۵
۹	چغندر قند	۲۰ اسفند	۱۵ مهر	۳۶۰
۱۰	نخود	۱۴ اسفند	۱۸ تیر	۵۰
۱۱	لوبیا	۵ خرداد	۱۰ مهر	۱۴۸
۱۲	یونجه	شهریور	چندساله	۳۰۳



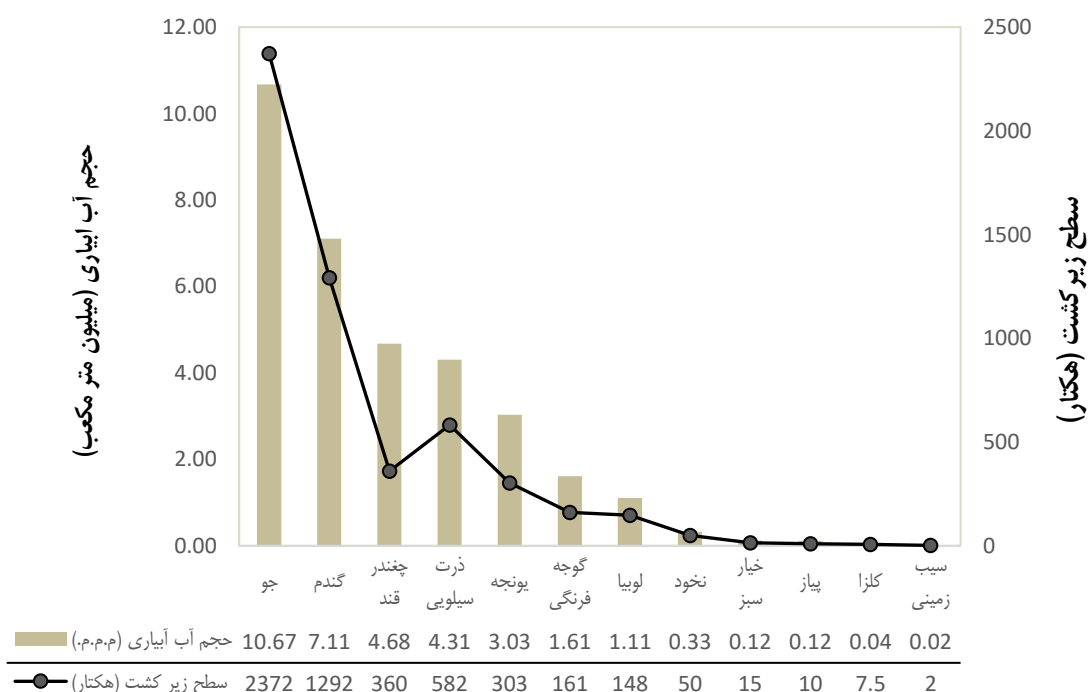
شکل ۵- توزیع ماهانه حجم آب قابل برنامه‌ریزی (م.م.م) در دشت قادراًباد-مادرسلیمان استان فارس

Fig. 5 - Monthly distribution of programmable water volume (million cubic meters) in Qaderabad-Madarsolaman plain, Fars province



شکل ۶- میزان آب آبیاری محصولات مختلف زراعی در الگوی فعلی کشت دشت قادریاباد-مادرسلیمان در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱

Fig. 6 - The amount of irrigation water for different agricultural crops in the current cultivation pattern of the Qaderabad-Madarsolaman plain in the crop year 2021-2022



شکل ۷- حجم آب آبیاری و سطح زیر کشت محصولات مختلف زراعی در الگوی فعلی کشت دشت قادریاباد-مادرسلیمان در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱

Fig. 7-The volume of irrigation water and the cultivated area of different agricultural crops in the current cultivation pattern of the Qaderabad-Madarsolaman plain in 2021-2022

جدول ۴- تعداد محصولات، سطح زیر کشت، هزینه تولید، عملکرد، قیمت، درآمد و بازده اقتصادی الگوی پیشنهادی کشت در دشت
 قادرآباد-مادرسلیمان در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰

Table 4 - The number of crops, cultivated area, production cost, yield, price, income and economic efficiency of the proposed cultivation pattern in the Qaderabad-Madarsolaman plain in 2021-2022

ردیف Row	نام محصولات Name of the Products	سطح کشت (هکتار) Cultivated Area (ha)	هزینه تولید (میلیون ریال در هکتار) Production Cost (million rials/ha)	عملکرد (کیلوگرم در هکتار) Yield (kg per hectare)	قیمت هر کیلوگرم (ریال) Price (Rial)	درآمد (میلیون ریال در هکتار) Income (million rials per hectare)	بازده خالص اقتصادی (میلیون ریال در هکتار) Net economic return (million rials per hectare)
۱	گندم	۹۷۰	۲۹۸/۳۹	۴۵۰۰	۱۱۵۰۰۰	۵۱۷/۵	۲۱۹/۱۱
۲	جو	۱۱۰۰	۲۲۵/۱۶	۴۰۰۰	۱۰۵۰۰۰	۴۲۰	۱۹۴/۸۴
۳	کلزا	۸	۳۳۲/۲۸	۲۰۰۰	۲۳۰۰۰۰	۴۶۰	۱۲۷/۷۲
۴	سیب‌زمینی	۲۰۰	۲۰۷۴/۸۱	۴۰۰۰۰	۱۲۰۰۰۰	۴۸۰۰	۲۷۲۵/۱۹
۵	گوجه‌فرنگی	۸۰	۱۷۵۰/۳۰	۵۵۰۰۰	۳۵۰۰۰	۱۹۲۵	۱۷۴/۷۰
۶	ذرت سیلویی	۴۳۰	۵۰۵/۷۷	۵۵۰۰۰	۱۲۰۰۰	۶۶۰	۱۵۴/۲۳
۷	پیاز	۴۵	۱۸۷۶/۲۰	۵۰۰۰۰	۵۰۰۰۰	۲۵۰۰	۶۲۳/۸۰
۸	خیار سبز	۶۵	۱۶۸۵/۷۷	۲۵۰۰۰	۱۱۰۰۰۰	۲۷۵۰	۱۰۶۴/۲۳
۹	چغندر قند	۲۷۰	۸۳۶/۷۰	۶۵۰۰۰	۳۲۰۰۰	۲۰۸۰	۱۲۴۳/۳۰
۱۰	نخود	۵۰	۲۶۴/۲۰	۱۵۰۰	۴۵۰۰۰۰	۶۷۵	۴۱۰/۸۰
۱۱	لوبیا	۱۴۸	۴۴۲/۲۳	۳۰۰۰	۴۵۰۰۰۰	۱۳۵۰	۹۰۷/۷۷
۱۲	یونجه	۱۵۰	۹۷۱/۶۷	۱۲۰۰۰	۷۰۰۰۰	۸۴۰	-۱۳۱/۶۷
۱۳	زعفران	۱۰	۶۴۳/۱۲	۷/۸	۳۵۰۰۰۰۰۰	۲۷۳۰	۲۰۸۶/۸۸
۱۴	گلرنگ	۷۰	۲۴۵/۳۹	۴۵۰۰	۱۵۰۰۰۰	۶۷۵	۴۲۹/۶۱
۱۵	آنغوزه	۱۰	۱۵۶/۲۵	۳۰۰	۸۰۰۰۰۰۰	۲۴۰۰	۲۲۴۳/۷۵
۱۶	آویشن شیرازی	۵	۱۰۶۷/۵۳	۸۵۰	۴۰۰۰۰۰۰	۳۴۰۰	۲۳۳۲/۴۷
۱۷	خاکشیر	۱۲۵	۸۷/۷۸	۵۰۰	۹۰۰۰۰۰	۴۵۰	۳۶۲/۲۲
۱۸	زیره سبز	۱۲۵	۸۷/۷۸	۵۰۰	۹۰۰۰۰۰	۴۵۰	۳۶۲/۲۲

جدول ۵- نتایج بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب برای محصولات زراعی در الگوی کشت پیشنهادی دشت قادریاب-مادرسلیمان
 Table 5 - The results of physical and economic water productivity for crops in the proposed cultivation pattern of the Qaderabad-Madarsolaman plain

بهره‌وری آب Water Productivity		نام محصولات Name of the Products	ردیف Row
اقتصادی (ریال بر مترمکعب) Economic (Rial/m ³)	فیزیکی (کیلوگرم بر مترمکعب) Physical (Kg/m ³)		
۳۹۸۳۸	۰/۸۲	گندم	۱
۴۳۲۹۸	۰/۸۹	جو	۲
۲۳۲۲۲	۰/۳۶	کلزا	۳
۲۸۰۹۴۷	۴/۱۲	سیب‌زمینی	۴
۱۷۴۷۰	۵/۵۰	گوجه‌فرنگی	۵
۲۰۸۴۲	۷/۴۳	ذرت سیلویی	۶
۵۳۳۱۶	۴/۲۷	پیاز	۷
۱۳۳۰۲۹	۳/۱۳	خیار سبز	۸
۹۵۶۳۸	۵/۰۰	چغندر قند	۹
۶۳۲۰۰	۰/۲۳	نخود	۱۰
۱۲۱۰۳۶	۰/۴۰	لوبیا	۱۱
۱۳۱۶۷-	۱/۲۰	یونجه	۱۲
۶۹۵۶۲۷	۰/۰۰۳	زعفران	۱۳
۱۰۷۴۰۳	۱/۱۳	گلرنگ	۱۴
۱۱۲۱۸۷۵	۰/۱۵	آمنوزه	۱۵
۵۸۳۱۱۸	۰/۲۱	آویشن شیرازی	۱۶
۱۸۱۱۱۰	۰/۲۵	خاکشیر	۱۷
۱۸۱۱۱۰	۰/۲۵	زیره سبز	۱۸

بر خلاف تحقیق حاضر، به منابع آب و محدودیت آن بر اساس آب قابل برنامه‌ریزی اشاره‌ای نشده است. نتایج تحقیق درزی نفتچالی و همکاران (Darzi-Naftchali *et al.*, 2023) مشابه با نتایج تحقیق حاضر نشان داد که محصول استراتژیک گندم یکی از محصولاتی است که کمترین سود را داشته است. نتیجه مشابه دیگر در این منطقه کاهش ۱۵/۲ درصد سطح زیر کشت در الگوی پایدار نسبت به الگوی فعلی بود که در تحقیق حاضر نیز الگوی بهینه منجر به کاهش سطح زیر کشت به میزان ۲۷ درصد گردید.

در تحقیقات شاهرخ نیا و همکاران (Shahrokhnia *et al.*, 2022) برای ۳۰ مزرعه گندم در سطح استان فارس مقدار شاخص بهره‌وری فیزیکی ۱/۲۵ کیلوگرم بر مترمکعب حاصل شده بود که در تحقیق حاضر این شاخص برای گندم ۰/۸۲ به دست آمده که از میانگین تعیین شده در استان کمتر است. در تحقیقات محمدی و همکاران (Mohammadi *et al.*, 2014) نیز با هدف حداکثر کردن منافع اجتماعی سطح زیر کشت در سطح شهرستان مرودشت در الگوی بهینه نسبت به الگوی فعلی تغییر نکرده و صرفاً محصولات جایگزین شده و حتی محصول گندم به عنوان یک محصول استراتژیک از الگوی بهینه حذف شده است. در آن پژوهش،

نتیجه‌گیری

شاخص بهره‌وری فیزیکی و بهره‌وری اقتصادی کل دشت نیز دچار تغییر شود. به طوری که شاخص بهره‌وری فیزیکی آب کل دشت در الگوی فعلی و بهینه به ترتیب معادل ۲/۵۶ و ۲/۸۴ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمد. به همین صورت، شاخص بهره‌وری اقتصادی آب کل دشت نیز به ترتیب ۵۹۶۰۷ و ۸۳۰۸۶ ریال بر مترمکعب محاسبه شد؛ بنابراین، اصلاح الگوی کشت در دشت قادرآباد- مادرسلیمان سبب صرفه‌جویی سالانه ۸/۶۴ میلیون مترمکعب آب، افزایش ۱۱ درصد در بهره‌وری فیزیکی و افزایش ۳۹/۴ درصد در بهره‌وری اقتصادی آب خواهد گردید.

بر این اساس، تمرکز بر شاخص بهره‌وری آب در قالب ارتقای بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی می‌تواند به‌عنوان رویکردی مناسب برای ایجاد هم‌افزایی بین کلیه ذی‌مدخلان و ذی‌نفعان حوزه آب به ویژه وزارت نیرو و وزارت جهاد کشاورزی در مدیریت منابع آب بخش کشاورزی در دستور کار قرار گیرد. در این رویکرد، با تمرکز بر افزایش بهره‌وری آب، در یک بازه زمانی تعریف شده، ضمن حداقل کردن میزان کاهش تولید و با افزایش سطح معیشت بهره‌برداران، می‌توان مصرف آب کشاورزی در دشت‌ها را به میزان آب قابل برنامه‌ریزی دشت تقلیل داد. به طوری که بر اساس نتایج این تحقیق، در دشت قادرآباد- مادرسلیمان با تمرکز بر رویکرد ارتقای شاخص بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در یک بازه زمانی یکساله، میزان مصرف سالانه فعلی دشت در بخش کشاورزی از ۳۳/۱۴ (م.م.م) به میزان آب قابل برنامه‌ریزی (۲۴/۵ م.م.م) تقلیل می‌یابد و از ادامه روند افت سطح سفره آب زیرزمینی این دشت جلوگیری می‌شود.

نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد پس از اجرای مدل و تعیین الگوی کشت بهینه، تعداد محصولات کشاورزی دشت ۵۰ درصد افزایش یافته و از ۱۲ به ۱۸ رسیده است؛ یعنی شش محصول شامل زعفران، آنغوزه، آویشن شیرازی، خاکشیر، گلرنگ و زیره به الگوی کشت اضافه شدند. بارزترین ویژگی محصولات اضافه شده، برخورداری از بالاترین بهره‌وری اقتصادی آب نسبت به محصولات موجود در الگوی کشت است. سطح زیرکشت محصولات در الگوی کشت بهینه معادل ۲۷ درصد کاهش دارد و از ۵۳۰۳ هکتار به ۳۸۶۱ هکتار می‌رسد. میزان آب آبیاری الگوی بهینه باعث کاهش ۲۶ درصد در مصرف منابع آب زیرزمینی می‌شود. علاوه بر آن، میزان تولید محصولات زراعی در الگوی فعلی و بهینه به ترتیب، ۸۴۶۹۳۰۰ و ۶۹۴۷۷۰۶۰ کیلوگرم به دست آمد که کاهش سطح زیرکشت سبب کاهش ۱۸ درصدی این شاخص در الگوی بهینه شده است. با این حال، بازده اقتصادی کل دشت در الگوی فعلی و بهینه به ترتیب، ۱۹۷۵/۳۷ و ۲۰۳۵/۶۰ میلیارد ریال محاسبه گردید که نشان‌دهنده سه درصد افزایش در الگوی بهینه است.

با عنایت به اثرهای مستقیم اصلاح الگوی کشت دشت قادرآباد-مادرسلیمان شامل افزایش تعداد محصولات کشاورزی دشت و ورود شش محصول دارای بالاترین بهره‌وری اقتصادی آب به الگوی کشت بهینه، همچنین کاهش سطح زیرکشت محصولات در الگوی کشت بهینه و افزایش بازده اقتصادی کل دشت در این الگو، انتظار می‌رود

مراجع

- Abbasi, F., Naseri, A., Sohrab, F., Baghani, J., Abbasi, N., and Akbari, M. (2014). Improving the efficiency of water consumption. Research achievement, Agricultural Engineering Research Institute, Publisher, Agricultural Research, Education and Extension Organization. 68 p. (in Persian)
- Anonymous. (2017). Report on water resources and consumption, Regional Water Company of Fars. (in Persian)
- Anonymous. (2023). Report on water resources and consumption, Regional Water Company of Fars. (in Persian)

Persian)

- Arora, V. K., Singh, C. B., Sidhu A. S. & Thind, S. S. (2011). Irrigation, tillage and mulching effects on soybean yield and water productivity in relation to soil texture. *Agricultural Water Management*, 98, 563–568.
- Askari Bezaye, F., Mohammadzadeh, R. and Azarin Far, Y. (2019). Water and its prospects in MENA region (Middle East and North Africa). *Water and Sustainable Development*, 7 (2), 33-44. (in Persian)
- Balwinder, S., Humphreys, E., Eberbach, P. L., Katupitiya, A., Yadvinder, S. & Kukal, S. S. (2011). Growth, yield and water productivity of zero till wheat as affected by rice straw mulch and irrigation schedule. *Field Crops Research*, 121, 209–225.
- Bindraban, P. S., Stoorvogel, J. J., Jansen, D. M., Vlaming, J. & Groot, J. J. R. (2000). Land quality indicators for sustainable land management: proposed method for yield gap and soil nutrient balance. *Agricultural, Ecosystems & Environment*, 81, 103-112.
- Bouman, B. (2007). A conceptual framework for the improvement of crop water productivity at different spatial scales. *Agricultural Systems*, 93, 43–60.
- Darzi-Naftchali, A., Motevali, A., Layani, GH., Keikha, M., Bagherian-Jelodar, M., Nadi, M., Firouzjaeian, A. A. and Pirdashti, H. (2023). Optimizing cropping pattern through reducing environmental issues and improving socio-economic indicators. *Environment, Development and Sustainability*, 26(5), 13041-13068.
- De Vries, M. E., Rodenburg, J., Bado, B. V., Sow, A., Leffenaar, P. & Giller, K. E. (2010). Rice production with less irrigation water is possible in a Sahelian environment. *Field Crops Research*, 116, 154–164.
- Fischer, G., Van Velthuisen, H., Hizsnyik, E. & Wiberg, D. (2009). Potentially obtainable yields in the semi-arid tropics. *Global Theme on Agroecosystems Report No. 54*, International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics, Andhra Pradesh, India.
- Geerts, S. & Raes, D. (2009). Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. *Agricultural Water Management*, 96, 1275–1284.
- Mohammadi, H., Sargazi, A.R., Dehbashi, V., and Pudine, M. (2014). Optimizing the cultivation pattern with an emphasis on social benefits in the rational use of water in the production of crops: the case of Fars province. *Environmental Science and Technology*, 17(4), 107-115. (in Persian)
- Nakhjavani Moghaddam, M. M. (2018). Determination of Cotton water consumption in Iran. Final Research Report No. 57529, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Agricultural Engineering Research Institute. (in Persian)
- Razavi, R., Taifeh Rezaei, H., Razavi, M., Mohammad Ismail, Z., and Jadidi, T. (2021). Evaluation and optimization of water application efficiency in the field with surface irrigation in the fields of West Azarbaijan province. *The 17th Iranian Congress of Soil Sciences and the 4th National Conference on Water Management in the Farm of Wise Soil Revival and Wise Water Governance*, Karaj. (in Persian)
- Rezaei Asl, M. R., Ramroudi, M., Ahmadpour borazjani, M. and Marzban, Z. (2022). Evaluation of cultivation pattern in Sistan region with emphasis on water optimal distribution. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 32(4), 269-284. (in Persian)
- Rockström, J. & Barron, J. (2007). Water productivity in rainfed systems: overview of challenges and analysis of opportunities in water scarcity prone savannahs. *Irrigation Science*, 25, 299–311.
- Cartes, P., Gianfreda, L. and Mora, M. L. 2005. Uptake of selenium and its antioxidant activity in ryegrass when applied as selenate and selenite forms, *Plant and Soil*, 276, 359-367.
- Sabzevari, A.R., Rajabipour, A., Bagheri, N. and Omid, M. (2019). Determining the pattern of crop

- cultivation as a solution to reduce the country's food security risks. *Environmental Hazards Management*, 7(1), 23-38. (in Persian)
- Sepehri Sadeghian, S., Nakhjavani Moghadam, M. M., Ahmad Ali, J., Afshar, H., Karimi, M., Eslami, A., Razvani, S. M., Yusuf Gomrakchi, A. and Abedinpour, M. (2022). Determination of plum applied water in Iran. Final Research Report No. 62463, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Agricultural Engineering Research Institute. (in Persian)
- Shahrokhnia, M. A., Eslami, A., and Baghani, J. (2022). Investigation of applied water and water productivity of wheat fields in Fars province. *Water Resources Engineering Journal*, 15 (52), 114-128. (in Persian)
- Shahrokhnia, M. A., Eslami, A., Dehghanian, S. A. and Abbasi, F. (2022). Determining the volume of applied water and water productivity of lime orchards in Fars province. *Iranian Water Research Journal*, 16 (3), 27-37. (in Persian)
- Shariati, H., Motamed Vaziri, B., Goudarzi, M. and Ahmadi, H. (2021). Optimization of cropping pattern using linear programming method and Lingo software in Dehgolan plain in Kurdistan province, Iran. *Geography and Environmental Sustainability*, 11(40), 81-96. (in Persian)
- Skonjad, M.M. (2019). *Engineering economics: Economic evaluation of industrial projects*. Printing turn: 49. Publications of Amirkabir University of Technology. Tehran, 642 p.
- Zarea, SH., Zareafeizabadi, A. and Sabohi, M. (2014). Investigation of yield and economic analysis of wheat based crop rotation systems. *Seed and Plant Production Journal*, 2(1), 19-33.

The effect of cropping pattern modification on the physical and economic productivity of crop irrigation water in Fars province (Case study: Qaderabad-Madarsolaman plain)

A. Eslami*, A. Shirvanian, R. Zareian

***Corresponding Author:** Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran.

Received: 6 July 2024, **Accepted:** 23 July 2024

Email: amireslami.50@gmail.com

[https://doi.org/ 10.22092/IDSER.2024.366325.1583](https://doi.org/10.22092/IDSER.2024.366325.1583)

Extended Abstract

Introduction

The sharp drop in the water level of the underground aquifers in the plains shows the lack of a suitable approach to create synergy between all the stakeholders in the water sector in the management of water resources. On the other hand, the undeniable limitation of water resources has led to the adoption of integrated water resources management as a requirement. In this regard, in an agricultural plain, there should be a matching of underground water resources with programmable water in order to reduce the severity of the created crisis and help to balance the plain over time. Therefore, avoiding acreage expanding in the agricultural sector and increasing water productivity should be on the agenda of decision makers, especially in the planning of cropping patterns.

Methodology

This research has been carried out with the aim of improving the cultivation pattern in improving the physical and economic productivity of water in the Qaderabad-Madarsolaman plain of Fars province. The required data of the products include crop calendar, price at the time of harvest, production cost, yield, monthly programmable amount of plain water and monthly irrigation water amount of each crop related to crop year 2021-2022, which is in the form of documents from Jihad- Agriculture Organization. and the Regional Water Company of Fars province was collected. Data analysis was done by mathematical programming method using GAMS software.

Results and Discussion

The results showed that after implementing the model and determining the optimal cultivation pattern, the number of agricultural products in the plain increased by 50%. So that the number of products reached 18 products from 12 products. Also, the area under cultivation of crops in the optimal cultivation pattern decreased by 27% and reached 3861 ha from 5303 ha. Meanwhile, the amount of irrigation water of the optimal pattern caused a 26% reduction in

the consumption of underground water resources. In addition, the amount of crop production in the current and optimal model was 8,469,3000 and 6,947,060 kg, respectively, and the decrease in the cultivated area has caused an 18% decrease in this index in the optimized model. However, the economic efficiency of the entire plain in the current and optimal model was calculated as 1975.37 and 2035.60 billion rials, respectively, which indicates a three percent increase in the optimal model. With regard to the direct effects of the modification of the cultivation pattern of the Qaderabad-Madarsolaman plain, including the increase in the number of agricultural products of the plain and the introduction of six crops with the highest economic water productivity into the optimal cultivation pattern, as well as the reduction of the area under cultivation of crops in the optimal cultivation pattern, and the increase of the economic efficiency of the entire plain in this pattern, it is expected that the index of physical productivity and economic productivity of the whole plain will also change. So, the physical water productivity index of the whole plain in the current and optimal model was obtained as 2.56 and 2.84 kg/m³, respectively. In the same way, the water economic productivity index of the whole plain was calculated as 59,607 and 83,086 rials per cubic meter, respectively.

Conclusions

The modification of the cultivation pattern in the Qaderabad-Madarsolaman plain resulted in the annual saving of 8.64 million cubic meters of water, an 11% increase in physical productivity, and a 39.4% increase in the economic productivity of water. Based on this, focusing on the water productivity index in the form of improving physical and economic productivity can be followed as a suitable approach to create synergy between all stakeholders and beneficiaries of the water sector in the management of water resources in the agricultural sector. In this approach, by focusing on increasing water productivity, in a defined time period, while minimizing the amount of production reduction, and by increasing the livelihood level of the users, it is possible to reduce the agricultural water consumption in the plains to the amount of programmable water.

Keywords: Climate change, Farmer's livelihood, Programmable water, Water shortage

بررسی حجم آب آبیاری، عملکرد و بهره‌وری آب در مزارع پنبه استان خراسان رضوی

محمد جلینی^{۱*}، ابوالقاسم حقایقی مقدم^۲، محمدمهدی نخجوانی مقدم^۳

^{۱*} به ترتیب دانشیار و استادیار پژوهش بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران.

^۳ استادیار، پژوهش موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۱۶

چکیده

هدف اصلی از اجرای این پروژه، اندازه‌گیری حجم آب آبیاری، عملکرد و بهره‌وری آب در مزارع پنبه تحت مدیریت کشاورزان در استان خراسان رضوی است. مزارع آزمایشی طوری انتخاب شدند که عوامل مختلف از جمله روش آبیاری، بافت خاک و کیفیت آب آبیاری را پوشش دهند. در کل استان جمعاً ۵۱ مزرعه پنبه در شهرستان‌های سبزوار، بردسکن، نیشابور، خواف، رشتخوار و سرخس انتخاب شدند. مزارع منتخب در سال ۱۳۹۷ مورد پایش زراعی و آبی قرار گرفتند. برداشت اطلاعات از مزارع منتخب با مراجعه حضوری به مزارع، تکمیل پرسشنامه، نمونه‌برداری از خاک و منبع آبی مزارع، ثبت برنامه آبیاری و اندازه‌گیری دبی منبع آب صورت گرفت. نیاز آبی پنبه در مناطق مختلف محاسبه و با حجم آب آبیاری کشاورزان مقایسه شد. نتایج تحقیق نشان داد که دامنه تغییرات مقدار آب آبیاری در مزارع استان بین ۴۹۲۰ تا ۱۷۶۲۰ مترمکعب بر هکتار متغیر است و متوسط حجم آب آبیاری در مزارع برابر ۹۸۳۰ مترمکعب بر هکتار برآورد گردید. دامنه تغییرات عملکرد پنبه نیز بین ۱۰۰۰ تا ۶۳۰۰ کیلوگرم بر هکتار متغیر بود و متوسط عملکرد محصول برابر ۳۰۷۸ کیلوگرم بر هکتار به‌دست آمد. دامنه تغییرات بهره‌وری آب پنبه بین ۰/۱۰۲ تا ۰/۹۵۷ کیلوگرم بر مترمکعب و متوسط آن برابر با ۰/۳۵۷ کیلوگرم بر مترمکعب محاسبه شد. میانگین بهره‌وری آب در دو روش آبیاری سطحی و قطره‌ای به ترتیب برابر ۰/۳۱۸ و ۰/۶۶۹ کیلوگرم بر مترمکعب به‌دست آمد که نشان می‌دهد با تغییر روش آبیاری از سطحی به قطره‌ای، بهره‌وری آب در مزارع پنبه استان بیش از ۱۱۰ درصد قابل افزایش است.

واژه‌های کلیدی: مدیریت آبیاری، روش‌های آبیاری، آبیاری سطحی، آبیاری قطره‌ای

مقدمه

(Silvertooth et al., 2001). پنبه گیاهی متحمل به خشکی

در نظر گرفته می‌شود با این حال حساسیت به خشکی در گونه‌ها و ارقام آن بسیار متفاوت است. یولا و همکاران (Ullah et al., 2008) با تایید وجود تنوع ژنتیکی در ارقام پنبه در ارتباط با سطح تحمل به تنش خشکی می‌گویند به‌رغم عملکرد بالای برخی ارقام پنبه در شرایط آبیاری نرمال، در شرایط کمبود آبیاری این ارقام عملکرد پایینی دارند. قائمی (Ghaemi, 1999) با اجرای یک تحقیق مقدار آب آبیاری مورد نیاز کشت پنبه (رقم ورامین) در منطقه ورامین را حدود ۱۰۱۱۰ متر مکعب بر هکتار گزارش

میزان آب آبیاری فصلی پنبه تابع اقلیم، رقم، خاک، و طول دوره رشد است و دامنه تغییرات آن بسته به شرایط از ۴۰۰ میلی‌متر تا حدود ۱۰۰۰ میلی‌متر در کشور در نوسان است. طول دوره رشد گیاه پنبه، بسته به اقلیم و رقم، از ۱۵۰ تا ۱۸۰ روز متغیر است (Kiani, 2011). بعد از انتخاب رقم، کاشت بذر و استقرار بوته، بزرگ‌ترین تصمیم مدیریتی در مزرعه پنبه انتخاب زمان مناسب شروع آبیاری است (Sohrabi moshkabadi, 2017). اولین آبیاری روی آبیاری‌های بعدی و فنولوژی گیاه اثر مستقیم می‌گذارد

کشاورزی کاشمر دریافتند که تنش کمبود آب سبب کاهش اجزای رشد رویشی پنبه می شود، با این همه میزان این کاهش در ارقام متحمل بیشتر از ارقام حساس پنبه است. در واقع در مواجهه با تنش کمبود آب، اجزای زایشی در ارقام متحمل پنبه، در مقایسه با ارقام حساس پنبه، کاهش کمتری نشان داده اند. براساس مطالعات در استان گلستان، میزان آب آبیاری پنبه بین ۲۸۵۰ تا ۵۹۰۰ متر مکعب بر هکتار، عملکرد پنبه بین ۱۷۰۰ تا ۳۸۰۰ کیلوگرم در هکتار و بهره‌وری آب پنبه بین ۰/۲ تا ۰/۹ کیلوگرم بر مترمکعب در مناطق مختلف استان گلستان گزارش شده است (Sohrabi moshkabadi, 2017).

پنبه به روش‌های مختلف آبیاری سطحی و تحت فشار آبیاری می شود. مقایسه آبیاری قطره‌ای با آبیاری سطحی پنبه حکایت از برتری قابل توجه بهره‌وری آب پنبه به دلیل صرفه‌جویی مناسب آب در این روش آبیاری است (Aujla et al., 2005; Bakhtiyor et al., 2003). نتایج مقایسه دو روش آبیاری قطره‌ای و نشتی در زراعت پنبه در منطقه خراسان رضوی نشان داده است که با صرفه‌جویی قابل توجه (۴۲ درصد) در روش آبیاری قطره‌ای، نسبت به روش آبیاری شیاری، میزان تولید کل پنبه بدون اضافه کردن منابع جدید آبی افزایش می‌یابد (Afshar & Mehrabadi, 2007). در تحقیقی، اثر دو روش آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی طی دو سال بر عملکرد و بهره‌وری آب پنبه در منطقه کاشمر نشان داد عملکرد و ش در دو روش آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی به ترتیب ۳۰۷۴ و ۳۹۸۸ کیلوگرم بر هکتار است که با هم اختلاف معنی‌دار دارند. بهره‌وری آب الگوهای مذکور به ترتیب ۰/۲۶۸ و ۰/۳۴۹ کیلوگرم و ش به ازای مصرف هر مترمکعب آب بوده است (Joleini & Mehrabadi, 2010). در ترکیه، پنبه عمدتاً به صورت سطحی آبیاری می شود، اما در سال‌های اخیر آبیاری قطره‌ای و بارانی به دلیل دارا بودن راندمان و یکنواختی بیشتر به خصوص در مناطقی که با کم آبی روبه‌رو شده‌اند، گسترش یافته است. در مطالعه‌ای در منطقه جنوب شرق ترکیه، سه روش آبیاری

کرده است. آیارز و همکاران (Ayars et al., 1991) گزارش کردند که کاربرد آب بیشتر از نیاز آبی گیاه پنبه منجر به کاهش عملکرد محصول در اثر رشد رویشی بی‌رویه می شود. بنابراین، انتخاب رقم‌های برخوردار از ویژگی‌های رشدی مطلوب و کاربرد روش‌های مناسب آبیاری می‌تواند در افزایش تولید و بهبود بهره‌وری آب موثر باشد. آیارز و همکاران (Ayars et al., 1991) در پژوهشی دیگر با ارزیابی عملکرد و بهره‌وری آب در مزارع پنبه منطقه کالیفرنیا نشان دادند که کاربرد آب بیشتر از نیاز آبی گیاه منجر به کاهش عملکرد محصول می شود زیرا آب اضافی باعث رشد رویشی زیاد پنبه خواهد شد. این محققان اضافه می کنند بهره‌وری آب در مزارعی بیشتر است که طول مزرعه کوتاه و پخش آب یکنواخت تر است. نتایج تحقیق رحیمیان و کاخکی (Rahimian & Kakhki, 2007) نشان داد که آب مورد نیاز پنبه در دوره رشد در منطقه کاشمر حدود ۶۰۰۰ تا ۹۰۰۰ مترمکعب بر هکتار است و در مناطقی که دمای هوا زیاد و خاک منطقه شنی باشد، آب مورد نیاز پنبه به ۱۱۰۰۰ مترمکعب بر هکتار نیز خواهد رسید. سهرابی مشک آبادی (Sohrabi moshkabadi, 2009; Sohrabi Moshkabadi, 2011) در تحقیقات خود در مؤسسه تحقیقات پنبه نتیجه گرفته است که نیاز آبی پنبه در منطقه گرگان حدود نصف مقدار اعلام شده و بین ۴۲۰۰ تا ۴۵۰۰ متر مکعب بر هکتار است. جعفرآقایی و جلالی (Jafaraghaei & Jalali, 2012) طی مطالعه‌ای در استان اصفهان، برای مقادیر شوری آب ۴، ۷۰، ۱۰ و ۱۳ دسی‌زیمنس بر متر حجم آب آبیاری پنبه را به ترتیب برابر ۱۰۸۵۶، ۱۲۰۶۲، ۱۲۷۷۱ و ۱۳۵۷۰ مترمکعب بر هکتار و بهره‌وری آب پنبه را به ترتیب برابر ۰/۳۹، ۰/۳۱، ۰/۲۴ و ۰/۱۳۵ مترمکعب بر هکتار گزارش داده‌اند. اسدی و همکاران (Asadi et al., 2013) می‌گویند میزان آب مصرفی پنبه در منطقه ارزویییه کرمان در صورت تامین ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه به ترتیب برابر ۹۲۰۰، ۷۷۰۰ و ۶۰۰۰ متر مکعب بر هکتار است. مهرآبادی و همکاران (Merabadi et al., 2016) طی پژوهشی در ایستگاه تحقیقات

از منابع محدود آب‌های سطحی نه تنها موجب تخریب محیط زیست شده‌است بلکه به دلیل رقابت میان کشاورزان، بهره برداری از آب‌های زیرزمینی نیز به شدت گسترش یافته‌است. این محققان در بررسی پرسشنامه های ۱۱۲ بهره‌بردار دریافتند که اندازه مزرعه، نوع محصول و تعداد کشت در سال در انتخاب سیستم آبیاری قطره‌ای مؤثر بوده‌اند. نخبجوانی مقدم و همکاران (Nakhjavanimoghaddam et al., 2020) در پژوهشی با هدف تعیین آب مصرفی پنبه کشور مشخص کردند که میانگین میزان آب مصرفی پنبه در استان‌های خراسان رضوی، فارس، گلستان، خراسان شمالی، اردبیل، سمنان و البرز به ترتیب برابر ۹۸۳۰، ۹۹۴۵، ۵۰۷۰، ۶۸۱۵، ۷۵۴۳، ۱۰۵۳۶ و ۸۳۹۳ مترمکعب در هکتار است. میانگین آب مصرفی پنبه کشور در دو روش آبیاری سطحی و قطره‌ای به ترتیب برابر ۹۰۹۷ و ۷۱۴۵ مترمکعب در هکتار و حاکی از برتری آبیاری قطره‌ای در زراعت پنبه است.

سطح زیر کشت پنبه در کشور و در استان خراسان رضوی طی ۴۰ سال گذشته به دلایل مختلف کاهش قابل توجهی داشته است. سطح کشت پنبه در استان خراسان رضوی طی ۱۵ سال گذشته از حدود ۵۰ هزار هکتار به کمتر از ۲۵ هزار هکتار کاهش یافته است. مهم‌ترین دلیل این کاهش سطح کشت پنبه محدودیت منابع آب بخش کشاورزی است. در استان خراسان رضوی نیز مانند سایر بخش‌های کشور، بخش قابل توجهی از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی در بخش کشاورزی استفاده می‌شود. شرایط اقلیمی کشور همواره در معرض ریسک تنش کمبود آب و خشکسالی است و از سوی دیگر، نیاز روزافزون بخش‌های مختلف به آب، در سال‌های آینده، رقابت هرچه بیشتر برای مصرف آب را موجب خواهد گردید. بنابراین ارتقا و بهبود بهره‌وری آب یکی از راهکارهای اثربخش و کاربردی برای تولید محصولات کشاورزی در شرایط تنش آبی به شمار می‌رود. اساسی‌ترین گام در مسیر بهبود بهره‌وری آب در بخش کشاورزی، آگاهی از میزان آب آبیاری در تولید محصولات اساسی و از جمله پنبه است. بنابراین، پژوهش در

شیاری، بارانی و قطره‌ای مقایسه شد. حداکثر عملکردهای وش پنبه ۴۳۸۰، ۳۶۳۰ و ۳۳۸۰ کیلوگرم بر هکتار به ترتیب مربوط به روش‌های آبیاری قطره‌ای، شیاری و بارانی بود. بهره‌وری آب در سه روش فوق به ترتیب ۴/۸۷، ۳/۸۷ و ۲/۳۶ کیلوگرم بر مترمکعب در هکتار محاسبه گردید (Cetin & Bilgel, 2002). در تگزاس که منطقه‌ای نیمه خشک است، بیشترین عملکرد پنبه از روش آبیاری قطره‌ای به دست آمد که به میزان ۷۴۰ میلی‌متر آب مصرف کرده بود (Wanjura et al., 2002). زارت و باستیانسن (Zwaet & Bastiansen, 2004) بر اساس یک تحلیل جامع از نتایج تحقیقات و آزمایش‌های ۲۵ ساله دریافتند که دامنه مقادیر بهره‌وری آب پنبه از مقادیر گزارش شده توسط سازمان فائو تجاوز می‌کند. دامنه تغییرات برای پنبه (دانه)، پنبه (الیاف)، به ترتیب برابر ۰/۹۵-۰/۴۱ و ۰/۳۳-۰/۱۴ کیلوگرم بر مترمکعب اعلام شده است. این محققان نتیجه‌گیری کردند که پتانسیل و فرصت برای حفظ یا افزایش بهره‌وری آب پنبه زیاد است. ابراگیموف و همکاران (Ibragimov et al., 2007) در تحقیقی ۳ ساله با مقایسه بهره‌وری آب پنبه در دو روش آبیاری قطره‌ای و شیاری نتیجه گرفتند که با کاربرد روش آبیاری قطره‌ای، نسبت به روش آبیاری شیاری، ۱۸ تا ۴۲ درصد در مصرف آب صرفه‌جویی می‌شود و میزان بهره‌وری آب در روش آبیاری قطره‌ای به میزان ۳۵ تا ۱۰۳ درصد نسبت به روش آبیاری شیاری افزایش می‌یابد. راثو و همکاران (Rao et al., 2016) با آزمایش‌های مزرعه‌ای طی سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۱ دریافتند که برای گیاه پنبه در مناطق خشک و نیمه خشک هندوستان روش آبیاری قطره‌ای بر روش آبیاری شیاری مزیت دارد. تامین ۱۰۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه پنبه در روش آبیاری قطره‌ای به ترتیب سبب صرفه‌جویی در میزان آب مصرفی به میزان ۳۰ و ۱۷ درصد نسبت به روش آبیاری شیاری شده است. فیک و همکاران (Feike et al., 2017) برای افزایش درک کشاورزان پنبه کار چینی از بهره‌وری آب، در شمال غرب چین تحقیقاتی کردند و به این نتیجه رسیدند استفاده بیش از حد

۴ یا ۵) اندازه گیری گردید. در مزارعی که سامانه آبیاری از نوع قطره ای بود، دبی خروجی از قطره چکان ها با روش حجمی اندازه گیری شد. پس از اندازه گیری و تعیین دبی منبع آب در مزارع منتخب، بر اساس تعداد ساعت آبیاری، حجم آب آبیاری در هر نوبت آبیاری در هر یک از مزارع منتخب پنبه تعیین شد. با توجه به سطح زیرکشت پنبه، عمق آب آبیاری نیز به دست آمد. بدین طریق برای هر نوبت آبیاری در مزارع منتخب، حجم و عمق آب آبیاری برآورد گردید. در پایان فصل رشد، با جمع مقادیر نوبت های آبیاری حجم و عمق کل آب آبیاری پنبه در مزارع منتخب تعیین شد. عملکرد پنبه در هر مزرعه تعیین شد و با توجه به میزان آن و حجم آب آبیاری، بهره وری آب به دست آمد.

از اطلاعات هواشناسی مناطق منتخب شامل متوسط روزانه دمای حداکثر و حداقل هوا، رطوبت نسبی حداکثر و حداقل هوا، سرعت باد (متر بر ثانیه) در ارتفاع ۲ متری، و تعداد ساعات آفتابی در شبانه روز در یک دوره آماری ۱۰ ساله (سال های ۱۳۹۸ تا ۱۳۹۷) برای برآورد تبخیر- تعرق مرجع استفاده گردید. تبخیر- تعرق مرجع با استفاده از نرم افزار ET_o-Calculator نیاز آبی خالص پنبه در مناطق به روش فائو پنمن مانیت فائو برآورد شد (Raes, 2012). ارتفاع تبخیر- تعرق پتانسیل پنبه در مناطق منتخب با استفاده از رابطه (۱) برآورد گردید.

$$ET_c = K_c \times ET_o \quad (1)$$

مقادیر ضریب گیاهی (K_c) برای هر مرحله رشد گیاه بر اساس نشریه فائو ۵۶ انتخاب و براساس نشریه شماره ۲۹ فائو، نیاز آب آبیاری در آبیاری سطحی و قطره ای از رابطه (۲) و (۳) برآورد گردید (Allen et al., 1998).

$$LR = \frac{EC_w}{5EC_e - EC_w} \quad (2)$$

$$LR = \frac{EC_w}{2MaxEC_e} \quad (3)$$

که در آن، EC_w هدایت الکتریکی آب آبیاری (دسی زیمنس بر متر)، EC_e آستانه تحمل ۱۰ درصد کاهش محصول (۹/۵ دسی زیمنس بر متر)، و $MaxEC_e$ شوری با

سطح استانی و ملی که بتواند به اعداد مشخصی در مورد حجم آب آبیاری محصولات زراعی منتهی گردد، ضروری و با اهمیت است. بنابراین، برآورد و مقایسه میزان نیاز آبی و آب آبیاری پنبه در استان خراسان رضوی تحت مدیریت کشاورزان هدف اصلی این پژوهش است.

مواد و روش ها

این پروژه به صورت میدانی و به منظور تعیین حجم آب آبیاری پنبه در مزارع تحت مدیریت کشاورزان طی یک فصل زراعی (۱۳۹۷) اجرا شد. در استان خراسان رضوی شش شهرستان نیشابور، سبزوار، بردسکن، رشتخوار، سرخس و خواف انتخاب شدند که بیشترین سطح زیرکشت پنبه را دارند. مزارع مورد مطالعه برای محصول پنبه به گونه ای انتخاب شدند که بتوان میانگین حجم آب آبیاری محصول را با دقت قابل قبولی برآورد کرد. تعداد ۵۱ مزرعه در شهرستان ها با کمک کارشناسان معاونت تولیدات گیاهی، مدیریت هماهنگی ترویج و مدیریت آب و خاک سازمان جهاد کشاورزی استان شناسایی و انتخاب شد. در این پروژه میانگین حجم آب آبیاری پنبه در دوره رشد گیاه در مزارع منتخب اندازه گیری گردید.

مزارع آزمایشی طوری انتخاب شدند که تغییرات در عوامل مختلف از جمله روش آبیاری، بافت خاک، نوع مالکیت، کیفیت آب آبیاری و ... را پوشش دهند. مزارع منتخب در فصل رشد مورد پایش زراعی قرار گرفتند و مواردی مانند تاریخ کاشت، تاریخ برداشت، رقم به کار رفته و ... یادداشت برداری شد. برخی دیگر از مشخصات عمومی مزارع مانند مساحت، موقعیت دقیق مکانی (با استفاده از GPS)، روش آبیاری، منبع آب آبیاری (سطحی، زیرزمینی)، زمان برداشت از منبع آبی و تغییرات دبی برداشتی در طول سال، نوع شبکه (مدرن/ سنتی)، مشخصات بهره برداران در فرم های ثبت اطلاعات عمومی مزارع منتخب درج گردید.

حجم آب آبیاری در مزارع منتخب از طریق مراجعه حضوری به مزارع، تکمیل پرسشنامه، ثبت برنامه آبیاری و اندازه گیری دبی منبع آب با استفاده از فلوم دوزنقه ای (تیپ

بررسی حجم آب آبیاری، عملکرد و بهره‌وری آب در مزارع پنبه استان خراسان رضوی

عملکرد صفر (برابر ۲۷ دسی‌زیمنس بر متر) است. شاخص بهره‌وری آب از نسبت عملکرد پنبه (کیلوگرم در هکتار) به حجم آب آبیاری (مترمکعب در هکتار) به‌دست آمد. به عبارت دیگر شاخص بهره‌وری آب در تولید پنبه از رابطه (۴) به‌دست آمد:

$$WUE = \frac{CY}{CW} \quad (4)$$

که در آن، WUE بهره‌وری آب آبیاری (کیلوگرم بر مترمکعب آب مصرفی در سراسر فصل)، CY عملکرد پنبه (کیلوگرم در هکتار در سال) و CW حجم آب آبیاری (مترمکعب بر هکتار در سال) بود.

مشخصات کلی مزارع و پارامترهای اولیه اندازه‌گیری و محاسبه شده در دشت‌های مورد بررسی و کل مزارع در جدول ۱ آورده شده است. حداقل، حداکثر و میانگین دبی در کل مزارع انتخابی به ترتیب برابر با ۱۰/۵، ۷۵/۰ و ۳۶/۷

در کل مزارع انتخابی به ترتیب برابر با ۱۰/۵، ۷۵/۰ و ۳۶/۷ تا ۱۳۹۷/۰۶/۲۰ تا ۱۳۹۷/۱۱/۱۰ متغیر بود.

جدول ۱- محدوده تغییرات برخی داده‌های پایه در مزارع مورد مطالعه

Table 1- Range of changes in some basic data in the studied farms

شهرستان Town	پارامتر Parameter	دبی Discharge (L/s)	شوری آب Water salinity (ds/m)	شوری خاک Soil salinity (ds/m)	درصد آبشویی Leaching percent (%)	سطح مزارع Farm Area (ha)	طول دوره رشد Crop growth period (days)	متوسط عمق آب آبیاری Irrig. Depth (mm)	تعداد نوبت آبیاری No. of Irrig.
بردسکن Bardaskan	حداقل	۱۵/۰	-۰/۷۲	۱/۱۲	۱/۳۳	۱/۵	۱۰۲	۵۴/۴	۹
	حداکثر	۴۵/۰	۵/۱۱	۷/۲۴	۱۱/۹۱	۱۰/۰	۱۴۲	۸۳/۴	۱۱
	میانگین	۳۵/۰	۳/۸۱	۵/۵۸	۷/۹۷	۶/۶	۱۲۷	۶۹/۵	۱۱
نیشابور Nyshabor	حداقل	۱۰/۵	۳/۸۲	۵/۳۳	۸/۰۴	۰/۷	۱۰۲	۶۳/۳	۷
	حداکثر	۵۰/۰	۷/۲۱	۱۰/۱۰	۱۳/۳۵	۲۰/۰	۱۷۴	۹۷/۰	۱۱
	میانگین	۳۲/۰	۴/۸۴	۶/۷۷	۹/۹۶	۸/۲	۱۳۴	۷۷/۶	۹
سبزوار Sabsevar	حداقل	۲۰/۰	۲/۴۲	۳/۶۹	۵/۳۱	۱/۰	۱۲۴	۷۵/۶	۱۰
	حداکثر	۴۳/۱	۱۱/۸۱	۲۳/۶۰	۳۲/۶۳	۱۰/۰	۱۴۱	۹۴/۰	۱۱
	میانگین	۳۳/۷	۴/۲۱	۶/۹۱	۱۰/۲۰	۳/۱	۱۳۲	۸۷/۴	۱۱
خواف Khaf	حداقل	۱۶/۵	-۰/۷۳	۴/۲۷	۱/۵۴	۱/۰	۱۸۵	۴۸/۳	۱۱
	حداکثر	۴۰/۰	۱۰/۴۰	۲۱/۷۰	۲۷/۶۶	۲۵/۰	۲۶۵	۱۲۱/۶	۳۱
	میانگین	۳۱/۷	۵/۳۰	۱۱/۶۳	۱۲/۸۹	۶/۴	۲۲۰	۸۲/۷	۱۹
رشتخوار Roshtkhar	حداقل	۲۵/۰	۵/۱۰	۶/۳۸	۱۱/۸۹	۰/۵	۱۸۴	۸۰/۶	۷
	حداکثر	۷۵/۰	۸/۸۵	۲۵/۲۰	۲۲/۶۱	۲۴/۰	۲۲۳	۱۸۵/۱	۱۵
	میانگین	۳۸/۵	۷/۰۹	۹/۸۳	۱۶/۷۸	۱۰/۰	۲۰۵	۱۲۰/۴	۱۰
سرخس Saraks	حداقل	۳۵/۰	۱/۷۰	۲/۳۰	۳/۶۷	۱/۲	۱۹۹	۴۴/۷	۵
	حداکثر	۷۵/۰	۱۰/۶۰	۱۷/۰۲	۲۸/۳۴	۵۳/۰	۲۷۵	۲۱۶/۲	۳۱
	میانگین	۴۷/۵	۶/۰۴	۱۰/۰۲	۱۴/۲۶	۱۵/۴	۲۳۴	۱۰۴/۹	۱۰
کل مزارع منتخب Total	حداقل	۱۰/۵	-۰/۷۲	۱/۱۲	۱/۳۳	۰/۵	۱۰۲	۴۴/۷	۵
	حداکثر	۷۵/۰	۱۱/۸۱	۲۵/۲۰	۳۲/۶۳	۵۳/۰	۲۷۵	۲۱۶/۲	۳۱
	میانگین	۳۶/۳	۵/۳۷	۸/۵۸	۱۲/۱۶	۸/۳	۱۷۸	۹۰/۸	۱۲

نتایج و بحث

۱۳۵۹ و ۱۲۲۸، در شهرستان سبزوار ۱۸۷۵، ۱۸۳۴ و ۱۶۲۹، در شهرستان خواف ۱۶۲۳، ۱۹۵۷ و ۱۹۲۵، در شهرستان رشتخوار ۱۵۳۲، ۱۵۹۵، در شهرستان سرخس ۱۶۱۸، ۱۷۴۲ و ۱۶۰۲ و در کل مزارع ۱۵۴۳، ۱۳۸۳ و ۱۵۴۷ میلی متر نتیجه شد. متوسط عمق آب آبیاری داده شده نیز در شش شهرستان بردسکن، نیشابور، سبزوار، خواف، رشتخوار و سرخس به ترتیب برابر با ۷۲۶، ۶۷۷، ۹۱۷، ۱۴۷۹، ۱۱۲۸ و ۹۰۰ میلی متر و در کل مزارع ۹۸۳ میلی متر به دست آمد. نتایج بررسی ها نشان داد که متوسط عمق آب آبیاری داده شده کشاورزان، در مقایسه با مقدار محاسبه شده با سند ملی، مقدار برآورد شده بر اساس داده های هواشناسی سال ۱۳۹۷ و مقدار برآورد شده بر اساس آمار هواشناسی ۱۰ ساله به ترتیب ۵۶، ۴۱ و ۵۷ درصد کمتر آبیاری کردند. لازم است یادآوری شود برخی تحقیقات نشان داده است که نرم افزارها و روابطی که میزان تبخیر و تعرق واقعی گیاه را محاسبه می نمایند، مقادیر را بیشتر از واقعیت برآورد می کنند (Ragab, 2024).

مقایسه عمق آب آبیاری با نیاز آبیاری برآورد شده پنبه
برای مقایسه عمق آب آبیاری (که کشاورزان اعمال می کنند) با نیاز آبیاری در مزارع منتخب، ابتدا از تقسیم نیاز آبی پنبه بر راندمان آبیاری در هر یک از مزارع میزان نیاز آبیاری محاسبه شد. با توجه به نظر کارشناسان و شیوه آبیاری در مزارع مورد مطالعه، پتانسیل راندمان آبیاری برای روش قطره ای ۹۰ درصد و برای روش آبیاری سطحی ۶۰ درصد در نظر گرفته شد (Abbasi et al., 2016). در جدول (۲)، دامنه تغییرات عمق آب آبیاری مزارع پنبه در مناطق مختلف اجرا با مقادیر نیاز ناخالص آبیاری پنبه برآورد شده به سه روش سند ملی آب، داده های هواشناسی سال ۱۳۹۷ و داده های هواشناسی ۱۰ ساله منتهی به سال ۱۳۹۷ مقایسه شده است. مقدار برآورد شده نیاز ناخالص آبیاری به سه روش سند ملی آب، داده های هواشناسی سال ۱۳۹۷ و میانگین داده های هواشناسی ۱۰ ساله، در شهرستان بردسکن به ترتیب ۱۲۴۴، ۱۴۵۹ و ۱۲۴۳، در شهرستان نیشابور ۱۳۴۸،

جدول ۲- مقایسه میانگین عمق آب آبیاری و آب آبیاری برآورد شده

Table 2- Comparison of the average depth of irrigation water and estimated irrigation water

نیاز آبی (میلی متر) بر اساس Water Requirement (mm) Based on			عمق آب آبیاری Irrig. Depth (mm)	شهرستان Town
داده های هواشناسی ۱۰ ساله 10 Years of Meteorological Data	داده های هواشناسی سال ۱۳۹۷ Meteorological Data of 2018	سند ملی آب National Water Document		
۱۲۴۳±۴۲۰	۱۴۵۸±۴۹۲	۱۲۴۴±۲۶۶	۷۲۶±۱۰۵	بردسکن Bardaskan
۱۲۲۸±۲۲۸	۱۳۵۸±۲۴۸	۱۳۴۸±۱۶۶	۶۷۷±۶۱	نیشابور Nyshabor
۱۶۲۹±۸۱	۱۸۳۴±۸۷	۱۸۷۵±۰	۹۱۷±۶۷	سبزوار Sabsevar
۱۹۲۵±۱۸۰	۱۹۵۷±۱۶۹	۱۶۲۳±۰	۱۴۷۹±۱۸۲	خواف Khaf
۱۵۹۵±۱۱۷	موجود نبود	۱۵۳۲±۰	۱۱۲۸±۲۱۴	رشتخوار Roshtkhar
۱۶۰۲±۱۹۵	۱۷۴۲±۲۱۱	۱۶۱۸±۱۸۷	۹۰۰±۲۷۳	سرخس Saraks
۱۵۴۷±۳۲۴	۱۳۸۳±۷۱۸	۱۵۴۳±۹۸	۹۸۳±۳۲۱	کل مزارع منتخب Total

منطقه، بافت خاک، نوع مالکیت و حقایق کشاورزی، شوری آب و خاک، تاریخ کاشت، رقم کاشت، تعداد دفعات آبیاری، تاریخ برداشت، طول دوره رشد، و ... متغیر بوده‌است، ضمن اینکه مدیریت آبیاری کشاورزان در هر مزرعه با مزرعه دیگر تفاوت داشته است. هدف از اجرای این تحقیق نیز تعیین میزان آب آبیاری تحت مدیریت کشاورزان بوده‌است. چنانچه رفتار رشدی گیاه پنبه را در نظر بگیریم، کاهش آب آبیاری حتی در مواردی می‌تواند از کاهش عملکرد ناشی از رشد رویشی بی‌رویه جلوگیری کند در این زمینه، تنش شدید در مرحله تشکیل اندام‌های زایشی و زمان گرده‌افشانی موجب ریزش غوزه‌ها می‌شود. فراونی رطوبت خاک در مرحله زایشی موجب تحریک رشد رویشی و محدودیت گلدهی گیاه می‌شود. در این میان، تعادل بین رشد رویشی و تعداد گل برای حصول حداکثر عملکرد لازم است. در نتیجه رطوبت مناسب در خاک برای برقراری این تعادل اهمیت زیادی دارد (Naderi Arefi et al., 2022).

تغییرات حجم آب آبیاری، عملکرد و بهره‌وری آب پنبه
جدول ۳ اطلاعات حجم آب آبیاری، عملکرد و بهره‌وری آب را در دو روش آبیاری سطحی و قطره‌ای و کل مزارع نشان می‌دهد. دامنه تغییرات مقادیر آب آبیاری در مزارع استان زیاد و بین ۴۹۲۰ تا ۱۷۶۲۰ مترمکعب بر هکتار متغیر و با متوسط ۹۸۳۰ مترمکعب بر هکتار است. حداقل، حداکثر و میانگین حجم آب آبیاری در روش آبیاری سطحی به ترتیب ۱۰۱۷۵ و ۱۷۶۲۰ و ۴۹۲۰ مترمکعب در هکتار و در روش قطره‌ای به ترتیب ۶۲۰۰، ۹۶۰۰ و ۷۲۴۲ مترمکعب در هکتار است. این امر بیانگر آن است که با تغییر روش آبیاری از سطحی به قطره‌ای نواری (تیپ)، میزان آب آبیاری در مزارع پنبه استان به طور متوسط ۴۰ درصد کاهش می‌یابد (۱۰۱۷۵ مترمکعب در هکتار در برابر ۷۲۴۲ مترمکعب در هکتار). متفاوت بودن حجم آب آبیاری، علاوه بر تاثیر روش آبیاری مورد استفاده در مزارع منتخب می‌تواند به این دلیل باشد که در مزارع آزمایشی عوامل مختلف از جمله اقلیم

جدول ۳- محدوده تغییرات حجم آب آبیاری، عملکرد و بهره‌وری آب در مزارع مورد مطالعه بر اساس سامانه آبیاری

Table 3 - Range of changes in irrigation water volume, yield And water productivity in the studied fields based on the irrigation system

بهره‌وری آب Water Productivity (kg/m ³)	عملکرد Yield (kg/ha)	حجم آب آبیاری Irrigation Water (m ³ /ha)	پارامتر Parameter	سامانه آبیاری Irrigation System
۰/۱۰۲	۱۰۰۰	۴۹۲۰	Min حداقل	آبیاری سطحی Surface Irrigation
۰/۷۶۱	۵۰۰۰	۱۷۶۲۰	Max حداکثر	
۰/۳۱۸	۲۸۹۲	۱۰۱۷۵	Mean میانگین	
۰/۱۸۱	۱۱۴۸	۳۲۲۶	Standard Division انحراف معیار	
۰/۱۵۶	۱۵۰۰	۶۲۰۰	Min حداقل	آبیاری قطره‌ای Drip Irrigation
۰/۹۵۷	۶۳۰۰	۹۶۰۰	Max حداکثر	
۰/۶۶۹	۴۴۷۰	۷۲۴۲	Mean میانگین	
۰/۲۶۴	۱۷۵۱	۱۴۵۴	Standard Division انحراف معیار	
۰/۱۰۲	۱۰۰۰	۴۹۲۰	Min حداقل	کل مزارع منتخب Total
۰/۹۵۷	۶۳۰۰	۱۷۶۲۰	Max حداکثر	
۰/۳۶۷	۳۰۷۸	۹۸۳۰	Mean میانگین	
۰/۳۱۸	۱۳۱۵	۳۲۰۶	Standard Division انحراف معیار	

تغییرات در حجم آب آبیاری و عملکرد در مزارع منتخب شده است، روی میزان بهره‌وری آب نیز اثر گذاشته است. به‌طور کلی، بهبود بهره‌وری آب در سطح مزرعه نیازمند هماهنگی بهتر استفاده از آب بر حسب نیاز محصولات در زمان و مقدار استفاده از آن است که سرانجام سبب بهبود عملکرد محصول و مقدار آب مصرف‌شده در سطح مزرعه می‌شود. این عمل با بهره‌گیری از فناوری نوین و به کار بستن روش‌های بهتر مدیریتی ممکن خواهد شد. با اتخاذ روش آبیاری قطره‌ای و بهبود مدیریت آب و خاک در مزرعه، بهره‌وری آب پنبه افزایش خواهد یافت (Fan et al., 2018). برای افزایش بهره‌وری آب در پنبه، علاوه بر مدیریت آبیاری، لازم است کلیه عملیات مدیریتی موثر بر مصرف نهاده‌ها مانند تغذیه بهینه، رقم مناسب، رعایت تاریخ کاشت مناسب و کنترل عوامل خسارت‌زا مدنظر قرار گیرد. استفاده از ارقام زودرس پنبه، نسبت به رقم دیررس، سبب کاهش مصرف آب به میزان ۱۰۰۰ مترمکعب در هکتار (۱۰ درصد) و افزایش عملکرد و بهره‌وری آب پنبه به ترتیب به میزان ۱۰ و ۱۵ درصد می‌شود (Nakhjavanimoghaddam, et al., 2020). با توجه به نوسان‌های بهره‌وری آب در شرایط گوناگون، نقش مدیریت آب در بهبود بهره‌وری آب و افزایش عملکرد انکارناپذیر است. تغییر روش آبیاری از سطحی به قطره‌ای موضوعی است که در بیشتر پژوهش‌ها تأیید شده است. به منظور بررسی آماری تفاوت بین پارامترهای آب آبیاری، عملکرد و بهره‌وری آب در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای و سطحی از آزمون تی-تست استفاده شد که نتایج آن در جدول ۴ ارائه شده است. مشاهده می‌شود تفاوت میانگین حجم آب آبیاری، عملکرد و بهره‌وری آب در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای و سطحی به ترتیب به ترتیب ۲۹۳۳ مترمکعب در هکتار، ۱۵۷۸ کیلوگرم در هکتار و ۰/۳۳۱ کیلوگرم بر مترمکعب بوده است و تفاوت بین دو سامانه از نظر آماری معنی دار است. بنابراین، تغییر سامانه آبیاری از سطحی به قطره‌ای باعث کاهش مصرف آب، افزایش میزان محصول و افزایش بهره‌وری آب شده است.

دامنه تغییرات مقادیر عملکرد پنبه در مزارع استان زیاد و بین ۱۰۰۰ تا ۶۳۰۰ کیلوگرم بر هکتار متغیر بوده است. این دامنه وسیع مقادیر عملکرد محصول در استان بیش از هر چیز دیگری بیانگر پتانسیل بالای منطقه برای افزایش عملکرد پنبه است. متوسط عملکرد محصول در مزارع استان برابر ۳۰۷۸ کیلوگرم بر هکتار با انحراف معیار ۱۳۱۵ کیلوگرم در هکتار است. حداقل، حداکثر و میانگین عملکرد در روش آبیاری سطحی به ترتیب ۱۰۰۰، ۵۰۰۰ و ۲۸۹۲ کیلوگرم در هکتار و در روش قطره‌ای به ترتیب ۱۵۰۰، ۶۳۰۰ و ۴۴۷۰ کیلوگرم در هکتار است. این امر نیز بیانگر آن است که با تغییر روش آبیاری از سطحی به قطره‌ای، میانگین عملکرد محصول در مزارع پنبه استان بیش از ۵۴ درصد افزایش یافته است (جدول ۳). جنسن (Jensen, 1993) می‌گوید مصرف آب در سامانه آبیاری قطره‌ای، در مقایسه با سامانه آبیاری ردیفی، به نصف کاهش و عملکرد حدود ۳۰ درصد افزایش می‌یابد.

پس از تعیین حجم آب آبیاری و تولید پنبه، بهره‌وری آب برای هر مزرعه از تقسیم تولید بر حجم آب آبیاری محاسبه شد. دامنه تغییرات بهره‌وری آب پنبه در مزارع استان بین ۰/۱۰۲ تا ۰/۹۵۷ کیلوگرم بر مترمکعب است. متوسط بهره‌وری آب در مزارع استان برابر ۰/۳۵۷ کیلوگرم بر مترمکعب است. سهرابی مشکابادی (Sohrabi moshkabadi, 2017) میانگین بهره‌وری آب پنبه در استان خراسان رضوی را ۰/۳ کیلوگرم به ازای هر مترمکعب آب گزارش کرده است. حداقل، حداکثر و میانگین بهره‌وری آب در روش آبیاری سطحی به ترتیب ۰/۱۰۲، ۰/۷۶۱ و ۰/۳۱۸ کیلوگرم بر مترمکعب و در روش قطره‌ای به ترتیب ۰/۱۵۶، ۰/۹۵۷ و ۰/۶۶۹ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمده است. این امر بیانگر آن است که با تغییر روش آبیاری از سطحی به قطره‌ای، بهره‌وری آب در مزارع پنبه استان بیش از ۱۱۰ درصد افزایش نشان می‌دهد (جدول ۳). دلیل اصلی این تفاوت متغیر بودن حجم آب آبیاری و عملکرد محصول در مزارع منتخب است. به عبارتی، همان عواملی که سبب

جدول ۴- تفاوت آب آبیاری، عملکرد و بهره‌وری آب در سامانه آبیاری قطره ای و سطحی

Table 4 -The difference of irrigation water, yield And water productivity in drip and surface irrigation system

پارامتر Parameter	میانگین تفاوت Mean Difference	t بحرانی Critical t	مقدار t Amount t	سطح معنی داری Significance Level
آب آبیاری Irrigation Water	۲۹۳۳	۲/۰۲۱	۲/۱۸۳	۰/۹۶۶**
عملکرد Yield	۱۵۸۱	۲/۰۲۱	۲/۹۶۸	۰/۹۹۵**
بهره‌وری آب WP	۰/۳۳۱	۲/۰۲۱	۳/۹۷۸	۰/۹۹۹**

نتیجه‌گیری

هکتار)، عملکرد ۵۴ درصد بیشتر (۴۴۷۰ کیلوگرم در هکتار در مقابل ۲۸۹۲ کیلوگرم در هکتار) و بهره‌وری آب حدود ۱۱۰ درصد بیشتر (۰/۶۶۹ کیلوگرم بر متر مکعب در مقابل ۰/۳۱۸ کیلوگرم بر متر مکعب) از روش آبیاری سطحی است. به عبارتی، روش آبیاری قطره‌ای نواری (تیپ) نقش موثری در بهبود شاخص‌های مدیریت مصرف آب در مزارع پنبه داشته است. مهم‌ترین موانع در فرآیند تولید محصولات کشاورزی، اقلیم خشک و نیمه‌خشک و محدودیت منابع آبی است. دامنه تغییرات مقادیر عملکرد پنبه در مزارع استان زیاد و بین ۱۰۰۰ تا ۶۳۰۰ کیلوگرم بر هکتار است. این دامنه وسیع مقادیر عملکرد محصول در استان بیش از هر چیز دیگری بیانگر پتانسیل بالای منطقه برای افزایش عملکرد پنبه است. متوسط عملکرد محصول در مزارع استان برابر ۳۰۷۸ کیلوگرم بر هکتار با انحراف معیار ۱۳۱۵ کیلوگرم در هکتار است. نوع سامانه آبیاری، مدیریت آبیاری، کمیت و کیفیت منابع آبی و عواملی مانند تامین نیاز آبی نقش بسیار مهمی در عملکرد پنبه دارند. با این همه، آب به‌عنوان مهم‌ترین نهاده تولید نقش اساسی در کاهش یا افزایش عملکرد داشته است، عوامل زراعی و اقلیمی و سایر نهاده‌های مورد استفاده کشاورز که در مزارع منتخب متفاوت بوده است، سبب اختلاف میزان عملکرد در مزارع شده است. به عبارتی، تفاوت عملکرد در مزارع می‌تواند به دلیل اختلاف در مهارت کشاورزان در داشت و استفاده از نهاده‌های مرتبط به‌غیر از آب نیز باشد. توصیه می‌شود کشاورزان علاوه بر مدیریت

در این مطالعه، آب داده‌شده توسط کشاورزان برای تولید پنبه در یک‌فصل زراعی و بدون دخالت کارشناسی در مدیریت آبیاری کشاورز، در شش دشت بردسکن، نیشابور، سبزوار، خواف، رشتخوار و سرخس اندازه‌گیری شد که بیشترین سطح زیرکشت پنبه را در سطح استان خراسان رضوی داشتند. روش آبیاری مزارع، روش آبیاری سطحی و قطره‌ای (تیپ) بود. نتایج بررسی‌ها نشان داد میانگین آب آبیاری، عملکرد و بهره‌وری آب در کل مزارع پنبه مورد بررسی به ترتیب ۹۸۳۰ مترمکعب در هکتار، ۳۰۷۸ کیلوگرم در هکتار و ۰/۳۵۷ کیلوگرم بر مترمکعب آب است. متوسط میزان آب آبیاری، عملکرد و بهره‌وری آب در مزارع پنبه کشور بر اساس آخرین تحقیقات نخجوانی مقدم و همکاران (Nakhjavanimoghaddam et al., 2020) به ترتیب ۸۹۸۰ مترمکعب در هکتار، ۳۳۸۳ کیلوگرم در هکتار و ۰/۴۳۰ کیلوگرم در مترمکعب گزارش شده است. با مقایسه این نتایج با نتایج کشوری، این نتیجه حاصل شد که میزان آب آبیاری در مزارع استان خراسان رضوی حدود ۹ درصد از متوسط میزان آب آبیاری کشوری بیشتر است، عملکرد تقریباً حدود ۱۰ درصد و بهره‌وری آب حدود ۲۰ درصد از متوسط کشوری کمتر است. تفاوت بین حجم آب آبیاری، عملکرد و بهره‌وری آب در دو روش آبیاری سطحی و قطره‌ای قابل توجه است. میزان آب آبیاری در سامانه آبیاری قطره‌ای ۴۰ درصد کمتر (۷۲۴۲ مترمکعب در هکتار در مقابل ۱۰۱۷۵ متر مکعب در

بهینه کاربرد آب در مزرعه، در استفاده بهینه و مفید و به زیرا این موارد سبب افزایش عملکرد و در نتیجه افزایش موقع از دیگر نهاده های مصرفی نیز دقت لازم را داشته باشند بهره‌وری آب خواهد شد.

مراجع

- Abbasi, F., Sohrab, F. and Abbasi, N. (2016). Evaluation of irrigation efficiencies in Iran. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering Research*, 17 (67), 113-128. (In Persian).
- Afshar, H., and Mehrabadi H.R. (2007). Investigation on yield and yield components of cotton in crop and furrow irrigation methods. 23(4). *Seed and plant Journal*, 557-580. (In Persian).
- Allen, R. G., Pereira, L.S. Raes, D. and Smith, M. (1998). *Crop Evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56*. Fao, Rome, 300(9), D05109.
- Asadi, A., Hassanpor, F. Tabatabaei, M and Koochi, N. (2013). Effect of Surface and Subsurface Drip Irrigation Systems on Yield of Cotton in Orzoueyeh, Kerman Province. *iwss 2013*; 17 (63), 11-21. (In Persian).
- Aujla, M.S., Thind, H.S. and Butter, G.S. (2005). Cotton yield and water use efficiency at various levels of water and N through drip irrigation under two methods of planting. *Agric. Water Manage.* 51, 167-179.
- Ayars, J. E., Hutmacher, R. B. Vail, S. S. and Schoneman, R. A. (1991). Cotton response to no uniform and varying depths of irrigation. *Agric. Water Manage.* 19(2), 151-166.
- Ayars, J. E., Hutmacher, R. B., Schoneman, R.A., and Dettinger, D.R. (1991). Influence of cotton canopy on sprinkler irrigation uniformity. *Transactions of the ASAE*, 34(3), 890-896.
- Bakhtiyor, K., I. Nazirbay, E. Yusupbek, E. Stevsn, and H. Lee. (2003). Irrigation scheduling study of drip irrigated cotton by use of soil moisture neutron probe. *International Water and Irrigation*. 23(1), 38-41.
- Cetin, O. and Bilgel, L. (2002). Effect of different irrigation methods on scheduling and yield of cotton. *Agric. Water Manage.* 54(1), 1-15.
- Fan, Y., Wang, C. and Nan, Z. (2018). Determining water use efficiency of wheat and cotton: A meta-regression analysis. *Agricultural Water Management*, 199, 48-60.
- Feike, T., L. Y. Khor, Y. Mamitimin, N.H. Abdusalih, L.N. Xiao, H. and Doluschitz, R. (2017). Determinants of cotton farmers' irrigation water management in arid Northwestern China. *Agric. Water Manage.* 187, 1-10.
- Ghaemi, M. (1999). Irrigation method in cotton cultivation in varamin region. Technical Note. No 54. Soil and Water Research Institute, Karaj. Iran. (In Persian).
- Ibragimov, N., S. R. Evett, Esanbekov, Y. Kamilo, B. S. Mirzaev, L. and Lamers, J.P.A. (2007). Water use efficiency of irrigated cotton in Uzbekistan under drip and furrow irrigation. *Agric. Water Manage.* 90(1-2), 112-120.
- Jafaraghaei, M. and Jalali, A.H. (2012). Effect of Irrigation-Water Salinity on Yield and Water Use Efficiency of Three Cultivars of Cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Journal of Crop Production and Processing*, 2 (5), 97-108 (In Persian).
- Jensen, M. (1993). *Water management and conservation: Is Yuma ready for drip*. Arizona published, 1(2): 55-62.

- Joleini, M. and Mehrabadi, H.R. (2010). Investigation on the effect of surface and subsurface drip irrigation methods and irrigation interval on the quality and quantity cotton. Research Report, No 89/1126, Agricultural Engineering Research Institute, Karaj. Iran. (In Persian).
- Kiani, A.R. (2011). Cotton irrigation planning. Technical Note. No 43. Agricultural Engineering Research Institute, Karaj. Iran. (In Persian).
- Mehrabadi, H.R., Nezami, A. Kafi, M and Ahmadifard, M. (2016). Survey of the Effect of Different Irrigation Levels on Yield and Yield Components of Sensitive and Tolerant Cotton Cultivars. Journal of Water and Soil, 30 (5), 1415-1425. (In Persian).
- Naderi Arefi, A., Momen, A., Mohajer Abbasi, A., Hoseini, M. and Kazemi, M.R. (2022). Yield comparison of cotton cultivars to ultra-narrow row (UNR) spacing at two planting dates. Research Report, No 61333, Cotton Research Institute, Gorgan. Iran. (In Persian).
- Nakhjavanimoghaddam, M.M. Haghayeghi Moghaddam, S.A. Joleini, M. Sohrabi Moshkabadi, B. Eslami, A. Khosravi, H and Akhavan, K. (2020). Determination of Cotton Water Consumption in Iran. Research Report, No 57529, Agricultural Engineering Research Institute, Karaj. Iran. (In Persian).
- Raes, D. (2012). Reference manual-ETO calculator, version 3.2. Food and Agriculture Organization of the United Nations Land and Water Division. Rome, Italy.
- Ragab, R. (2024). Misconceptions and misunderstandings in agricultural water management: Time for revisiting, reflection and rethinking. Journal Irrigation and drainage, 2024: 1–23.
- Rahimian, M.H. and Kakhki, A. (2007). Determination of water requirement and crop coefficient of cotton by lysimeter method in Kashmar. Iranian journal of soil research, 21(1). 141-145. (In Persian).
- Rao, S. S., Tanwar, S. P. S. and Regar, P. L. (2016). Effect of deficit irrigation, phosphorous inoculation and cycocel spray on root growth, seed cotton yield and water productivity of drip irrigated cotton in arid environment. Agric. Water Manage. 169:14-25.
- Silvertooth, J.C., Galadima, A. and Norton, E.R. (2001). Evaluation of Irrigation termination effects on fiber micronaire and yield of Upland cotton. The University of Arizona.
- Sohrabi moshkabadi, B. (2009). Investigating the density of cotton cultivation under different amounts of irrigation water with drip irrigation method. Research Report, No 88/1281, Cotton Research Institute, Gorgan. Iran. (In Persian).
- Sohrabi moshkabadi, B. (2011). Determining the most appropriate time to start irrigation and its effect on yield and quality of cotton fibers. Research Report, No 40265, Cotton Research Institute, Gorgan. Iran. (In Persian).
- Sohrabi moshkabadi, B. (2017). Optimized Irrigation Starting Time on Cotton (*Gossypium hirsutum* L.) Yield and water use efficiency. Journal of irrigation science and engineering. 40(1.1), 73-81. (In Persian).
- Ullah, I., Rahmana, M.u., Ashraf, M., and Zafar, Y. (2008). Genotypic variation for drought tolerance in cotton (*Gossypium hirsutum* L.): Leaf gas exchange and productivity. Flora. 203,105–115.
- Wanjura, D.F., D.R. Upchurch, J.R. Mahan, and J.J. Burke. (2002). Cotton yield and applied water relationships under drip irrigation. Agric. Water Manage. 55(3), 217-237.
- Zwart, S.J. and Bastiansen, W.G.M. (2004). Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton, and maize. Agric. Water Manage. 69:115-133.

Investigating of the Volume of Irrigation Water, yield and water productivity in cotton fields In Razavi Khorasan province

M. Jolaini*; A. Haghayeghimoghadam; M. M. Nakhjavanimoghaddam

Corresponding Author: Associate Professor, Agricultural Engineering Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Mashhad, Iran.

Received: 9 July 2024, **Accepted:** 6 August 2024

Email: mjolaini_re@yahoo.com

<https://doi.org/10.22092/idser.2024.366301.1584>

Extended Abstract

Introduction

Razavi Khorasan province is one of Khorasan provinces in northeastern Iran, the center of this province is Mashhad. The area of this province is 118854 square kilometers. Due to having high evaporation potential and low rainfall, which is mostly associated with inappropriate distribution, this region is among the dry and semi-arid regions of our country, so that water is considered the most important factor limiting the growth and development of agriculture. Nowadays, limitations in water resources has made it necessary to create ways to increase water productivity. This is a proof of the importance of careful planning and finding the use of different irrigation methods to increase the water productivity of agricultural activities. By examining the sources, it was found that the volume of water used in the cotton crop varies in different regions and with different irrigation systems. This research aims to measure the volume of applied water, the yield and productivity of cotton under the management of farmers in Razavi Khorasan province (Bardaskan, Nyshabor, Sabzevar, Khaf, Roshtkhar and Sarakhs cities) and compare the amount of applied water with the water requirement of cotton in these six plains (city) with the national document and It was also calculated by Penman-Monteith method with meteorological data.

Methodology

This project was carried out in the field in order to determine the useful water of cotton in the fields under the management of farmers during one cropping season (2018). Six cities of Bardaskan, Nyshabor, Sabzevar, Khaf, Roshtkhar and Sarakhs were selected in Razavi Khorasan province, which have the largest area under cotton cultivation. At first, based on the data required by the project, a questionnaire containing necessary information for investigation

and logical conclusion was prepared. The required data of the selected farms in each city were either measured or through face-to-face interviews with the farmer or were calculated and completed according to the data of the previous two stages. The measurements were carried out in type of water source, irrigation network and method and water source discharge, total level. The field and area under cultivation of cotton crop, variety, planting arrangement, planting date, soil texture, electrical conductivity of irrigation water and soil saturation extract, date of first irrigation, irrigation cycle and different irrigation methods, etc. The Measured Applied water were compared with the net irrigation water requirement estimated by the Penman-Monteith method using the last 10 years meteorological data (2009 to 2018) and also with the national water document values. Crop yield was recorded at the end of the growing season and water productivity was calculated as the ratio of yield to total water (irrigation applied water and effective rainfall).

Results and Discussion

The results showed that the volume of applied water, the amount of cotton yield and the water productivity in Bardaskan region were 7369 m³/ha, 4583 kg/ha and 0.638 kg/m³, respectively. The amount of applied water, the amount of cotton yield and the water productivity in Nysahabor region were determined as 9773 m³/ha, 3554 kg/ha and 0.528 kg/m³, respectively. The amount of applied water, the amount of cotton yield and the water productivity in Sabzevar region were 9173 m³/ha, 3033 kg/ha and 0.225 kg/m³, respectively. In Khaf region the amount of applied water, the amount of cotton yield and the water productivity were 14791 m³/ha, 2821 kg/ha and 0.194 kg/m³, respectively. The amount of applied water, the amount of cotton yield and the water productivity in Roshtkhar region were 11281 m³/ha, 3466 kg/ha and 0.327 kg/m³, respectively. The amount of applied water, the amount of Cotton yield and the water productivity in Sarakhs region were determined as 9004 m³/ha, 2113 kg/ha and 0.265 kg/m³, respectively. The average amount of applied water, the amount of cotton yield and the water productivity in above six regions were 9830 m³/ha, 3078 kg/ha and 0.357 kg/m³, respectively. Also, the average volume of irrigation water, yield and productivity of water in the surface irrigation method were 10175 m³/ha, 2892 kg/ha and 0.318 kg/m³ respectively, and in the drip irrigation method 7242 m³/ha 4470 kg/ha and 0.649 kg/m³ were obtained.

Conclusions

In Razavi Khorasan province, underground water sources are facing a reservoir deficit. Therefore, efforts towards better use of extracted water and reducing exploitation of underground water resources are inevitable. In this project, the water given by the farmers for cotton production during one cropping season was measured in the six plains of Bardaskan, Nyshabor, Sabzevar, Khaf, Roshtkhar and Sarakhs cities, without interfering farmer's irrigation schedule; these plains had the largest area under cotton cultivation in Razavi

Khorasan province. The method of irrigation of the fields was surface and drip irrigation (tape). The results showed that the average volume of water, yield and water productivity in these planes were 9830 m³/ha, 3078 kg/ha and 0.357 kg/m³ of water, respectively. The difference between the volume of applied water, performance and water efficiency in two methods of surface and drip irrigation was significant. Under the drip irrigation system, comparing surface irrigation method, the volume of applied water was 30% less (7242 m³/ha versus 10175 m³/ha), the yield was 55% higher (4470 kg/ha versus 2892 kg/ha) and the water productivity was about 104% higher (0.649 kg/m³ of water vs. 0/318 kg/m³ of water).

Keywords: Irrigation management, Irrigation methods, Surface irrigation, Drip irrigation

بررسی حجم آب آبیاری و بهره‌وری آب کاربردی در باغ‌های آلو در استان خراسان رضوی (مشهد و چناران)

محمد کریمی^{۱*}، سالومه سپهری صادقیان^۲، محمد جلینی^۳

^{۱*} استادیار پژوهشی بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران

^۲ استادیار پژوهشی موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

^۳ دانشیار پژوهشی بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۰۱

چکیده

با توجه به محدودیت منابع آب، لزوم بهبود بهره‌وری آب و اهمیت اقتصادی تولید آلو، بررسی شاخص‌های مدیریتی از جمله حجم آب آبیاری، عملکرد و بهره‌وری آب آبیاری برای این محصول ضرورت دارد. در این تحقیق، حجم آب آبیاری و عملکرد آلو در ۲۰ باغ منتخب در دو شهرستان مشهد و چناران از استان خراسان رضوی در یک سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ اندازه‌گیری شد. در انتهای فصل رشد و پس از تعیین میزان عملکرد، مقادیر بهره‌وری آب آبیاری و بهره‌وری آب کاربردی (آبیاری + بارندگی موثر) تعیین گردید. حجم آب آبیاری با نیاز ناخالص آبیاری برآورد شده از روش پنمن-مانتیت با استفاده از داده‌های هواشناسی ده سال اخیر و سند ملی آب مقایسه شدند. میانگین وزنی حجم آب آبیاری، حجم آب کاربردی، عملکرد آلو، بهره‌وری آب آبیاری و بهره‌وری آب کاربردی به ترتیب ۱۰۲۵۶ مترمکعب در هکتار، ۱۰۳۵۳ مترمکعب در هکتار، ۱۴۷۱۳ کیلوگرم در هکتار، ۱/۵۳ کیلوگرم بر مترمکعب و ۱/۵۱ کیلوگرم بر مترمکعب تعیین شد. حجم آب آبیاری، عملکرد و بهره‌وری آب آبیاری در باغ‌های منتخب در روش آبیاری قطره‌ای به ترتیب ۹۹۱۹/۸۷ مترمکعب در هکتار، ۱۸/۸۳ تن در هکتار و ۱/۸۸ کیلوگرم بر مترمکعب و در روش آبیاری سطحی به ترتیب ۱۱۴۳۲/۶۰ مترمکعب در هکتار، ۱۴/۸۰ تن در هکتار و ۱/۳۱ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمد. نتایج بررسی‌ها نشان داد که متوسط حجم آب آبیاری استفاده شده توسط کشاورزان در باغ‌های آلو (۱۰۴۴۹ مترمکعب در هکتار) کمتر از میانگین نیاز ناخالص آبیاری محاسبه شده (۱۴۹۶۴ مترمکعب در هکتار) و برآورده شده با استفاده از سند ملی آب کشور بوده است.

واژه‌های کلیدی: روش‌های آبیاری، عملکرد آلو، بهره‌وری آب، میزان آب آبیاری

مقدمه

مهم‌ترین زمینه‌های بروز منازعات و مناقشات محسوب شود

امروزه یکی از مهم‌ترین چالش‌های حال و آینده، به‌ویژه در مناطق خشک جهان، کم‌آبی و در مواردی بحران کم‌آبی است. باید پذیرفت که با رشد جمعیت جهان در هزاره سوم، ارتقای سطح زندگی و بهداشت، گسترش شهرنشینی و به تبع آن گسترش صنایع و کشاورزی، تنازع بر سر آب تشدید می‌یابد. پیش‌بینی می‌شود در آینده مسئله آب از

مهم‌ترین زمینه‌های بروز منازعات و مناقشات محسوب شود (Karami & Ghaffarian Behraman, 2017). در کشور ما ایران نیز با توجه به ویژگی‌های اقلیمی، مدیریت نادرست مصرف آب ممکن است به ایجاد محدودیت‌های جدی کوتاه مدت و بلندمدت در منابع آب منجر شود که این مسئله به طور مستقیم امنیت غذایی، اقتصادی، کشاورزی را به خطر خواهد انداخت و حتی می‌تواند ابعاد سیاسی و امنیتی نیز

نیاز آبی درخت آلو با ۶۰۰ تا ۱۲۰۰ میلی‌متر بارندگی در سال تأمین می‌شود. در مناطقی که بارندگی کم یا توزیع بارندگی هماهنگ با مصرف آب نباشد، روش آبیاری قطره‌ای سودمند خواهد بود. نیاز آبی درخت آلو بر حسب شرایط اقلیمی منطقه، بافت خاک، تراکم کشت، روش آبیاری، پایه و رقم بین ۶ تا ۱۲ هزار مترمکعب برای هر هکتار در سال است. مصرف آب هر درخت آلو را می‌توان بین ۱۰ تا ۲۵ مترمکعب در سال تخمین زد. حداکثر مصرف آب برای هر درخت آلو ۸۰ تا ۲۰۰ لیتر در روز است. در ۱۲۰ تا ۱۶۰ روزی که میوه روی درخت است و حتی در دوره تشکیل و تولید جوانه‌ها، آبیاری با اهمیت دارد (Naghshi, 2016). نیاز آبی سالانه گونه‌های مختلف آلو در روش آبیاری قطره‌ای حدود ۵۵۰۰ تا ۶۵۰۰ مترمکعب در سال است (Mousavi & Tatari, 2017).

تحقیق حاضر با هدف اندازه‌گیری مستقیم و میدانی میزان آب کاربردی انواع آلو در باغ‌های تحت مدیریت باغداران محلی در قطب‌های تولیدکننده این محصول در استان خراسان رضوی (در دو منطقه مشهد و چناران) اجرا شد. فرشی و همکاران (Farshi et al., 1997) بر اساس نتایج مطالعات و نتایج هواشناسی در استان‌های کشور و با استفاده از روش تجربی پنمن مانیتث تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه آلو را در شهرستان‌های مشهد و چناران به ترتیب ۸۶۰/۲ و ۸۷۹/۷ میلی‌متر، باران مؤثر را ۶۸/۹ و ۱۲۸/۰ میلی‌متر و نیاز خالص آبیاری این گیاه را ۷۹۱/۷ و ۷۵۳/۱ میلی‌متر اعلام کرده‌اند، بر اساس داده‌های ارائه شده در نرم‌افزار NETWAT، نیاز خالص آبیاری آلو در دشت مشهد- چناران، ۷۴۴ میلی‌متر است. در انتخاب منطقه کشت آلو، دسترسی به منابع آب کافی با کیفیت مطلوب برای آبیاری اهمیت بالایی دارد زیرا آلو از گیاهان پرتوقع از نظر آب دسته‌بندی می‌شود و به خشکی سازگاری چندانی ندارد. بروز تنش‌های خشکی در باغ‌های آلو موجب کاهش

داشته باشد. با توجه به اینکه کشاورزی از عمده‌ترین مصرف‌کنندگان آب است، مدیریت درست مصرف آب در این بخش به منظور تحقق توسعه پایدار ضروری است. در این راستا، تعیین و ارزیابی دقیق شاخص‌های کلیدی مدیریت آب، از جمله حجم آب کاربردی (آبیاری + باران موثر)، راندمان آبیاری و بهره‌وری آب محصولات زراعی و باغی مختلف در کشور نقشی کلیدی در برنامه‌ریزی‌های کلان تأمین و تخصیص آب در بخش کشاورزی خواهد داشت. یکی از محصولات عمده باغی در ایران آلو است. آلو میوه‌ای تک‌هسته‌ای با نام علمی *پرونز د/مستیکا*^۱ از خانواده گلسرخیان است، که در نواحی معتدل با رقم‌های متعدد و هیبریدی کشت می‌شود. گونه‌های متفاوت از این میوه در دنیا وجود دارد که از نظر رنگ، شکل و اندازه با هم فرق دارند. برخی از آنها به رنگ زرد و پرآب هستند و برخی دیگر رطوبت کمتری دارند و قرمز متمایل به ارغوانی هستند. طعم آلو از ترش تا شیرین متغیر است و از انتهای فصل بهار و در سراسر تابستان به میزان زیاد در دسترس است. بر اساس آمار ارائه شده در آمارنامه وزارت جهاد کشاورزی، از سال ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۹ سطح زیر کشت آلو در کشور تقریباً با شیب نسبتاً ملایمی افزایش یافته و از حدود ۲۰ هزار هکتار به ۲۸ هزار هکتار رسیده است. متوسط ده ساله سطح زیر کشت آلو در ایران ۲۵۲۵۳ هکتار است (Ahmadi et al., 2020). میزان تولید آلو و عملکرد این محصول در کشور نیز در خلال سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۹ با شیب نسبتاً ملایمی روند صعودی داشته‌است به‌طوری که تولید سالانه از حدود ۲۰۰ هزار تن به حدود ۳۲۰ هزار تن و عملکرد نیز از حدود ۷ تن در هکتار به حدود ۱۱/۵ تن در هکتار افزایش یافته است. میانگین ده ساله تولید و عملکرد آلو در کشور ۲۶۴ هزار تن و ۱۰/۵ تن در هکتار است. درخت آلو به دلیل داشتن بخش هوایی گسترده و نیاز به نور و تهویه، معمولاً با فاصله زیاد کاشته می‌شود.

^۱ *Prunus domestica*

شدید عملکرد می‌شود. در مقایسه با دیگر درختان میوه، درختان آلو بیشتر از سیب و هلو و کمتر از به و گلابی به آب نیاز دارند (Naghshi, 2016). برای تولید میوه‌های استاندارد، رشد رویشی مناسب و تولید جوانه‌های گل در درختان بارده آلو، وجود آب کافی و در دسترس برای گیاه ضروری است. در مراحل برداشت و رسیدن میوه، وجود آب کافی سبب بهبود کمیت و کیفیت میوه‌های آلو می‌شود. ولی بعد از برداشت میوه از مقدار آبیاری درختان باید کاسته شود. کمبود رطوبت در دسترس موجب کاهش اندازه میوه‌های آلو می‌شود، در مقابل، آبیاری بی‌رویه درختان آلو مخصوصاً اگر بر پایه‌های هلو پیوند شده باشند (به دلیل حساسیت هلو به شرایط غرقاب و تهویه نامناسب خاک) باعث از بین رفتن درختان می‌شود (Khandani et al., 2016). اولین مرحله بحرانی از نظر آب در باغ آلو زمانی است که میوه‌ها ریزش می‌کنند. اگر در این زمان تنش آبی وجود داشته باشد، مقدار ریزش میوه‌ها زیاده‌تر خواهد بود، مرحله دیگر حساسیت گیاه به کم‌آبی، زمان انگیزش جوانه‌هاست. دو تا سه هفته قبل از رسیدن میوه نیز کم‌آبی تأثیر مهمی در مقدار تولید میوه دارد. بهترین روش برای تعیین برنامه آبیاری، اندازه‌گیری مقدار مصرف است. بسته به نوع درخت، اقلیم، مقدار تأمین آب و غیره، مقدار محصول بین ۲۰ تا ۶۰ تن در هکتار متفاوت است. در آفریقای جنوبی، دزیکیتی و شاخ شنایدر (Dizikiti & Schachtschneider, 2015) گزارش کردند در یکی از باغ‌هایی که آبیاری قطره‌ای در آن استفاده می‌شد، میزان آب مورد استفاده ۹۲۱ میلی‌متر در سال (و با احتساب بارش ۱۰۰۶ میلی‌متر) بوده است. بلانکو و همکاران (Blanco-Cipollone et al., 2019) رژیم‌های مختلف آبیاری را روی آلوی ژاپنی دیر رس رقم آنجلینو در اسپانیا بررسی کرد. تیمارهای مورد مطالعه یکی تیمار شاهد با در نظر گرفتن نیاز آبی کامل گیاه و دیگری تیمار کم‌آبیاری با عدم آبیاری در مرحله میانی رشد گیاه بود. مطالعه به مدت ۸ سال از ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۶ در یک مرکز تحقیقاتی به‌اجرا درآمد. تعداد روزهایی که در آن درختان در تیمار کم‌آبیاری در مقابل تیمار شاهد آبیاری نشدند در سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۲ به مدت ۶۰ روز و در سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۶ در مجموع ۳۰ روز بود. در هر دو تیمار بعد از برداشت محصول ۳۰ درصد کم‌آبیاری در نظر گرفته شد. میزان آبیاری در سال‌های اول تا هشتم در تیمار شاهد به ترتیب ۵۹۱، ۶۴۳، ۶۷۵، ۷۷۶، ۷۷۱، ۶۱۶، ۸۰۶ و ۷۶۳ میلی‌متر و در تیمار کم‌آبیاری به میزان ۳۱۶، ۴۱۸، ۳۷۵، ۵۲۴، ۶۶۸، ۵۶۶، ۵۹۶ و ۶۲۹ میلی‌متر بود. به طور متوسط در ۸ سال مطالعه، متوسط عملکرد آلو برای تیمار شاهد ۶۸/۸ و برای تیمار کم‌آبیاری ۷۴/۲ کیلوگرم به ازای هر درخت بود. این محققان گزارش کردند که پس از هشت سال مطالعه هیچ‌گونه اثر منفی ناشی از کم‌آبیاری در باغ مشاهده نشد و تیمار کم‌آبیاری به عنوان یک استراتژی مناسب در باغ‌های آلو ژاپنی دیررس رقم آنجلینو به منظور افزایش کارایی مصرف آب تایید گردید. گاولیان و همکاران (Gavilan et al., 2019) میزان تبخیر و تعرق درخت آلو در شیلی را به طور متوسط ۵۲۵ میلی‌متر تخمین زدند. مونیو و همکاران (Monino et al., 2020) متوسط نیاز آبی سالانه (آبیاری + بارندگی موثر) برای یک باغ ۹ ساله را حدود ۱۱۸۷ میلی‌متر در سال تخمین زدند. مهوی و فاوور (Mhawej & Faour, 2020) میانگین نیاز آبی آلو در کالیفرنیا را ۹۹۴ میلی‌متر در سال برآورد کردند کاسیک و همکاران (Cosic et al., 2021) با بررسی نیاز آبی آلو در ۹ منطقه در سراسر صربستان (غرب، جنوب و مرکز)، که بیش از ۹۰ درصد تولید این محصول صربستان در آن مناطق واقع شده است، نتیجه گرفتند کمترین مقدار نیاز آبی حدود ۲۸۵/۳ میلی‌متر و بیشترین مقدار نیاز آبی ۶۱۵/۴ میلی‌متر است. یووانوویچ و همکاران (Jovanovic et al., 2023) نیاز آبی باغ‌های آلو با باردهی کامل (ارقام آفریکن دلایت و فورچون) را در آفریقای جنوبی اندازه‌گیری کردند و گزارش دادند در باغ‌های رقم آفریکن دلایت دیررس میزان مصرف آب حدود ۸۶۴ میلی‌متر و در باغ‌های رقم فورچون متوسط

باغ‌های مورد مطالعه با در نظر گرفتن تنوع عوامل مختلف مانند روش آبیاری، بافت خاک، رقم و کیفیت آب آبیاری به گونه‌ای انتخاب شدند که بازه گسترده‌ای را پوشش دهند. در باغ‌های منتخب، مواردی مانند رقم، آرایش درختان در باغ، سن درختان و ... ثبت شد. برخی دیگر از مشخصات عمومی باغ‌ها از قبیل مساحت، موقعیت دقیق مکانی با GPS، روش آبیاری، منبع آب آبیاری (سطحی، زیرزمینی)، زمان برداشت از منبع آبی و تغییرات دبی برداشتی طی سال، نوع شبکه (مدرن، سنتی)، مشخصات بهره‌برداران و غیره از طریق تکمیل پرسشنامه با مصاحبه حضوری با باغداران محلی ثبت گردید.

به منظور اندازه‌گیری حجم آب آبیاری در باغ‌های منتخب، ابتدا مقدار دبی خروجی از منبع آبی انتخاب شده (کانال، چاه، قنات یا چشمه) با وسیله مناسب (فلوم، کنتور، دستگاه اولتراسونیک و ...) در هر یک از باغ‌ها اندازه‌گیری شد. لازم است گفته شود در باغ‌هایی که منبع تأمین آب آبیاری آن‌ها چاه بود، با توجه به نوسان‌های فصلی، دبی چاه‌ها حداقل ۲ بار در سال با روش مناسب اندازه‌گیری شد. پس از تعیین دبی آب ورودی به هر باغ، با پایش دقیق برنامه آبیاری باغ (زمان آبیاری، دور آبیاری، تعداد دفعات آبیاری در دوره رشد) و همچنین اندازه‌گیری سطح زیرکشت محصول، حجم آب آبیاری و مواردی مانند بافت خاک باغ‌ها، هدایت الکتریکی خاک و آب آبیاری و ... تعیین گردید. پس از برداشت محصول، میزان عملکرد در سال زراعی اجرای تحقیق بررسی شد. مقادیر بهره‌وری آب آبیاری و بهره‌وری آب کاربردی در باغ‌های منتخب تعیین شد. مقدار تبخیر و تعرق گیاه آلو نیز در هر منطقه با استفاده از داده‌های هواشناسی نزدیکترین ایستگاه به منطقه اجرای طرح در دوره ۱۰ ساله اخیر و سال اجرای تحقیق با استفاده از روش پنمن مانیتث محاسبه شد. نتایج به‌دست آمده با نیاز خالص آبی محاسبه شده و مقادیر ارائه شده در سند ملی (NETWAT) مقایسه گردید. در این پژوهش، بارندگی مؤثر به روش SCS برآورد شد (SCS,

رَس، مصرف آب حدود ۶۴۱ میلی‌متر است. تفاوت در مصرف آب به دلیل طولانی‌تر بودن فصل رشد رقم آفریکن دلالت نسبت به رقم فورچون بوده است. ماشاباتو و همکاران (Mashabatu et al., 2024) با بررسی ۱۵ تحقیق صورت گرفته در دنیا روی نیاز آبی و آب مورد استفاده در باغ‌های آلو به این نتیجه دست یافتند که نیاز آبی محصول آلو بین ۹۲۱ و ۱۲۱۱ میلی‌متر است. این محققان گزارش کردند رشد تاج پوشش، هرس و طول فصل رشد شایع‌ترین علل تفاوت در برآورد نیاز آبی باغ‌های آلو است.

بررسی منابع نشان می‌دهد که در خصوص میزان آب آبیاری و آب کاربردی در باغ‌های آلو در کشور و بهره‌وری آب این محصول تحقیق چندانی نشده است. این پروژه بدون دخالت در مدیریت باغداران محلی و از طریق پایش مدیریت آبیاری و زراعی و اندازه‌گیری میدانی میزان آب آبیاری به‌اجرا درآمد. تحلیل نتایج به‌دست آمده می‌تواند در تحلیل منطقه‌ای بهره‌وری آب در تولید آلو در استان مفید باشد.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق، برنامه‌ریزی آبیاری باغداران محلی در باغ‌های آلو در یک فصل زراعی (۱۴۰۰-۱۳۹۹) به صورت مستمر پایش‌گردید و حجم آب آبیاری داده شده توسط باغداران برای تولید محصول انواع آلو (آلو، آلو سیاه، قطره طلا و ...) در سراسر یک فصل زراعی و بدون دخالت در برنامه‌ریزی آبیاری باغداران، اندازه‌گیری شد. با محاسبه بارش مؤثر در فصل زراعی، حجم آب کاربردی (حجم آب آبیاری+بارش مؤثر) نیز بررسی گردید. مشخصات عمومی باغ‌های انتخاب شده در دو منطقه چناران و مشهد به ترتیب در جدول ۱ و ۲ آمده است. در تحقیق حاضر، به‌طور خاص اندازه‌گیری حجم آب آبیاری انواع آلو در همان شرایطی مد نظر بود که باغداران عمل می‌کردند، در کنار آن دیگر اطلاعات مدیریتی نیز مانند روش آبیاری، بافت خاک، کیفیت آب و خاک، رقم آلو و ... نیز ثبت شد.

(Westcot, 1994). حداکثر شوری قابل تحمل آلو برابر با ۷/۱ دسی‌زیمنس بر متر و شوری در آستانه ۱۰ درصد کاهش عملکرد آن برابر با ۲/۱ دسی‌زیمنس بر متر است. تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ET_0) با استفاده از نرم افزار ET_0 -Calculator در مناطق مورد مطالعه به روش پنمن مانیتیت برآورد شد. میزان تبخیر و تعرق آلو (ET_c) در مناطق منتخب با استفاده از رابطه ۴ برآورد گردید.

$$ET_c = K_c \times ET_0 \quad (4)$$

مقادیر ضریب گیاهی (K_c) برای هر مرحله رشد بر اساس یافته های پژوهشی در منطقه یا از منابع موجود استخراج گردید (Allen et al., 1998).

نتایج و بحث

در جدول ۳، محدوده تغییرات برخی از داده های پایه اندازه‌گیری شده در باغ‌های آلو ارائه شده است. بر اساس این جدول، متوسط میزان دبی چاه‌ها و انحراف معیار آن به ترتیب ۲۲/۶۶ و ۸/۶۴ لیتر در ثانیه، میانگین سطح باغ‌های آلو و انحراف معیار آن ۲/۰۲ و ۲/۰۹ هکتار، نیاز آبتوی ۳/۸۶ و انحراف معیار آن ۲/۴۴ درصد و بارندگی موثر ۱۱/۳۶ و انحراف معیار آن ۵/۸۸ میلی‌متر است.

در جدول ۴، برخی از داده‌های اندازه‌گیری شده در باغ‌های منتخب با روش آبیاری قطره‌ای ارائه شده است. دامنه تغییرات عمق آب آبیاری در روش آبیاری قطره‌ای بین ۱۰/۲۶ تا ۴۱/۰۰ میلی‌متر با متوسط ۲۵/۴ میلی‌متر و انحراف معیار ۹/۷۶ میلی‌متر و حداقل و حداکثر تعداد آبیاری در دوره آبیاری ۲۴ و ۱۰۰ و انحراف معیار ۴۳/۱۵ است. با توجه به عمق آب آبیاری‌ها و تعداد آبیاری‌ها، دامنه تغییرات عمق آب داده شده بین ۴۹۹/۹۲ تا ۱۶۳۹/۸۹ میلی‌متر با متوسط ۹۹۱/۹۹ میلی‌متر و انحراف معیار ۳۵۴/۹۴ میلی‌متر به دست آمد. میانگین حجم آب آبیاری ۹۹۱۹/۸۷ مترمکعب در هکتار با انحراف معیار ۳۵۴۹/۳۸ مترمکعب در هکتار حاصل شد. میانگین عملکرد آلو در

(1972). نیاز آبی گیاه مرجع نیز با اعمال ضریب گیاهی (Allen et al., 1998) به نیاز آبی خالص گیاه تبدیل شد. مقادیر نیاز خالص آبیاری با مقادیر سند ملی آب برای مناطق مورد مطالعه مقایسه شدند. مقادیر نیاز خالص با استفاده از راندمان کاربرد آب آبیاری به مقادیر ناخالص تبدیل شدند. متوسط راندمان کاربرد آب آبیاری در سامانه های آبیاری بارانی، قطره‌ای و سطحی در کشور به ترتیب ۶۲/۱، ۷۱/۱ و ۵۳/۶ درصد گزارش شده است (Abbasi et al., 2017). در پایان فصل زراعی، با تعیین عملکرد محصول حجم آب آبیاری، حجم آب کاربردی، بهره‌وری آب و بهره‌وری آب کاربردی در هر یک از شهرستان‌های مورد مطالعه محاسبه گردید. شاخص بهره‌وری آب از رابطه ۱ تعیین شد (Molden et al., 1998):

$$WP = \frac{CY}{CW} \quad (1)$$

که در آن:

WP = بهره‌وری فیزیکی آب آلو (کیلوگرم به ازای هر مترمکعب آب)، CY = عملکرد محصول (کیلوگرم در هکتار)، CW = در محاسبه بهره‌وری آب حجم آب آبیاری، و در محاسبه بهره‌وری آب کاربردی حجم آب کاربردی در تولید محصول آلو (مترمکعب در هکتار) است. آب موردنیاز برای آبتویی باغ‌های مورد مطالعه بر اساس نشریه فائو ۲۹ در روش آبیاری سطحی از رابطه ۲ برآورد شد.

$$LR = \frac{EC_w}{5EC_e - EC_w} \quad (2)$$

و کسر آبتویی برای آبیاری قطره‌ای نیز از رابطه ۳ تعیین گردید:

$$LR = \frac{EC_w}{2MaxEC_e} \quad (3)$$

در این رابطه:

EC_w = هدایت الکتریکی آب آبیاری، EC_e = آستانه تحمل محصول، و $MaxEC_e$ = شوری با عملکرد صفر است. آستانه ۱۰ درصد کاهش عملکرد آلو از نشریه فائو ۲۹ استخراج شد (Ayers &

جدول ۱- مشخصات عمومی باغ‌های آلو منتخب در منطقه چناران

Table 1- General characteristics of selected plum orchards in Chenaran region

شماره باغ Orchard No	نوع منبع آب Type of Water Resource	روش آبیاری Method of Irrigation	سطح زیر کشت (هکتار) Area Under Cultivation (ha)	رقم/ واریته Cultivar/ Variety	بافت خاک Soil Texture	شوری آب آبیاری (دسی زیمنس بر متر) Irrigation Water Alinity (dS/m)	شوری خاک (دسی زیمنس بر متر) Soil Salinity (dS/m)	نیاز آبشویی (درصد) Leaching (%)
۱	چاه عمیق	قطره ای تیپ	۱/۸	استنلی	لومی	۰/۵۵	۰/۸۵	۳/۹۳
۲	چاه عمیق	قطره ای	۶/۰	استنلی	لومی شنی	۰/۵۰	۰/۸۲	۳/۵۷
۳	چاه عمیق	قطره ای تیپ	۲/۸	استنلی	رسی لومی	۰/۵۱	۰/۸۴	۳/۶۵
۴	چاه عمیق	قطره ای تیپ زیرسطحی	۱/۸	استنلی و شوقان	لومی رسی	۰/۴۰	۰/۶۵	۲/۸۷
۵	چاه عمیق	قطره ای	۳/۰	قطره طلا	لومی رسی	۰/۳۶	۰/۵۵	۲/۵۹
۶	چاه عمیق	سطحی	۱/۰	استنلی	رسی لومی	۰/۴۰	۰/۶۶	۱/۱۶
۷	چاه عمیق	قطره ای تیپ	۱/۲	استنلی و شمس	شنی رسی	۰/۴۵	۰/۷۱	۳/۲۱
۸	چاه عمیق	قطره ای	۷/۰	استنلی	لومی	۰/۴۰	۰/۶۷	۲/۸۶
۹	چاه عمیق	قطره ای	۶/۰	قطره طلا و سانتاروزا	لومی رسی	۱/۶۰	۲/۴۵	۱۱/۴۳
۱۰	چاه عمیق	قطره ای	۱/۵	کالیفرنیا	لومی رسی	۰/۵۰	۰/۸۶	۳/۵۷

جدول ۲- مشخصات عمومی باغ‌های آلو منتخب در منطقه مشهد

Table 2- General characteristics of selected plum orchards in Mashhad region

شماره باغ Orchard No	نوع منبع آب Type of Water Resource	روش آبیاری Method of Irrigation	سطح زیر کشت (هکتار) Area Under Cultivation (ha)	رقم/ واریته Cultivar/ Variety	بافت خاک Soil Texture	شوری آب آبیاری (دسی زیمنس بر متر) Irrigation Water Salinity (ds/m)	شوری خاک (دسی زیمنس بر متر) Soil Salinity (ds/m)	نیاز آبخویی (درصد) Leaching (%)
۱	چاه عمیق	سطحی	۲/۵	قطره طلا و شابلون	لومی رسی	۱/۲۰	۱/۸۴	۳/۵۵
۲	چاه عمیق	قطره ای	۰/۹۸	استنلی و شابلون	لومی رسی	۰/۸۶	۱/۳۲	۶/۱۴
۳	چاه عمیق	قطره ای	۲/۶۰	استنلی	لومی رسی	۰/۶۸	۱/۰۶	۴/۸۶
۴	چاه عمیق	سطحی	۰/۲۰	استنلی و شابلون	لومی رسی	۱/۱۶	۱/۷۷	۸/۲۹
۵	چاه عمیق	قطره ای	۰/۲۳	شمس	لومی رسی	۰/۵۰	۰/۷۸	۳/۵۷
۶	چاه عمیق	سطحی	۱/۱۵	قطره طلا	لومی	۰/۳۹	۰/۶۱	۱/۱۳
۷	چاه عمیق	سطحی	۰/۲۵	قطره طلا، استنلی و شمس	لومی رسی	۰/۶۲	۰/۹۵	۱/۸۰
۸	چاه عمیق	سطحی	۰/۲۱	قطره طلا و شابلون	لومی	۰/۶۹	۱/۰۴	۲/۰۱
۹	چاه عمیق	سطحی	۰/۰۵	شابلون	لومی رسی	۰/۷۹	۱/۱۹	۲/۳۱
۱۰	چاه عمیق	قطره ای	۰/۲۰	قطره طلا	لومی رسی	۰/۶۵	۰/۹۸	۴/۶۴

بررسی حجم آب آبیاری و بهره‌وری آب کاربردی در باغ‌های آلو در استان خراسان رضوی (مشهد و چناران)

جدول ۳- محدوده تغییرات برخی پارامترهای اندازه‌گیری شده در باغ‌های منتخب
Table 3-The range of changes of some measured parameters in selected orchards

منطقه	دبی (لیتر بر ثانیه) Discharge (l/s)	مساحت باغ آلو (هکتار) Plum Orchard area (ha)	شوری آب آبیاری (دسی زیمنس بر متر) Irrigation Water Salinity (dS/m)	شوری خاک (دسی زیمنس بر متر) Soil Salinity (dS/m)	نیاز آبخوبی (درصد) Leaching (%)	بارندگی (میلی‌متر) Rainfall (mm)	بارندگی موثر (میلی‌متر) Effective Rainfall (mm)
چناران	۲۱/۶±۲۵/۰۵	۳/۲±۲۱/۲۶	۰/۰±۵۷/۳۷	۰/۰±۹۱/۵۵	۳/۲±۸۸/۷۷	۵۵/۱۸ ± ۵/۰۸	۴۱/۱۳±۶۳/۵۶
مشهد	۰/۰±۸۴/۹۷	۱۶/۱۶±۰/۸۴۰	۰/۰±۷۵/۲۶	۱/۰±۱۵۵/۴۰	۳/۲±۸۳/۲۱	۳۹/۱۲±۰/۳۲	۲۹/۹±۲۵/۳۴
کل باغ‌ها	۲۲/۶۶ ± ۸/۶۴	۲/۲ ± ۰/۲/۰۹	۰/۰ ± ۶۶/۳۲	۱/۰ ± ۰/۲/۴۸	۳/۲ ± ۸۶/۴۴	۱۵/۷ ± ۱۵/۸۴	۱۱/۵ ± ۳۶/۸۸

باغ‌های منتخب برابر با ۱۸/۸۳ تن در هکتار به‌دست آمد که از متوسط عملکرد آلو در کشور (بر اساس آمارنامه کشاورزی سال ۱۴۰۱، به‌میزان ۱۱/۳۶ تن در هکتار) حدود ۶۵/۷۵ درصد بیشتر است. بهره‌وری آب آبیاری ۱/۸۸ کیلوگرم بر مترمکعب و بهره‌روری آب کاربردی برابر با ۱/۸۵ کیلوگرم بر مترمکعب حاصل شده است. در جدول ۵، برخی از داده‌های اندازه‌گیری شده در باغ‌های منتخب با روش آبیاری سطحی ارائه شده است. دامنه تغییرات عمق آب آبیاری در روش آبیاری سطحی بین ۲۵/۶۷ تا ۸۳/۲۷ میلی‌متر با متوسط ۵۷/۶۲ میلی‌متر و انحراف معیار ۲۲/۴۹ میلی‌متر است. حداقل و حداکثر تعداد آبیاری در دوره آبیاری ۱۵ و ۲۹ و انحراف معیار ۴/۷۴ است. با توجه به

عمق آب آبیاری‌ها و تعداد آبیاری‌ها، دامنه تغییرات عمق آب داده شده بین ۵۹۵/۶۰ تا ۱۶۸۶/۲۴ میلی‌متر با متوسط ۱۱۴۳/۲۶ میلی‌متر و انحراف معیار ۳۸۳/۳۷ میلی‌متر به‌دست آمد. میانگین حجم آب آبیاری ۱۱۴۳۲/۶۰ مترمکعب در هکتار با انحراف معیار ۳۸۳۳/۶۹ مترمکعب در هکتار حاصل شد. میانگین عملکرد آلو در باغ‌های منتخب برابر با ۱۴/۸۰ تن در هکتار به‌دست آمد که از متوسط عملکرد آلو در کشور (بر اساس آمارنامه کشاورزی سال ۱۴۰۱، به‌میزان ۱۱/۳۶ تن در هکتار) حدود ۳۰/۲۸ درصد بیشتر است. بهره‌وری آب آبیاری ۱/۳۱ کیلوگرم بر مترمکعب و بهره‌روری آب کاربردی برابر با ۱/۳۰ کیلوگرم بر مترمکعب به‌دست آمده است.

جدول ۴- دامنه تغییرات برخی پارامترهای اندازه‌گیری شده در باغ‌های منتخب با روش آبیاری قطره‌ای
Table 4-The range of changes of some measured parameters in selected orchards with drip irrigation method

متوسط عمق آب آبیاری (میلی‌متر) The average depth of irrigation water (mm)	تعداد کل آبیاری The total number of irrigations	حجم آب آبیاری (مترمکعب در هکتار) The volume of irrigation water (m ³ /ha)	حجم آب داده شده+بارندگی موثر (مترمکعب در هکتار) The volume of applied water + Effective rainfall (m ³ /ha)	عملکرد آلو (تن) در هکتار) Yield of plum (ton/ha)	بهره‌وری آب آبیاری (کیلوگرم در متر مکعب) Irrigation water productivity (kg/m ³)	بهره‌وری آب کاربردی (کیلوگرم در مکعب) Applied water productivity (kg/m ³)
حداقل	۱۰/۲۶	۲۴/۰۰	۳۹۹۹/۲۰	۵۱۵۹/۲۰	۰/۵۶	۰/۵۵
حداکثر	۴۱/۰۰	۱۰۰/۰۰	۱۶۳۹۸/۹۰	۱۶۵۶۸/۹۰	۷/۰۹	۷/۰۰
میانگین	۲۵/۴۰	۴۳/۱۵	۹۹۱۹/۸۷	۱۰۰۴۷/۵۶	۱/۸۸	۱/۸۵
انحراف معیار	۹/۷۶	۲۰/۸۵	۲۵۴۹/۳۸	۳۵۳۹/۰۹	۲۲/۰۶	۱/۷۱

جدول ۵- دامنه تغییرات برخی پارامترهای اندازه گیری شده در باغ های منتخب با روش آبیاری سطحی

Table 5-The Range of Changes of Some Measured Parameters in Selected Orchards With Surface Irrigation Method

متوسط عمق آب آبیاری (میلی متر)	تعداد کل آبیاری	حجم آب آبیاری (مترمکعب در هکتار)	حجم آب داده شده + بارندگی موثر (مترمکعب در هکتار)	عملکرد آلو (تن در هکتار)	بهره وری آب آبیاری (کیلوگرم در متر مکعب)	بهره وری آب کاربردی (کیلوگرم در متر مکعب)
The average depth of irrigation water (mm)	The total number of irrigations	The volume of irrigation water (m ³ /ha)	The volume of applied water + Effective rainfall (m ³ /ha)	Yield of plum (ton/ha)	Irrigation water productivity (kg/m ³)	Applied water productivity (kg/m ³)
۲۵/۶۷	۱۵/۰۰	۵۹۵۶/۰۰	۵۹۹۶/۰۰	۶/۲۵	۰/۴۰	۰/۳۹
۸۳/۲۷	۲۹/۰۰	۱۶۸۶۲/۴۰	۱۶۹۷۲/۴۰	۲۸/۲۰	۲/۳۷	۲/۳۷
۵۷/۶۲	۲۰/۸۶	۱۱۴۳۲/۶۰	۱۱۵۲۲/۵۶	۱۴/۸۰	۱/۳۱	۱/۳۰
۲۳/۴۹	۴/۷۴	۳۸۲۳/۶۹	۳۸۴۶/۵۰	۹/۳۸	۰/۶۵	۰/۶۵

حد اکثر
میانگین
انحراف معیار

میانگین عملکرد آلو در این دو شهرستان نیز حدود ۸/۶ تن در هکتار است ولی به لحاظ آماری اختلاف معنی دار نیست. تفاوت هر ۲ شاخص بهره وری آب (بهره وری آب آبیاری و بهره وری آب کاربردی) در دو منطقه نیز با وجود اختلاف به ترتیب برابر با ۰/۴۹۱ و ۰/۴۸۳ کیلوگرم بر مترمکعب، از نظر آماری معنی دار نیست.

در جدول ۷، نیاز خالص آبیاری آلو محاسبه شده با استفاده از روش پنمن - مانیت و بر اساس آمار و اطلاعات هواشناسی ده ساله اخیر و در جدول ۸ نیاز خالص آبیاری آلو استخراج شده بر اساس سند ملی آب و کتاب "برآورد آب مورد نیاز گیاهان باغی" (Farshi et al., 1997) ارائه شده است. نیاز ناخالص آبیاری آلو از تقسیم نیاز خالص آبیاری محاسبه شده، استخراج شده بر اساس سند ملی آب و کتاب "برآورد آب مورد نیاز گیاهان باغی" (Farshi et al., 1997) بر راندمان کاربرد آب آبیاری به دست آمد که نیاز آبیاری آلو، استخراج شده بر اساس سند ملی آب برای دو منطقه مشهد و چناران به ترتیب ۷۴۴ و ۷۴۴ مترمکعب در هکتار و بر اساس کتاب "برآورد آب مورد نیاز گیاهان باغی" (Farshi et al., 1997) به ترتیب ۷۹۱/۷ و ۷۵۳/۱ مترمکعب در هکتار است. نیاز ناخالص آبیاری آلو بر اساس مقادیر مذکور و با لحاظ کردن راندمان کاربرد آب آبیاری برای روش های مختلف آبیاری محاسبه شد که نتایج آن در جدول ۸ آمده است. نتایج آن در جدول های ۷ و ۸ آمده است.

میانگین وزنی پنج شاخص: حجم آب آبیاری، حجم آب کاربردی، عملکرد، بهره وری آب آبیاری، و بهره وری آب کاربردی نیز بر اساس سطح زیر کشت آلو در هر منطقه محاسبه شد. بر اساس آخرین آمارهای وزارت جهاد کشاورزی (Information and Communication Technology Office, 2023)، سطح زیر کشت آلو در مناطق مشهد و چناران به ترتیب ۳۲۸ و ۷۵ هکتار و میانگین عملکرد آلو بر اساس نتایج این تحقیق در دو منطقه مذکور به ترتیب ۱۳۱۱۰ و ۲۱۷۳۰ کیلوگرم در هکتار به دست آمده است. میانگین وزنی عملکرد برابر است با مجموع سطح زیر کشت آلو در هر منطقه ضرب در عملکرد آلو تقسیم بر مجموع سطح زیر کشت آلو در دو منطقه مذکور که برای چهار شاخص دیگر نیز به همین شکل محاسبه شد. بر این اساس، میانگین وزنی حجم آب آبیاری، حجم آب کاربردی، عملکرد آلو، بهره وری آب آبیاری و بهره وری آب کاربردی به ترتیب ۱۰۲۵۶ مترمکعب در هکتار، ۱۰۳۵۳ مترمکعب در هکتار، ۱۴۷۱۳ کیلوگرم در هکتار، ۱/۵۳ کیلوگرم بر مترمکعب و ۱/۵۱ کیلوگرم بر مترمکعب تعیین شد. به منظور بررسی دقیق تر تفاوت بین پنج شاخص مذکور، از آزمون تی استفاده شد که نتایج آن در جدول ۶ آمده است. نتایج بررسی ها نشان می دهد تفاوت میانگین حجم آب آبیاری و حجم آب کاربردی در دو شهرستان چناران و مشهد به ترتیب حدود ۶۱۵ و ۶۷۰ مترمکعب در هکتار است، اما این تفاوت ها از نظر آماری و در سطح ۵ درصد معنی دار نیست. تفاوت

بررسی حجم آب آبیاری و بهره‌وری آب کاربردی در باغ‌های آلو در استان خراسان رضوی (مشهد و چناران)

جدول ۶- نتایج بررسی آماری حجم آب آبیاری، حجم آب کاربردی، عملکرد، بهره‌وری آب در دو منطقه، با استفاده از آزمون تی

Table 6- The statistical investigation of irrigation water volume, yield, water productivity in two region, by t-test

سطح معنی‌داری	مقدار t	t بحرانی	میانگین تفاوت	پارامتر
The significance level	The amount of t	The critical t	The different mean	Parameter
۰/۶۴۵	۰/۴۷۷	۲/۲۶۲	۶۱۴/۸	حجم آب آبیاری (مترمکعب در هکتار) The volume of irrigation water (m ³ /ha)
۰/۶۱۳	۰/۵۳۴	۲/۲۶۲	۶۶۹/۹	حجم آب کاربردی The volume of applied water (m ³ /ha)
۰/۳۶۱	۰/۹۶۲	۲/۲۶۲	۸/۶	عملکرد (تن در هکتار) Yield of plum (ton/ha)
۰/۶۱۸	۰/۶۷۲	۲/۲۶۲	۰/۴۹	بهره‌وری آب آبیاری (کیلوگرم در متر مکعب) Irrigation water productivity (kg/m ³)
۰/۶۲۰	۰/۶۶۹	۲/۲۶۲	۰/۴۸	بهره‌وری آب کاربردی Applied water productivity (kg/m ³)

جدول ۷- مقایسه حجم آب آبیاری و نیاز ناخالص آبیاری آلو محاسبه شده

Table 7- Comparison of the volume of irrigation water with the calculated impure water requirement of plum

شماره باغ	روش آبیاری	حجم آب آبیاری (مترمکعب در هکتار)	بارندگی موثر (مترمکعب در هکتار)	نیاز خالص آبیاری آلو محاسبه شده (مترمکعب در هکتار)	نیاز ناخالص آبیاری آلو محاسبه شده (مترمکعب در هکتار)
Orchard No	Irrigation method	The volume of irrigation water (m ³ /ha)	Effective rainfall (m ³ /ha)	Net irrigation requirement of plum (Calculated) (m ³ /ha)	Gross irrigation requirement of plum (Calculated) (m ³ /ha)
۱	قطره ای تیپ	۹۹۰۰/۰۰	۶۷/۵	۹۲۶۲/۷۶	۱۳۰۳۷/۷۹
۲	قطره ای	۸۸۵۷/۰۰	۳۷/۵	۸۳۱۱/۴۰	۱۱۶۸۹/۷۳
۳	قطره ای تیپ	۱۰۴۴۰/۰۰	۱۵۷/۵	۱۰۱۵۴/۴۹	۱۴۲۸۱/۹۸
۴	قطره ای تیپ زیرسطحی	۱۱۶۶۹/۰۰	۱۷۲/۵	۱۰۳۶۰/۲۰	۱۴۵۷۱/۳۱
۵	قطره ای	۷۲۰۰/۰۰	۱۷۲/۵	۱۰۳۹۰/۵۹	۱۴۶۱۴/۰۵
۶	سطحی	۱۴۹۸۸/۶۰	۱۵۷/۵	۹۰۹۳/۸۲	۱۶۹۶۶/۰۸
۷	قطره ای تیپ	۱۶۳۹۸/۹۰	۱۷۲/۵	۱۰۴۳۹/۵۲	۱۴۶۶۸/۸۱
۸	قطره ای	۱۲۶۷۲/۰۰	۱۵۷/۵	۱۰۲۳۴/۷۶	۱۴۳۹۴/۸۸
۹	قطره ای	۶۸۷۴/۲۰	۱۵۷/۵	۱۰۱۸۵/۵۶	۱۴۳۲۵/۶۹
۱۰	قطره ای	۸۵۶۸/۰۰	۱۵۷/۵	۹۸۱۵/۸۶	۱۳۸۰۵/۷۱
۱۱	سطحی	۱۱۷۰۳/۰۰	۳۷/۵	۸۹۵۲/۵۵	۱۶۷۰۲/۵۲
۱۲	قطره ای	۴۹۹۹/۲۰	۱۵۷/۵	۹۴۲۶/۶۰	۱۳۲۵۸/۲۲
۱۳	قطره ای	۱۶۲۲۰/۰۰	۳۷/۵	۹۰۱۸/۸۳	۱۲۶۸۴/۷۱
۱۴	سطحی	۱۱۷۱۰/۸۰	۳۷/۵	۹۳۵۸/۱۳	۱۷۴۵۹/۲۰
۱۵	قطره ای	۶۲۰۰/۰۰	۱۵۷/۵	۱۰۱۵۶/۷۸	۱۴۲۸۵/۲۰
۱۶	سطحی	۷۴۴۴/۳۰	۱۷۲/۵	۱۰۳۱۶/۶۹	۱۹۳۴۷/۵۵
۱۷	سطحی	۱۱۳۶۳/۱۰	۷۵/۰	۹۵۴۰/۹۶	۱۷۸۰۰/۳۰
۱۸	سطحی	۱۶۸۶۲/۴۰	۱۱۲/۵	۸۷۴۵/۸۷	۱۶۳۱۶/۹۱
۱۹	سطحی	۵۹۵۶/۰۰	۳۷/۵	۸۹۵۰/۱۶	۱۶۶۹۸/۰۶
۲۰	قطره ای	۸۹۶۰/۰۰	۳۷/۵	۸۱۷۴/۶۹	۱۳۴۸۱/۹۹
میانگین		۱۰۴۴۹/۳۳		۹۵۷۹/۰۱	۱۴۹۶۴/۰۳

جدول ۸- نیاز ناخالص آبیاری آلو برای روش های مختلف آبیاری بر اساس داده های سند ملی آب و کتاب "برآورد آب مورد نیاز گیاهان زراعی"

Table 8- The impure water requirement of plum for different irrigation methods based on the national document and the book "Estimation of Water Required of Garden Plants"

منطقه Area	نیاز خالص آبیاری آلو بر اساس سند ملی آب کشور Net irrigation requirement Plum based on "the document national water of the country"	نیاز خالص آبیاری آلو بر اساس کتاب "برآورد آب مورد نیاز گیاهان باغی" The net irrigation requirement of plums based on the book "Estimating the water requirements of garden plants"	نیاز ناخالص آبیاری آلو بر اساس سند ملی آب کشور Plum irrigation gross requirement based on "the document national water of the countr	نیاز ناخالص آبیاری آلو بر اساس کتاب "برآورد آب مورد نیاز گیاهان باغی" Plum irrigation gross requirement based on the book "Estimating the water requirements of garden plants"
	آبیاری سطحی Surface irrigation	آبیاری قطره ای Drip irrigation	آبیاری سطحی Surface irrigation	آبیاری قطره ای Drip irrigation
مشهد	۷۹۱۷	۱۰۴۶۴	۱۳۸۸۱	۱۱۱۳۵
چناران	۷۵۳۱	۱۰۴۶۴	۱۳۸۸۱	۱۰۵۹۲
میانگین	۷۴۴۰	۱۰۴۶۴	۱۳۸۸۱	۱۰۸۶۳

تحقیق نشان داد حجم آب آبیاری، عملکرد و بهره‌وری آب آبیاری در باغ‌های آلو در روش آبیاری قطره‌ای به ترتیب ۹۹۲۰ مترمکعب در هکتار، ۱۸۸۲۷ کیلوگرم در هکتار و ۱/۸۸ کیلوگرم بر مترمکعب و در روش آبیاری سطحی ۱۱۴۳۳ مترمکعب در هکتار، ۱۴۸۰۴ کیلوگرم در هکتار و ۱/۳۱ کیلوگرم بر مترمکعب است. بر این اساس، عملکرد و بهره‌وری آب آبیاری در روش آبیاری قطره‌ای، نسبت به روش آبیاری سطحی، به ترتیب ۲۷ و ۴۳ درصد افزایش و مصرف آب ۱۳ درصد کاهش نشان می‌دهد. نیاز ناخالص آبیاری محاسبه شده، برآورده شده با استفاده از سند ملی آب و کتاب "برآورد نیاز آبی گیاهان زراعی و باغی کشور" در روش آبیاری قطره‌ای به ترتیب ۱۳۶۹۹، ۱۰۴۶۴ و ۱۰۸۶۳ مترمکعب در هکتار و در روش آبیاری سطحی به ترتیب ۱۷۳۱۳، ۱۳۸۸۱ و ۱۴۴۱۰ مترمکعب در هکتار است. حجم آب آبیاری که کشاورزان به باغ‌های آلو می‌دهند در روش آبیاری قطره‌ای (۹۹۲۰ مترمکعب در هکتار) نسبت به نیاز ناخالص آبیاری محاسبه شده، برآورده شده با استفاده از سند ملی آب و کتاب "برآورد نیاز آبی گیاهان زراعی و باغی کشور" به ترتیب ۲۷/۶، ۵/۲ و ۸/۷ درصد کاهش دارد. حجم آب آبیاری که کشاورزان به

با توجه به نتایج درج شده در جدول‌های ۷ و ۸ مشاهده می‌شود که متوسط حجم آب آبیاری استفاده شده توسط کشاورزان در باغ‌های آلو (۱۰۴۴۹ مترمکعب در هکتار) کمتر از میانگین نیاز ناخالص آبیاری محاسبه شده (۱۴۹۶۴ مترمکعب در هکتار)، برآورده شده با استفاده از سند ملی آب و کتاب "برآورد آب مورد نیاز گیاهان باغی" (Farshi et al., 1997) است. از این رو در دوره آبیاری، آب به اندازه نیاز گیاه آلو در اختیار این گیاه قرار نگرفته است.

نتیجه گیری و پیشنهادها

بر اساس نتایج این تحقیق، در دو منطقه مشهد و چناران میانگین وزنی (بر اساس سطح زیر کشت آلو در دو منطقه) حجم آب آبیاری، حجم آب کاربردی، عملکرد آلو، بهره‌وری آب آبیاری و بهره‌وری آب کاربردی به ترتیب ۱۰۲۵۶ مترمکعب در هکتار، ۱۰۳۵۳ مترمکعب در هکتار، ۱۴۷۱۳ کیلوگرم در هکتار، ۱/۵۳ کیلوگرم بر مترمکعب و ۱/۵۱ کیلوگرم بر مترمکعب تعیین شده است. میزان آب آبیاری در تولید آلو در این دو منطقه حدود ۳۱ درصد از متوسط کشوری آن بیشتر و بهره‌وری آب آبیاری حدود ۳۲/۶ درصد از متوسط کشوری آن کمتر است. نتایج این

باغ‌های آلو می‌دهند در روش آبیاری سطحی (۱۱۴۳۳) مترمکعب در هکتار) نسبت به نیاز ناخالص آبیاری محاسبه شده، برآورده شده با استفاده از سند ملی آب و کتاب "برآورد نیاز آبی گیاهان زراعی و باغی کشور" به ترتیب ۳۴/۰، ۱۷/۶ و ۲۰/۷ درصد کاهش نشان می‌دهد. با مقایسه حجم آب آبیاری استفاده شده توسط کشاورزان در باغات آلو با نیاز ناخالص آبیاری این نتیجه حاصل شد که کشاورزان به دلیل در اختیار نداشتن آب کافی و به طور ناخواسته در باغ‌های آلو به کم آبیاری روی آورده‌اند و در واقع کشاورزان به اندازه‌ای که آب در اختیار دارند آبیاری می‌کنند. با توجه به اینکه اکثر باغ‌ها به صورت حقابه‌ای آب دریافت می‌کنند، گیاه در مقاطعی از دوره رشد خود آب بیشتر و در مقاطعی آب کمتر از حد موردنیاز خود دریافت می‌کند و این باعث کاهش عملکرد و به دنبال آن کاهش بهره‌وری آب می‌گردد. نتایج تحقیق نشان داد که حجم آب آبیاری باغ‌های آلو بستگی دارد به تعداد نوبت‌های آبیاری، زمان قطع آبیاری در انتهای فصل، میزان حقابه و منابع آب در دسترس و نحوه مدیریت باغ. بر اساس نتایج به‌دست آمده می‌توان این‌گونه جمع‌بندی کرد که کاربرد صحیح و اصولی سامانه‌های آبیاری تحت فشار و آموزش بهره‌برداران برای استفاده بهینه از این سامانه‌ها از طریق بهره‌گیری از ظرفیت کشاورزان پیشرو می‌تواند ارتقای بهره‌وری آب آبیاری درختان آلو را به همراه داشته باشد. میانگین عملکرد آلو در باغ‌های منتخب با روش آبیاری قطره‌ای برابر با ۱۸/۸۳ تن در هکتار به‌دست آمده که از متوسط عملکرد آلو در کشور (بر اساس آمارنامه کشاورزی سال ۱۴۰۱، به‌میزان ۱۱/۳۶ تن در هکتار) حدود ۶۵/۷۵ درصد بیشتر است. بر این اساس کشت آلو در هر دو منطقه مشهد و چناران و همچنین استفاده از روش آبیاری قطره‌ای در باغ‌های آلو قابل توصیه خواهد بود. باید توجه داشت که بهره‌وری آب آبیاری شاخصی است چندوجهی که از پارامترهای مختلف تأثیر می‌پذیرد و آب یکی از نهاده‌های اثرگذار بر این شاخص است. توجه به عوامل مختلف اثرگذار بر بهره‌وری آب آبیاری به منظور ارتقای پایدار این شاخص الزامی است. برای مثال، با توجه به نقش کلیدی ارقام در ارتقای بهره‌وری آب آبیاری، توجه به استفاده از ارقام جدید، مقاوم به تنش‌های محیطی و متناسب با شرایط اقلیمی مناطق می‌تواند نقش بسزایی در بهبود بهره‌وری آب آبیاری داشته باشد. فراهم کردن زمینه لازم به منظور استفاده کشاورزان از نهاده‌هایی مانند سم و کود نیز یکی از راهکارهای ارتقای بهره‌وری آب آبیاری است.

مراجع

- Abbasi, F., Sohrab, F. & Abbasi, N. (2017). Evaluation of irrigation efficiencies in Iran. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering Research*, 17(67), 113-128. (in Persian).
- Ahmadi, K., Ebadzadeh, H.R., Hatami, F., Hoseinpour, R. & Abdshah, H. (2020). *Agricultural Statistics of 2019*. Ministry of Jihad for Agriculture, Deputy for Planning and Economy, Information and Communication Technology Office. Volume 3, Orchards Products. 163 pp. (in Persian).
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. & Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirement*. FAO Irrig. Drain. Paper No. 56. FAO, Rome, Italy, 300 pp.
- Ayers, R.S. & Westcot, D.W. (1994). *Water Quality for Agriculture*. FAO Irrigation and Drainage Paper, No. 29. FAO, Rome, Italy.
- Blanco-Cipollone, F., Monino, N. J., Vivas, A., Samperio, A. & Prieto, M. H. (2019). Long-term effects of irrigation regime on fruit development pattern of the late-maturing 'Angeleno' Japanese plum. *European Journal of Agronomy*, 105: 157-167.

- Ćosić, M., Lipovac, A., Vujadinović-Mandić, M., Vuković-Vimić, A., Đurović, D. & Nikolić, D. (2021). Water requirements in traditional plum producing regions of Serbia. In XII International Symposium on Plum and Prune Genetics, Breeding and Pomology, 1322, 209-214.
- Dzikiti, S. & Schachtschneider, K. (2015). Water stewardship for stone fruit farmers (p. 4). WWF Technical Report. Available at www.wwf.org.za/freshwater.
- Farshi, A., Shariati, M.R., Jarollahi, R., Ghaemi, M.R., Shahabifar, M. & Tavallaei, M.M. (1997). An estimate of the water requirements of main field crops and orchards in Iran, Orchards Vol. 2. Agricultural Education Publication: Karaj, Iran, p.629. (in Persian).
- Gavilán, V., Lillo-Saavedra, M., Holzapfel, E., Rivera, D. & García-Pedrero, A. (2019). Seasonal crop water balance using harmonized Landsat-8 and Sentinel-2 time series data. *Water*, 11(11), 2236.
- Information and Communication Technology Office. (2023). Statistical Yearbook of the Agricultural sector of Razavi Khorasan Province of 2022. Agricultural Jihad Organization of Razavi Khorasan Province, Deputy for Planning and Economy, 276 pp. (in Persian).
- Jovanović, N., Motsei, N., Mashabatu, M. & Dube, T. (2023). Modelling soil water redistribution in irrigated Japanese plum (*Prunus salicina*) orchards in the Western Cape (South Africa). *Horticulturae*, 9(3), 395.
- Karami, T. & Ghaffarian Behraman, M. (2017). Future research of water crisis and its security challenges (case study of Rafsanjan city). *Quarterly of Scientific - specialized of law enforcement knowledge*, 8(21), 49-79.
- Khandani, Y., Fotouhi Ghazvini, R., Ghasem Nezhad, M. & Khaledian, M.R. (2016). Effects of Both Regulated Deficit Irrigation and Super Absorbent on the Vegetative Growth, Yield and Fruit Quality of Japanese Plum 'Santarosa'. *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology*, 17 (3), 369-378.
- Mashabatu, M., Motsei, N., Jovanović, N., Dube, T., Mathews, U., & Nqumkana, Y. (2024). Assessing the Seasonal Water Requirement of Fully Mature Japanese Plum Orchards: A Systematic Review. *Applied Sciences*, 14(10), 4097.
- Mhawej, M. & Faour, G. (2020). Open-source Google Earth Engine 30-m evapotranspiration rates retrieval: The SEBALIGEE system. *Environmental Modelling & Software*, 133, 104845.
- Molden, D.J., Sakthivadivel, R., Perry, C.J. & De Fraiture, C. (1998). Indicators for comparing performance of irrigated agricultural systems. Research Report No. 20, Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute.
- Moñino, M.J., Blanco-Cipollone, F., Vivas, A., Bodelón, O.G. & Prieto, M.H. (2020). Evaluation of different deficit irrigation strategies in the late-maturing Japanese plum cultivar 'Angeleno'. *Agricultural Water Management*, 234, 106111.
- Mousavi, A. & Tatari, M. (2017). Management of deficit irrigation in fruit trees. Technical Note No. 52712, Horticultural Sciences Research Institute, temperate fruits research center, Karaj, Iran.
- Naghshi, A. (2016). Irrigation management in orchards. Extensional Note No. 139, East Azerbaijan Agricultural Organization, Agricultural extension coordination management.
- SCS. (1972). U.S. Soil Conservation Service, National Engineering Handbook, Hydrology Section 4.
- Suklabaidya, A. & Mehta, K. (2018). Effect of irrigation, pruning severity & nitrogen fertilization on tree growth of plum cv. Santa Rosa. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(6), 2792-2798.

Investigating the volume of irrigation water and applied water productivity in Plum orchards of Razavi Khorasan province (Chenaran and Mashhad)

M. Karimi*, S. Sepehri Sadeghian, M. Joleini

Corresponding Author: Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Department, Khorasan Razavi. Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Mashhad, Iran.

Received: 12 August 2024 , **Accepted:** 22 September 2024

Email: karimi.irri@gmail.com

<https://doi.org/10.22092/idser.2024.366702.1586>

Extended Abstract

Introduction

Due to the limitation of water resources in the production of agricultural products in the country and the need to improve water productivity in the production of horticultural products on the one hand and the economic importance of plum production in the country on the other hand, the investigation of management indicators such as the volume of irrigation water, yield and irrigation water productivity is necessary in the production of plums in the country. Plums are one of the most important orchard products, and the livelihood of a large number of farmers in different regions of the country, including Khorasan-Razavi province, depends on this product. Therefore, the current project was carried out with the aim of direct and field measurement of the water content of plum varieties in orchards under the management of local farmers in the producing regions of this product in the province. According to the latest statistics published by the Ministry of Agricultural Jihad (Statistical Yearbook of the Department of Agriculture of Khorasan Razavi Province in 2022), the area under plum cultivation in Mashhad and Chenaran regions is 328 and 75 hectares, respectively, and the yield per unit area in those two mentioned regions is 3905 and 6028 kg/ha, respectively.

Methodology

In Khorasan Razavi province, two regions with highest area under plum cultivation were selected for evaluation, Chenaran and Mashhad. To conduct this research, 10 orchards in Chenaran region and 10 orchards in Mashhad region have been selected. The volume of irrigation water was measured in these 20 orchards during the irrigation season. The measurements were carried out in different irrigation and planting methods, various soils, different salinity of irrigation water and soil, and different plum varieties during the growing season of 2021-2022 without interfering with the farmer's irrigation management. The measured values were compared with the gross irrigation water requirement estimated by the Penman-Monteith method using the last 10 years meteorological data and also with the national water document values. Plum yield was recorded at the end of the growing season

and water productivity was calculated as the ratio of yield to total water (irrigation applied water and effective rainfall).

Results and Discussion

The results showed that the amount of applied water, the amount of plum yield and the water productivity in Chenaran region were 10899 m³/ha, 21.73 ton/ha and 1.9 kg/m³, respectively. The volume of applied water, the amount of plum yield, and water productivity in Mashhad region were determined as 10229 m³/ha, 13.11 ton/ha and 1.42 kg/m³, respectively. The volume of plum irrigation water in the regions varied from 4999 to 16862 and its weighted average (based on the cultivation area) was 10256 m³/ha. While the average gross requirement of irrigation water in the regions using the Penman-Monteith method using meteorological data of the last ten years and the national water document was 14964 and 12173 m³/ha, respectively. The average yield of plum in the selected orchards varied from 5560 kg/ha to 89800 kg/ha and the average was 14713 kg/ha. Irrigation water productivity in selected orchards varied from 0.4 to 7.09 and the average was 1.53 kg/m³. The applied water productivity in the selected orchards was 1.51 kg/m³.

Conclusions

According to the results of this research in Chenaran and Mashhad, the weighted average volume of irrigation water and the irrigation water productivity in plum orchards are 10256 m³/ha and 1.53 kg/m³, respectively. The volume of irrigation water to produce plum in these two regions was about 31% more than that in country and the irrigation water productivity was about 32.6% less than that in country. The volume of irrigation water, yield and irrigation water productivity in plum orchards in drip irrigation method were 9920 m³/ha, 18827 kg/ha and 1.88 kg/m³, respectively, and in surface irrigation method they were 11433 m³/ha, 14804 kg/ha and 1.31 kg/m³ respectively. The yield of plum and the irrigation water productivity in drip irrigation method, compared to the surface irrigation method, increased by 27 and 43%, respectively, and water consumption decreased by 13%. Comparing the volume of irrigation water used by farmers in the plum orchards with the gross irrigation requirement, shows that the farmers have no enough water for irrigation and unintentionally, they follow deficit irrigation in the plum orchards, and in fact, the farmers use water available for them. The average yield of plums with drip irrigation method was equal to 18.83 ton/ha, which is about 65.75% higher than the average yield of plums in the country. Based on this, plum cultivation in both regions and also the use of drip irrigation method in plum orchards cab is recommended.

Keywords: Volume of irrigation water, Irrigation methods, Water productivity, Yield of plum

تحلیل صحرایی عملکرد لایه‌ی ژئوممبران در کاهش نشت آب از کانال‌های شبکه آبیاری مغان

کرامت اخوان^{۱*}، میلاد خیری^۲، مجید مردپور^۳، فرهود کلاته^۴

۱ استادیار پژوهشی بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اردبیل (مغان)، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل، ایران.
۲ دانش آموخته‌ی دکتری عمران - آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
۳ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی نقشه برداری - سامانه اطلاعات مکانی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران.
۴ دانشیار گروه آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۰۷

چکیده

کنترل تلفات نشت از کانال‌ها و مخازن ذخیره آب به منظور حفاظت از منابع محدود آب کشور ضروری است. برای کنترل نشت، تاکنون روش‌های متعددی به کار گرفته شده است و امروزه استفاده از پوشش‌های ژئوسنتتیک، مانند ورقه‌های ژئوممبران، مورد توجه قرار گرفته است. در این تحقیق، مشکلات موجود در مراحل مختلف طراحی و اجرای پوشش ژئوممبران در کانال‌ها در شبکه آبیاری مغان بررسی شده است. میزان نشت از این نوع پوشش در شرایط مختلف با استفاده از روش ورودی-خروجی بررسی گردید. در تحقیق حاضر، از بین کانال‌های اجرا شده با پوشش‌های ژئوسنتتیک در شبکه آبیاری مغان، کانال پمپاژ ۳ مغان با توجه به اهمیت و ویژگی‌های فنی انتخاب و روی آن از نظر ویژگی‌های هیدرولیکی، کنترل نشت، کارایی و مسائل اجرایی بررسی صحرایی گردید. بر اساس نتایج آزمایش‌ها، میزان متوسط نشت آب در طول بازه کانال ۴۶/۸۶ لیتر در روز در مترمربع به دست آمد و بر اساس بازه‌های صحرایی، رسوب و تخریب در کانال مشاهده نشد. این میزان نشت، در مقایسه با دیگر پوشش‌های ژئوسنتتیک مطالعه شده در دیگر نقاط برای کانال‌های پوشش شده با پلی اتیلن کم چگالی به ضخامت ۲/۵ میلی‌متر (۱۴ تا ۶۹ لیتر در روز در هر مترمربع)، در حد متوسط قرار دارد.

واژه‌های کلیدی: پوشش ژئوسنتتیک، تراوش، شبکه آبیاری مغان، عملکرد هیدرولیکی، کانال خاکی.

مقدمه

برخوردار هستند. (Kheiry and Pilpayeh, 2019; 2020; Kalateh and Kheiry, 2024; 2023; Kalateh et al., 2022; 2024; Chopan et al., 2020).

تمرکز اصلی در تحقیق حاضر بر روی تلفات نشت در کانال‌های آبیاری است. بر اساس تحقیقات USBR (1976; 2002)، کانال‌های پوشش نشده تا ۵۰ درصد آب انتقالی خود را از طریق نشت از دست می‌دهند (Ivy and Narejo, 2003). یکی از عوامل مهم در استفاده بهینه از منابع آب و خاک، استفاده از کانال‌ها با پوشش‌های مناسب است تا انتقال و توزیع آب از محل منابع به محل مصارف به طریقی مطمئن

گرم شدن زمین، افزایش ریسک کم آبی به دلیل رشد روزافزون جمعیت و رشد تقاضا در حال حاضر چالشی بزرگ برای سیستم‌های ذخیره آب ایجاد کرده‌اند که دقت در عملکرد سازه‌های هیدرولیکی از ضروریات عصر کنونی است (Akhavan et al., 2019; 2021; 2023a; 2023b). سازه‌های آبی مانند کانال‌های آبیاری، سدها، تل‌های خاکی و سرریزها با توجه به افزایش روزافزون مصرف آب و محدودیت منابع آبی موجود، حفظ آب و کاهش تلفات آن، به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک، از اهمیت ویژه‌ای

بدون آسیب دیدگی عملاً در برابر جریان سیالات نفوذناپذیر محسوب می‌شود (Weber, 2008). برای نمونه، نفوذپذیری ژئوممبران‌های پی وی سی و اچ دی پی به ترتیب در محدوده $10-15 \text{ Cm/s}$ و $10-12 \text{ Cm/s}$ قرار دارد (Scheirs, 2009) که این مقادیر به طور معنی‌داری از هدایت هیدرولیکی بیشتر خاک‌ها کمتر است (Koerner, 1998) و نفوذپذیری Cm/s $9-10$ برای بتن تخریب نشده (Aldea et al., 1999)، حداقل 1000 بار از نفوذپذیری متوسط بتن کمتر است.

کانال اصلی مغان شاه‌رگ اصلی تأمین آب شرب و کشاورزی منطقه مغان است و هرگونه خللی در عملکرد آن تأثیری مستقیم بر آبیاری مزارع خصوصی و دولتی آن منطقه دارد. در تحقیقات پیشین، عملکرد هیدرولیکی کانال‌ها بدون توجه به تأثیر پوشش‌های ژئوممبران تعیین شده بود که در تحقیق حاضر تمرکز اصلی روی اثرهای مثبت این پوشش‌ها در شبکه است. در تحقیق حاضر دو هدف موردنظر است: الف) برآورد میزان نشت در کانال‌های شبکه آبیاری مغان به روش صحرایی. ب) بررسی مشکلات فنی موجود در این پروژه.

مواد و روش‌ها

در تحقیق حاضر ارزیابی کارایی مواد ژئوسنتتیک در پوشش کانال‌های انتقال آب آبیاری در دشت مغان مدنظر است و از این‌رو تلاش شده با بررسی‌های صحرایی عملکرد در کاهش نشت این مواد ارزیابی شود.

مشخصات شبکه آبیاری و زهکشی مغان

شبکه آبیاری و زهکشی مغان با هدف تأمین آب موردنیاز 90 هزار هکتار زمین‌های پایین‌دست دشت مغان احداث شده است. در حال حاضر این شبکه آب موردنیاز اراضی به وسعت حدود 64000 هکتار از زمین‌های خالص شرکت‌های کشت و صنعت مغان و پارس و بخش خصوصی را تأمین می‌کند که در شکل (۱) نمای کلی آن دیده می‌شود. کانال اصلی شبکه به طول 176 کیلومتر و با ظرفیت 80 مترمکعب

صورت گیرد. در این حالت، پوشش کانال‌ها و مخازن می‌تواند در بهبود بهره‌وری آب مؤثر باشد (Schultz & De Wrachien, 2002)؛ بنابراین، پوشش کانال در شبکه‌های آبیاری اهمیت ویژه‌ای دارد. شواهد نشان می‌دهند که روش‌های مرسوم استفاده از پوشش‌های سخت به منظور کاهش نشت از کانال‌های آبیاری کارایی مورد انتظار را ندارند و در اغلب موارد نیز مشکلات زهکشی به دلیل تلفات نشت از کانال‌های موجود تشدید می‌شود (Rahimi et al., 2007).

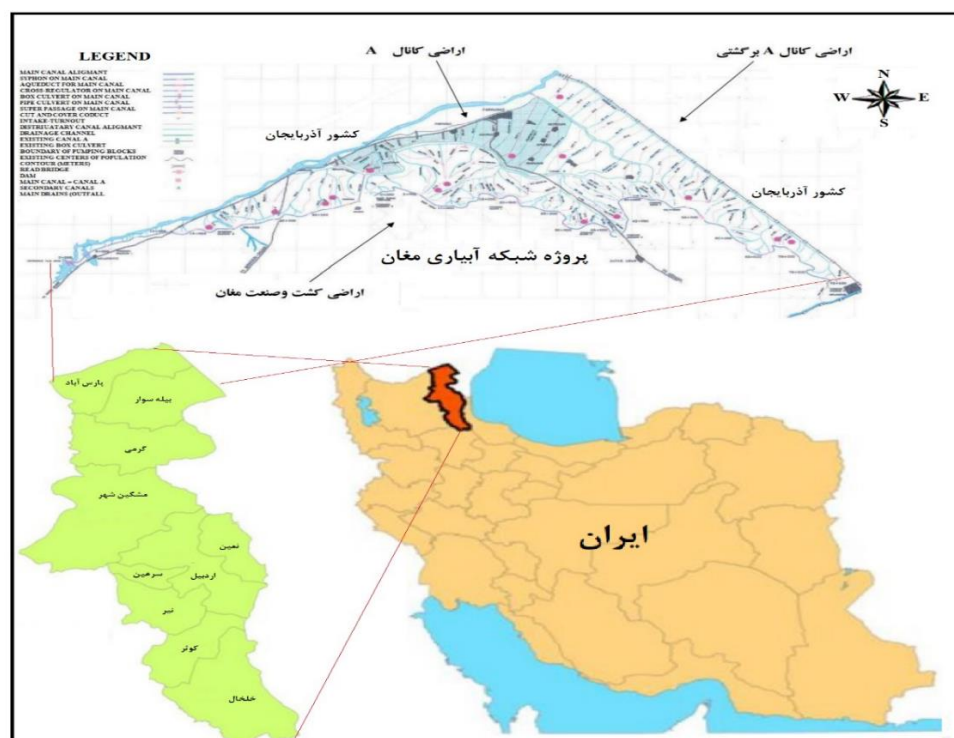
روش‌های سنتی اجرای کانال‌ها اعم از پوشش رسی متراکم یا بتن نفوذناپذیر، قابل اجرا روی انواع خاک‌هایی مانند خاک‌های گچی، ماسه‌ای، رمل‌بند، و اگر و... نیستند و به همین دلیل هزینه‌های سنگین تعویض خاک را به پروژه تحمیل می‌کنند. پوشش‌های رسی متراکم یا بتن نفوذناپذیر ممکن است بر اثر عوامل محیطی تخریب شوند و هزینه‌های تعمیر و نگهداری را در دوره بهره‌برداری از سیستم به همراه داشته باشند؛ بنابراین، نوعی خاص از مصالح را برای پوشش کانال خاص نمی‌توان برای همه شرایط پیشنهاد کرد (Snell, 2001). یکی از گزینه‌های ممکن، استفاده از موادی در پوشش کانال‌هاست که ضمن ارزان بودن، ساده بودن تهیه و حمل آن‌ها و آسان بودن دسترسی به آن‌ها و کاربردشان، عملکرد بالایی از نظر کنترل نشت داشته باشند و از دوام مناسبی نیز برخوردار باشند. از موادی که اخیراً در پوشش کانال‌ها و مخازن و استخرهای آب استفاده می‌شوند مواد ژئوسنتتیک هستند. ژئوسنتتیک‌ها آن بخش از مواد ساختمانی ابداع شده هستند که توسط صنایع نساجی و پتروشیمی تولید می‌شوند (Rahimi et al., 2007).

ژئوممبران‌ها یکی از انواع ژئوسنتتیک‌ها هستند که به دلیل طبیعت پلیمری خود (نفوذپذیری اندک، مقاومت شیمیایی بالا در مقابل هیدروکربن‌های غلیظ و کرنش‌پذیری در مقابل تنش‌ها) کاربردهای گسترده‌ای در سازه‌های کنترل جریان در کشورهای توسعه یافته پیدا کرده‌اند (Mahdavi Mortazavi and Jafari, 2006). ژئوممبران دست نخورده و

می‌ریزد. از دریاچه مجدداً کانال اصلی ادامه می‌دهد و مسافتی نزدیک به ۷۹ کیلومتر را می‌پیماید و در نهایت در جنوب زمین‌های بابک و بيله‌سوار خاتمه می‌یابد (شکل ۱). مجموع طول کانال اصلی قبل و بعد از دریاچه ۱۱۴ کیلومتر است. ابعاد کانال مذکور در ابتدا با عرض کف ۱۶ متر و ظرفیت ۸۰ مترمکعب در ثانیه است که تدریجاً و پس از طی مسافت ۳۵ کیلومتر، در محل دریاچه رسوب‌گیر مغان به عرض کف ۱۳/۵ متر و ظرفیت ۷۰/۷ مترمکعب در ثانیه می‌رسد. متعاقباً پس از ترسیب نسبی مواد، کانال با عرض کف ۱۳/۲۵ متر و دبی ۴۵ مترمکعب در ثانیه شروع و در منطقه بيله‌سوار به عرض کف ۳ متر و دبی ۲/۸ مترمکعب در ثانیه آب را برای تغذیه آخرین کانال درجه ۲ هدایت می‌کند (Akhavan, 2012). در جدول (۱)، طول هر یک از کانال‌های شبکه آبیاری مغان نگاشته شده است.

در ثانیه است. کانال اصلی به‌صورت خاکی و بدون پوشش است و در سال‌های اخیر در راستای اجرای طرح‌های بهسازی عملیات پوشش کانال‌های درجه ۲ و ۳ آغاز گردیده است که در حال حاضر تقریباً تمام کانال‌های درجه ۲ دارای پوشش هستند. بخش زیادی از کانال‌های درجه ۳ (۴۲۰۰۰ هکتار) با استفاده از کانال‌های پیش‌ساخته بتنی (کانالت) بهسازی شده است. یعنی نزدیک به نصف زمین‌های زیر شبکه آبیاری مغان (۹۰۴۰۰ هکتار) با کانال‌های پیش‌ساخته (کانالت) تجهیز شده است.

کانال‌های اصلی شبکه آبیاری مغان از سد انحرافی با چهار دریچه قوسی با حداکثر دبی ۸۰ مترمکعب بر ثانیه در گشودگی صددرصد تغذیه می‌شود. این کانال که به‌عنوان کانال مادر عمل می‌کند خاکی است و پس از مشروب کردن زمین‌های مسیر به طول ۳۵ کیلومتر، به دریاچه رسوب‌گیر



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و نقشه شبکه آبیاری و زهکشی مغان

Fig. 1- The location of the field study area and Moghan irrigation network map.

جدول ۱- مشخصات کلی شبکه آبیاری و زهکشی مغان (Akhavan, 2012).

Table 1- General characteristics of Moghan irrigation and drainage network (Akhavan, 2012).

مجموع Total	شبکه‌های احداث شده Established networks			کانال‌های مورد بهره‌برداری Channels under use
	شبکه بزرگ Big network	شبکه A Network A	شبکه T Network T	
۹۰۴۰۶	۷۲۰۰۰	۱۴۳۸۰	۴۰۲۶	اراضی ناخالص زیر شبکه (هکتار) Gross Area Under the Network (ha)
۸۰	۵۶	۲۴	۳	حداکثر ظرفیت آب‌بری (مترمکعب بر ثانیه) Maximum Water Conveyance Capacity (m ³ /s)
۱۷۴/۴۹	۱۱۴	۶۰/۴۹	-	طول کانال‌های اصلی (کیلومتر) Length of Main Canals (Km)
۳۵۸/۸۴۵	۲۴۳/۰۸۵	۱۱۵/۷۶	-	طول کانال‌های درجه ۲ (کیلومتر) Length of Secondary Canals (Km)
۱۳۵۲	۷۰۰	۵۷۲/۸۹۸	۷۹/۳۱۴	طول کانال‌های درجه ۳ (کیلومتر) Length of Tertiary Canals (Km)
۴۱۷/۹۹۰	۳۵۵	۴۶/۰۳۲	۱۶/۸۷۸	طول زهکش اصلی (کیلومتر) Length of Main Drainage (Km)
۱۳۴۶	۶۴۱	۶۰۵	-	مجموع دریچه‌های آبگیر (عدد) Total Number of Water Intake Structures (count)

در شبکه وسیع آبیاری مغان علاوه بر شبکه کانال‌های اصلی خاکی که وسعتی معادل ۹۰ هزار هکتار (ناخالص) را پوشش می‌دهند، حدود ۳۵۸/۷ کیلومتر کانال درجه ۲ و ۴۱۷/۹ کیلومتر زهکش درجه ۱ و ۲ شبکه اجرا شده است. طول کانال‌های درجه ۲ و کانال‌های اصلی، تعداد دریچه‌های آبیاری، طول جاده سرویس و طول زهکش‌های واقع شده در مناطق چهارگانه و همچنین کانال‌های شبکه در جدول (۲) و (۳) آورده شده است (Akhavan, 2012).

پیش از ورود آب کانال اصلی به دریاچه، یک‌رشته کانال اصلی به نام A از آن منشعب می‌شود که پس از طی ۳۹ کیلومتر و مشروب کردن مسیر، مجدداً ادامه می‌یابد که ادامه آن را از این نقطه (کیلومتر ۳۹) به نام کانال A برگشتی می‌نامند؛ طول این کانال ۲۱ کیلومتر است. بنابراین، مجموع طول کانال‌های A و A برگشتی بالغ بر ۶۰ کیلومتر است. خلاصه وضعیت کانال‌های اصلی شبکه آبیاری مغان در جدول (۲) نشان داده شده است (Akhavan, 2012).

جدول ۲- وضعیت کانال‌های اصلی شبکه آبیاری و زهکشی مغان (Akhavan, 2012).

Table 2- The condition of the main canals of Moghan irrigation and drainage network (Akhavan, 2012).

تعداد دریچه‌های آبیاری Number of Irrigation Gates	تعداد کانال‌های درجه ۲ Number of Secondary Canals	نوع پوشش Type of Lining	دبی (مترمکعب بر ثانیه) Discharge (m ³ /s)	طول (متر) Length (m)	محل انشعاب Branch Location	کانال Canal
۴	۵	خاکی Earthen	۸۰	۳۵	سد انحرافی Diversion Dam	کانال اصلی شبکه Main Network Canal
۳۴	۲۴	خاکی Earthen	۴۰	۷۹	دریاچه Lake	کانال اصلی بعد از دریاچه Main Canal After the Lake
۲۹	۷	خاکی Earthen	۲۴	۳۹	کانال اصلی شبکه Main Network Canal	کانال A Canal A
۱۵	۷	خاکی Earthen	-	۲۱	کانال A Canal A	کانال A برگشتی Backward Canal A
۸۲	۴۳	-	-	۱۷۴	-	جمع Total

جدول ۳- ویژگی های کانال های درجه ۲ و دیگر تأسیسات شبکه آبیاری و زهکشی مغان (Akhavan, 2012).

Table 3- Characteristics of 2nd grade canals and other facilities of Moghan irrigation and drainage network (Akhavan, 2012).

تعداد دریاچه ها Number of Gates	طول زهکش های اصلی و فرعی (کیلومتر) Length of Main and Secondary Drains (Km)	طول جاده های سرویس (کیلومتر) Length of Service Roads (Km)	مجموع طول کانال ها (کیلومتر) Total Length of Canals (Km)	طول کانال های درجه ۲ (کیلومتر) Length of Secondary Canals (Km)	طول کانال های اصلی (کیلومتر) Length of Main Canals (Km)	مناطق چهارگانه Four Regions
۱۷۱	۴۵	۱۲۰/۲۵	۹۹/۵	۶۴/۵	۳۵	اصلاندوز Aslanduz
۲۰۰	۸۶/۷	۲۲۶/۱	۱۳۲/۵	۹۵/۵	۳۷	شهرک Shahrak
۶۰۵	۱۶۱/۹	۳۵۱/۱	۱۷۵/۷	۱۱۵/۷	۶۰	پارس آباد Parsabad
۳۷۰	۱۲۳/۸۱	۲۲۵/۷	۱۲۵	۸۳	۴۲	بیله سوار Bilasavar
۱۲۴۶	۴۱۷/۹۱	۸۸۷/۱۵	۵۳۲/۷	۳۵۸/۷	۱۷۴	جمع Total

این تحقیق در کانال پمپاژ ۳ مغان اجرا شد که بعد از دریاچه احداث گردیده است و از طریق پمپاژ از شبکه آبیاری می کند. این کانال به طول ۲۸ کیلومتر و با ظرفیت ۳/۲ مترمکعب بر ثانیه برای آبیاری ۳۵۰۰ هکتار از زمین های تحت پوشش کشت و صنعت مغان حدود سال های ۱۳۶۲-۱۳۵۵ طراحی و اجرا شده است. پس از آبان داری و یک دوره بهره برداری حدود ۱۰ ساله از آن، ترک ها و تخریب های زیادی در دیواره و کف کانال به وجود آمد که بهره برداری از آن را با مشکل روبه رو ساخته است. در سال ۱۳۷۹ سه مقطع بحرانی از کانال به طول ۸ کیلومتر که

تخریب شده بود (شکل ۲)، اصلاح و ترمیم شد. بعد از کمتر از ۲ سال از بهره برداری از کانال، تخریب های شدیدی بار دیگر در مقاطع اصلاح شده به وجود آمد. ضمن برداشت خاک بستر تخریب شده، آبان داری و غرقاب کردن بستر، آبان داری کانال با استفاده از ژئوممبران و ژئوتکتایل به اجرا درآمد و سرانجام با لاینینگ، کانال با بتن پوشش داده شد (شکل ۳ و ۴). در این تحقیق با انتخاب یک بازه ۹۰۰ متری از کانال که با مواد ژئوممبران آبان داری و ترمیم شده است تمام مراحل آزمایش و بررسی در این مقطع اجرا گردید.

جدول ۴- مشخصات عمومی پوشش ژئوسنتتیک در کانال مورد مطالعه.

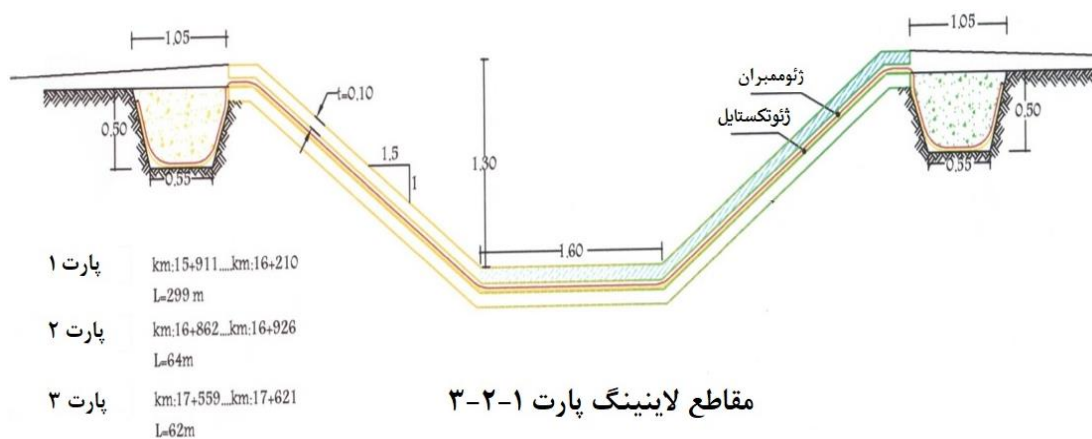
Table 4- General characteristics of the geosynthetic coating in the studied channel.

مشخصات Characteristics	پارامتر Parameter
یک لایه ژئوتکتال و ژئوممبران و پوشش بتنی A layer of geotextile and geomembrane with a concrete overlay	جنس پوشش Cover Material
ژئوتکتال نبافته سفید رنگ ساخت داخل با وزن ۵۰۰ گرم بر مترمربع Non-woven white geotextile manufactured domestically with a weight of 500 grams per square meter	مشخصات ژئوتکتال Geotextile Specifications
HDPE سیاه رنگ صاف به ضخامت ۱/۵ میلی متر Smooth black HDPE (High-Density Polyethylene) geomembrane with a thickness of 1.5 millimeters	مشخصات ژئو ممبران Geomembrane Specifications
۳۴۵۴ متر 3454 m	طول پوشش شده Covered Length



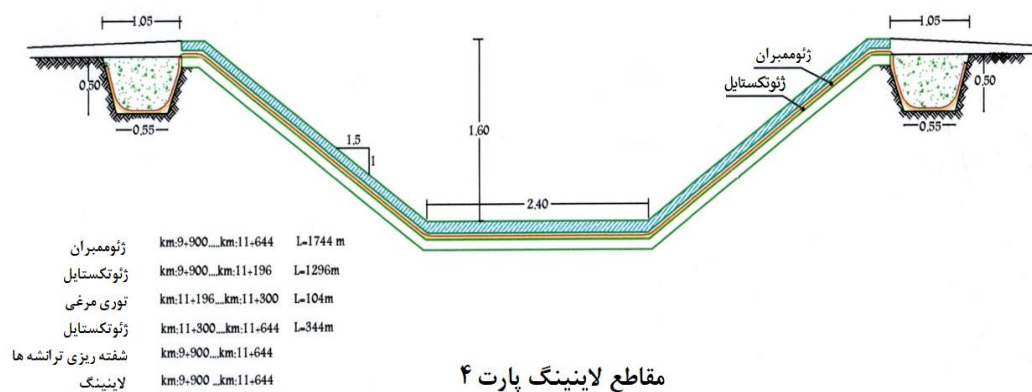
شکل ۲- نمایی از شدت تخریب کانال پمپاژ ۳ در زمان بهره برداری

Fig. 2- A view of the destruction of pumping channel 3 during operation.



شکل ۳- مقاطع لاینینگ ژئوممبران کانال پمپاژ ۳ (قسمت ۱ تا ۳)

Fig. 3- Geomembrane lining sections of the pumping channel 3 (Parts 1-3).



شکل ۴- مقاطع لاینینگ ژئوممبران کانال پمپاژ ۳ (قسمت ۴)

Fig. 4- Geomembrane lining sections of the pumping channel 3 (Part 4).

این تحقیق ارزیابی کارایی مواد ژئوسنتتیک را در پوشش کانال های انتقال دنبال می کند و از این رو تلاش گردید تا با بررسی های صحرایی برنامه ارزیابی نشت این مواد به اجرا در آید و مسائل اجرایی و بهره برداری آنها بررسی شود. با شروع فصل آبیاری و آب اندازی کانال، به منظور بررسی خصوصیات هیدرولیکی و فنی پوشش های ژئوسنتتیک استفاده شده بررسی های زیر اجرا گردید. میزان تلفات آب از طریق نشت از بدنه و جدار کانال ها، با استفاده از روش ورودی - خروجی اندازه گیری شد. روش حوضچه ای دقت بالاتری نسبت به این روش دارد؛ ولی به دلیل نیاز به وقفه در بهره برداری از کانال و بستن کانال در ابتدا و انتهای بازه و جلوگیری از این وقفه، روش ورودی و

خروجی انتخاب گردید. بر پایه ی این روش، تفاوت بین میزان آب وارد شده به یک بازه از کانال و میزان آب خارج شده از آن به عنوان تلفات نشت در نظر گرفته می شود. طول بازه مورد بررسی باید به اندازه کافی بزرگ باشد و میزان دبی طی زمان اندازه گیری نیز باید ثابت باشد. برای این کار بازه ای به طول ۹۰۰ متر انتخاب گردید و میزان نشت در این بازه در دبی های مختلف و در هر دبی در سه تکرار اندازه گیری و میانگین گیری شد. دبی در کانال با استفاده از دبی سنج التراسونیک اندازه گیری گردید. با اندازه گیری سطح آب کانال در بازه مورد نظر و تبخیر از تشتک (با استفاده از داده های هواشناسی) مقدار کل تبخیر از کانال به دست آمد (شکل ۵ و ۶) .



شکل ۵- دستگاه دبی سنج التراسونیک

Fig. 5- Ultrasonic flow meter.



شکل ۶- اندازه گیری دبی برای تعیین میزان نشت

Fig. 6- Flow measurement to determine the amount of leakage

نتایج و بحث

بررسی ویژگی‌های هیدرولیکی

میزان نشت

در تحقیق حاضر، کانال‌های آبیاری شبکه مغان به منظور تعیین میانگین حجم تلفات سالانه آب از پوشش ژئوممبران و مقایسه آن با میزان نشت در حالت بدون پوشش، مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج این اندازه‌گیری‌ها در جدول (۵) ارائه شده است. بر اساس میانگین اندازه‌گیری‌ها میزان نشت در واحد سطح در این کانال ۴۶/۸۶ لیتر در روز در مترمربع به دست آمد.

مقایسه میزان نشت آب به دست آمده از کانال با مقادیر موجود در منابع نشان می‌دهد میزان نشت از کانال‌ها با پوشش‌های مختلف بسته به نوع پوشش، عمق جریان، کیفیت اجرا، نحوه بهره‌برداری و نگهداری و عمر پوشش،

تغییرات زیادی را شامل می‌شود. در جدول (۵) میزان نشت از کانال مورد مطالعه به روش دبی ورودی و خروجی محاسبه شده است. در جدول (۶)، میزان نشت از کانال‌های با پوشش‌های مختلف موجود در مراجع، برای مقایسه با یافته‌های این تحقیق ارائه گردیده است.

با توجه به جدول (۵) میانگین دبی نشتی در کانال مورد بررسی برابر با ۴۶/۸۶ لیتر در روز در هر مترمربع به دست آمده است. این میزان نشت در مقایسه با سایر پوشش‌های ژئوسنتتیک مطالعه شده در سایر نقاط (۶۹-۱۴ لیتر در روز در هر مترمربع) در حد متوسط قرار دارد. با این حال به نظر می‌رسد پایش میزان نشت در بخش‌های مختلف شبکه و نیز تعیین تغییرات زمانی آن به منظور نگهداری مناسب، امری ضروری بوده و برای جلوگیری از هدر رفتن آب از کانال‌ها و تخریب کانال‌های بتنی (به دلیل ترک در بتن و نشت از درزها) استفاده از مواد ژئوسنتتیک توصیه می‌شود (شکل ۷).

جدول ۵- تعیین میزان متوسط نشت آب کانال به روش دبی ورودی و خروجی.

Table 5- Determining the average amount of canal water leakage by the inlet and outlet flow method.

مقدار Quantity	خصوصیات Characteristics
۱۳۳۵/۶	میانگین دبی ورودی (Lit/s) Average Inflow Rate (lit/s)
۱۳۲۸/۴	میانگین دبی خروجی (Lit/s) Average Outflow Rate (Lit/s)
۱۹۰۰	طول بازه انتخابی (m) Length of Selected Interval (m)
۷/۲	دبی تلفات کل (Lit/s) Total Loss Rate (lit/s)
۱۲۸	عمق متوسط جریان (cm) Average Flow Depth (cm)
۶/۲۴	محیط خیس شده متوسط (m) Average Wetted Perimeter (m)
۱۱۸۵۶	مساحت خیس شده متوسط بازه (m ²) Average Wetted Area of the Interval (m ²)
۶۲۲/۰۸	کل تلفات در بازه (m ³ /day) Total Loss Over Interval (m ³ /day)
۶۶۵۰	مساحت سطح آب کانال (m ²) Surface Area of Water in Canal (m ²)
۶۶/۵	کل تلفات حاصل از تبخیر (m ³ /day) Total Loss Due to Evaporation (m ³ /day)
۴۶/۸۶	نشت در واحد سطح (Lit/day/m ²) Seepage discharge per Unit Area (lit/day/m ²)

جدول ۶- میزان نشت آب از کانال ها با پوشش های مختلف در مطالعات پیشین.

Table 6- The amount of water leakage from canals with different coatings in references (DeMaggio, 1990; USBR, 1976; Nayak *et al.*, 1996; Nofziger, 1979; Sarkar and Majumder, 1995; Salemi, 1999; Fipps and Leigh, 2000).

میزان نشت (Lit/day/m ²) Seepage Rate (Lit/day/m ²)	نوع لاینینگ یا پوشش کانال Type of Canal Linings
۹۰ - ۲۳۷۷	بدون پوشش Unlined Canal
۲۱	سیمان پرتلند Portland Cement
۲۱	خاک متراکم شده Compacted Earth
۹۱	آجر بنایی Brick Lining
۴۶۲	بستر طبیعی Natural Bed
۳ - ۱۲	پلاستیک Plastic
۲/۴	بتن* Concrete
۱ - ۳۲	گنایت Granite
۱/۷ - ۳	خاک متراکم شده Compacted Soil
۱۵ - ۴۵	بستر رسی Clay Bed
۱۸۳ - ۱۳۶۸	بستر لومی Loamy Bed
۱۶۳ - ۳۱۷۰	بستر ماسه ای Sandy Bed
۱۹۴ - ۲۱۶	کانال بدون پوشش Unlined Canal
۳۷ - ۸۶	بتنی* Concrete
۱۴ - ۶۹	کانال پوشش شده با LDPE به ضخامت ۲/۵ میلیمتر LDPE Lined Canal (Thickness 2.5 mm)

• بین میزان نشت از کانال بتنی در گزارش های علمی اختلاف وجود دارد.

بررسی وضعیت رسوبات احتمالی ته نشین شده در کانال نشان داد که با توجه به اینکه این کانال از حوضچه بعد از دریاچه ترسیب آبرگیری می کند آب کانال فاقد رسوب بود و در کانال در موارد خاص جلبک مشاهده شد.

به منظور بررسی اثر پارامترهای اقلیمی (تابش آفتاب، گرما و سرمای شدید، بارندگی، رطوبت، باد، ذوب و یخ بستن) و بررسی مکانیکی ناشی از عبور و مرور افراد و ماشین آلات و حیوانات، بازدیدهای صحرایی منظم صورت گرفت، باتوجه به اینکه لایه ژئوممبران در زیر لایه بتن قرار دارد هیچ گونه تخریبی در آن مشاهده نگردید.

ورق های ژئوممبران رفتار ترموپلاستیک از خود نشان می دهند؛ یعنی با تغییر دما، طول آن به صورت قابل توجهی کم و زیاد می شود. ژئوممبران HDPE ضریب انبساط حرارتی بالایی دارد و به همین دلیل در اثر گرم شدن، چین و چروک یا موج^۱ در بخش هایی از پوشش ایجاد می شود. از این رو اتصال ورق های ژئوممبران باید در دمای مناسب باشد. اتصال

¹ Wave

ژئوممبران در روزهای آفتابی و گرم می‌تواند باعث اتصال نامناسب و بالا آمدن ژئوممبران در قسمت‌های بالایی شیب‌ها شود. به هنگام نصب ژئوممبران، تابش خورشید باعث می‌شود تا ژئوممبران به طور موضعی به سمت بالا خمیده شود^۲ و بالا آمدگی‌های موجی شکل در آن تشکیل خواهد شد. در حقیقت، این چین‌ها یا بالا آمدگی‌های موضعی ورق ژئوممبران باعث جدایی آن از بستر زیرین می‌شود. این جدایی اگر چه در اثر فشار عمودی کم می‌شود؛ اما مطالعات نشان داده حتی در فشارهای عمودی ۱۱۰۰ کیلوپاسکال هم باقی می‌ماند (Soong and Koerner, 1999). شبکه چین‌ها همان‌گونه که Take et al (2007) بیان کرده‌اند، نقش قابل‌توجهی در افزایش نشت از ژئوممبران دارد به‌ویژه اگر سوراخی در روی این موج یا نزدیک آن وجود داشته باشد. همچنین در درازمدت این چین‌خوردگی‌ها می‌تواند محل پارگی در ژئوممبران شود.



شکل ۷- اجرای پوشش ژئوممبران در کانال‌های شبکه آبیاری مغان.

Fig. 7. Implementation of geomembrane covering in Moghan irrigation network channels.

نتیجه‌گیری

مانند هر نوع پروژه، نگهداری مناسب از پوشش ژئوممبران از عوامل مهم در بهره‌برداری پایدار از این پروژه است. این امر به‌خصوص در پروژه‌های ژئوممبران روباز حیاتی به شمار می‌رود. در این پروژه‌ها، جلوگیری از تخریب مکانیکی (عمدی و سهوی) در دوام و کارایی این نوع پوشش نقشی اساسی دارد. با توجه به حساسیت پوشش ژئوممبران به تخریب‌های عمدی (برش، سوختگی، ساییدگی، ضربه و دیگر موارد) این تخریب‌ها می‌تواند کارایی پوشش را در کنترل نشت تا حد زیادی پایین آورد.

با توجه به ویژگی‌های منحصربه‌فرد پوشش‌های ژئوسنتتیک، به‌ویژه ژئوممبران‌ها، در آب‌بندی کانال‌ها و دیگر مزیت‌ها مانند اجرای سریع و آسان آن‌ها، استفاده از این نوع پوشش در کشور به‌سرعت^۱ گسترش می‌یابد. از سوی دیگر، پوشش‌های ژئوممبران نیز مانند هر نوع مصالح دیگر به رعایت نکات لازم در طراحی، اجرا و بهره‌برداری نیاز دارند؛ اما مطالعات جامعی از کارایی این نوع پوشش‌ها نشده است. گسترش منطقی، استفاده مناسب و سرمایه‌گذاری بهینه در

¹ Upward buckle

این راه نیازمند ارزیابی جامع از پروژه های اجرا شده است. می دهد؛ بنابراین، پوشش های ژئوممبران اگر از نظر آب بندی نتایج این تحقیق، کارایی قابل قبول پوشش ژئوممبران خوب قابل قبول باشند، از طریق کاهش قابل توجه تلفات آب اجرا شده را در کنترل تلفات آب در کوتاه مدت نشان می توانند در بهبود بهره وری آب کشاورزی مؤثر باشند.

مراجع

- Akhavan Giglou, K., Kheiry, M., Ahmadpari, H., Abbasi, S., & Kalateh, F. (2023). Investigating virtual water content and physical and economic water productivity indicators in crops (Case study: Moghan irrigation network, Ardabil province). *Water and Soil Management and Modelling*, 3(3), 277-295. <https://doi.org/10.22098/MMWS.2023.11899.1186>
- Akhavan, K. (2012). Investigating transfer efficiency and problems of operation and maintenance of third grade canals (canals) in Moghan irrigation network. *Agricultural Engineering and Technical Research Institute*, final report of the research plan, 62 p.
- Akhavan, K., Abbasi, N., Kheiry Ghoujeh Biglou, M., & Ahmadpari, H. (2021). Investigation on conveyance efficiency and operation issues of precast concrete channels (Canalette) in Moghan irrigation network. *Irrigation and Drainage Structures Engineering Research*, 22(83), 21-42. <https://doi.org/10.22092/idser.2021.354260.1470>
- Akhavan, K., Kheiry, M., Abbasi, S., Daneshfaraz, R., & Kalateh, F. (2023). Evaluation of Hydraulic Performance and Operation of Sluice and Neyrpic Modules in Water Distribution Canals (Case Study: Moghan Irrigation Network, Ardabil). *Irrigation and Water Engineering*, 13(3), 1-22. <https://doi.org/10.22125/iwe.2023.168163>
- Branscheid, V. (1997). *Irrigation investment briefs*, FAO Investment Centre, Occasional Paper Series, No. 4, 90 p.
- Choopan, Y., Emami, S., & Kheiri ghooje bigloo, M. (2020). Evaluating Election, Imperialist Competitive Algorithms and Artificial Neural Network Method in Investigating the Groundwater Level of Reshtkhar Plain. *Amirkabir Journal of Civil Engineering*, 52(6), 1333-1246. [doi: 10.22060/ceej.2019.15344.5888](https://doi.org/10.22060/ceej.2019.15344.5888)
- Comer, A.I. (2000). Canal lining systems in irrigated agriculture, *GRID*, Vol.15, pp.4-6.
- DeMaggio, J. (1990). *Technical Memorandum: San Luis unit drainage program project files*. US Bureau of Reclamation, Sacramento, CA.
- Fipps, G., & Leigh, E. (2000). Harlingen irrigation district Cameron county no. 1, Texas, Harlingen Irrigation District, Internal record, 11p.
- Ghojeh-biglou, M. K., & Pilpayeh, A. (2019). Effect of geometric specifications of ogee spillway on the volume variation of concrete consumption using genetic algorithm. *Revista Ingeniería UC*, 26(2), 145-153.
- Giglou, K. A., Biglou, M. K. G., Mehrparvar, B., & Naghadeh, A. S. (2019). Investigating Amount of Leakage, Sediment and Durability in Geosynthetic Cover of Pumping Channel 3 at Irrigation Network of Moghan. *Revista Georaguaia*, 9(2).
- Ivy, D., & Narejo, D. (2003). Canal lining with HDPE, GFR, Vol 21, 5: (1-4).
- Kalateh, F., & Kheiry, M. (2024). A Review of Stochastic Analysis of the Seepage Through Earth Dams with a Focus on the Application of Monte Carlo Simulation. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 31(1), 47-72. <https://doi.org/10.1007/s11831-023-09972-3>
- Kalateh, F., Hosseinejad, F., & Kheiry, M. (2022). UNCERTAINTY QUANTIFICATION IN THE ANALYSIS OF LIQUEFIED SOIL RESPONSE THROUGH FUZZY FINITE ELEMENT METHOD. *Acta Geodynamica et Geomaterialia*, 19(3). <https://doi.org/10.13168/AGG.2022.0007>

- Kalateh, F., Ghamatloo, A., & Kheiry, M. (2024). Investigating the Reservoir Sediment Effects on Seismic Damage of Concrete Gravity Dams Using Nonlinear Incremental Dynamic Analysis (NIDA). *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 1-17. <https://doi.org/10.1007/s40996-024-01466-x>
- Kheiry Ghojeh Biglou, M., & Pilpayeh, A. (2020). Optimization of height and length of ogee-crested spillway by composing genetic algorithm and regression models (case study: spillway of Balarood Dam). *Irrigation and Drainage Structures Engineering Research*, 20(77), 39-56. <https://doi.org/10.22092/idser.2019.124750.1368>
- Kheiry, M., & Kalateh, F. (2023). Uncertainty Quantification of Steady-State Seepage Through Earth-fill Dams by Random Finite Element Method and Multivariate Adaptive Regression Splines. *Journal of Hydraulic Structures*, 9(2), 48-74. <https://doi.org/10.22055/jhs.2023.44288.1259>
- Mahdavi Mortazavi, M., & Jafari, M. (2006). Geomembranes are a new way to control and remove environmental pollutants from hazardous waste landfills. The first specialized conference on environmental engineering, Tehran.
- Nayak S., Sahoo B.C., Mohapatra P.K., & Pattanaik G.P. (1996). Profit potential of lining watercourses in coastal commands of Orissa. *Environment & Ecology*, 14(2):343-345.
- Nofziger D.L. (1979). The influence of canal seepage on groundwater in Lugert Lake irrigation area. Oklahoma Water Resources Research Institute, OSU.
- Rahimi, H., Sohrabi, T., & Ghobadinia, M. (2007). Application of geosynthetics in irrigation and drainage. National Irrigation and Drainage Committee of Iran. 126 p.
- Rohe, F.P. (2004). PVC Geomembrane liner placement underwater in an operating irrigation canal, Proceedings of the Peruvian International Geosynthetic Societies' "First National Congress on Geosynthetics", October 27-29.
- Salemi, H.R. (1999). Modification of the experimental equations of water leakage from the canal in the Rudasht region of Isfahan. The final report of the research project, Agricultural Engineering and Technical Research Institute, No. 522/78, 40 pages.
- Sarkar S.S., & Majumder R. (1995). Geosynthetic reinforced canal systems and irrigation structures, Proceedings Water Energy, International R&D Conference, New Delhi, India, pp. 262-274.
- Schultz, B., & DE Wrachien, D. (2002). Irrigation and drainage systems Research and development in the 21st century, *Irrig. And Drain*. 51: 311-327. <https://doi.org/10.1002/ird.67>
- Snell, M. (2001). Lining old irrigation canals: thoughts and trials, *Irrig. And Drain*. 50: 139-157.
- Soong, T. Y., & Koerner, R. M. (1999). Behavior of waves in high density polyethylene geomembranes: a laboratory study. *Geotextiles and Geomembranes*, 17(2), 81-104.
- Take, W. A., Chappel, M. J., Brachman, R. W. I., & Rowe, R. K. (2007). Quantifying geomembrane wrinkles using aerial photography and digital image processing. *Geosynthetics International*, 14(4), 219-227.
- USBR (1976). Lining for Irrigation Canals. 149p.
- USBR (2002). Canal-lining demonstration project year 10 final report, R-02-03, 230p.

Original Research**Field Evaluating the Efficacy of Geomembrane Cover in Mitigating Water Seepage in Moghan Irrigation Network Channels****K. Akhavan*, M. Kheiry, M. Mardpour, F. Kalateh**

***Corresponding Author:** Agricultural Engineering Research Department, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ardabil, Iran.

Received: 25 June 2024, **Accepted:** 28 September 2024

Email: Akhavan120@gmail.com

https://doi.org/ 10.22092/idser.2024.366199.1582

Extended Abstract**Introduction**

The performance of geomembrane liners depends on proper design, installation, and maintenance. Geomembranes exhibit thermoplastic behavior, expanding and contracting significantly with temperature changes. This can lead to issues like wrinkling and uplift, which can compromise the liner's seepage control function. Proper maintenance is also essential, as geomembranes are sensitive to mechanical damage that can greatly reduce their effectiveness. In Iran, geomembrane lining of irrigation canals has been implemented in several projects, including the Moghan Irrigation Network. However, comprehensive studies on the performance and durability of these liners are lacking. This study aimed to evaluate the effectiveness of geomembrane liners in controlling seepage from Pumping channel No. 3 of Moghan, and identify any issues related to their design, installation and operation. The results can help guide the rational expansion and optimal utilization of geomembrane lining for improving agricultural water productivity in Iran.

Literature Review

Geomembranes exhibit thermoplastic behavior, expanding and contracting significantly with temperature changes. Geomembranes layers have a high coefficient of thermal expansion, causing wrinkling or waves in parts of the liner when heated. Proper temperature is critical for seam welding to avoid inadequate bonding and uplift of the geomembrane on slopes. Long-term wrinkles can also become failure points. Proper maintenance is essential for the sustainable operation of geomembrane projects, especially for exposed liners. Preventing mechanical damage (intentional and accidental) is crucial for the liner's durability and effectiveness. Geomembranes are sensitive to intentional damage (cutting, burning, abrasion, impact, etc.) which can greatly reduce the liner's seepage control capacity.

Methodology

The Moghan irrigation network, particularly Pumping Channel No. 3, has been a focal point for evaluating hydraulic performance, seepage control, and durability in irrigation systems. This channel, which spans 28 kilometers, is crucial for drawing water from the irrigation network and has a capacity of 2.3 m³/s, irrigating approximately 3,500 ha of

Agricultural land and industrial units. Research conducted on this channel has employed the inflow-outflow method to measure average seepage rates, which were found to be around 46.86 liters per day per square meter. This rate is considered moderate, compared to other geosynthetic-lined channels, highlighting the need for ongoing maintenance and monitoring to manage water loss effectively. Field inspections have revealed significant deterioration in the channel's walls and floor, leading to operational challenges. In 1999, significant repairs were made to three critical sections of the canal, covering 8 kilometers in total. However, these repairs proved insufficient, as severe damage reoccurred within two years of service. This situation emphasizes the necessity for robust construction practices and the potential benefits of using advanced materials, such as geomembranes, to enhance the durability and performance of irrigation channels. The research indicates that while immediate repairs can address some issues, long-term solutions are essential for maintaining the integrity of the irrigation infrastructure.

Overall, the evaluation of Pumping Channel No. 3 illustrates the complexities and challenges faced in managing irrigation systems, particularly regarding hydraulic efficiency and seepage control. The findings suggest that integrating geosynthetic materials could significantly improve the channel's performance and longevity, thereby optimizing water resource management in the Moghan region. Continuous assessment and adaptation of maintenance strategies will be crucial in ensuring that the irrigation network meets the agricultural demands of the area effectively.

Results and Discussion

The average seepage rate along the canal reaches was 46.86 liters per square meter per day. No sedimentation or damage was observed during field inspections. The results demonstrate the acceptable short-term effectiveness of well-installed geomembrane liners in controlling water losses. Properly designed and maintained geomembrane liners can significantly reduce seepage, improving agricultural water productivity. However, geomembranes require careful consideration in design, construction and operation to avoid issues like thermal wrinkling and mechanical damage that can compromise their seepage control function.

Conclusion

Controlling seepage from water storage and conveyance systems is essential in water-scarce countries like Iran. Geosynthetic liners, especially geomembranes, are rapidly expanding in Iran due to their unique waterproofing capabilities and other advantages like quick and easy installation. However, comprehensive studies on the performance of these liners are lacking. Rational expansion, proper utilization and optimal investment requires comprehensive evaluation of completed projects. This study's results indicate the acceptable short-term effectiveness of well-installed geomembrane liners in controlling water losses. Therefore, geomembrane liners can contribute to improving agricultural water productivity by significantly reducing seepage, if they meet waterproofing requirements. However, long-term performance and durability require further investigation.

Keywords: Geotextile, Seepage Control, Irrigation Canal Lining, Hydraulic Performance, Water Conservation.

بررسی امکان استفاده از پساب تصفیه خانه فاضلاب در شبکه های آبیاری و زهکشی

مطالعه موردی: بوئین زهرا

بهمن یارقلی^۱، فرشید تاران^{۲*}

^{۱*} استادیار، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی؛ کرج؛ ایران
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۱۰

چکیده

به دلیل کمبود منابع آب و افزایش روزافزون تقاضا برای آن، فاضلاب تصفیه شده در صورت تامین استانداردهای کشاورزی می تواند منبع جایگزین یا تکمیلی آب به منظور رسیدن به کشاورزی پایدار باشد. در این مطالعه، با توجه به مشکل کم آبی و وجود زمین های مستعد کشاورزی در استان قزوین، به ویژه در منطقه بوئین زهرا، امکان استفاده از پساب تصفیه خانه فاضلاب شهر قزوین در شبکه آبیاری و زهکشی بوئین زهرا بررسی شد. در مرحله نخست، وضعیت محیط زیست منطقه بوئین زهرا مطالعه و پس از آن به مدت یک سال (۱۳۹۸-۱۳۹۹) هر ماه از فاضلاب خام ورودی و پساب خروجی نمونه برداری شد. تحلیل های فیزیکی، شیمیایی و میکروبی این نمونه ها برای ارزیابی کارایی تصفیه خانه فاضلاب قزوین صورت گرفت و با بررسی الگوی کشت منطقه و نیازهای کیفی محصولات کشاورزی، برنامه ای برای توسعه شبکه آبیاری و زهکشی بر اساس کمیت و کیفیت پساب تولیدی تدوین شد. بررسی ها شامل انتقال ثقلی، افت شدید آبخوان، ویژگی های خاک و الگوی کشت منطقه بود. با در نظر گرفتن این عوامل و مقبولیت اجتماعی طرح، توسعه شبکه با استفاده از ۲۰/۸ میلیون متر مکعب پساب سالانه و پوشش ۲۰۰۰ هکتار از زمین های بوئین زهرا پیشنهاد و الگوی کشت و سیستم آبیاری مناسب تعیین شد. سرانجام با توجه به اهمیت مسائل بهداشتی و زیست محیطی، برنامه ای جامع برای پایش کیفی اجزای مختلف طرح شامل پساب، خاک، محصولات کشاورزی و کارگران شاغل در پروژه تهیه و ارائه شد تا از استفاده پایدار و ایمن از این منبع اطمینان حاصل شود.

واژه های کلیدی: آبیاری، فاضلاب، کشاورزی پایدار

مقدمه

در سال های اخیر، استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه شده به عنوان راهکاری موثر برای مدیریت منابع آب مورد توجه قرار گرفته است. این راهکار می تواند منابع آب موجود برای آبیاری را افزایش دهد و برداشت از منابع آب زیرزمینی را که به کاهش کیفیت آن ها در بسیاری از مناطق کشاورزی می انجامد محدود کند. با توجه به افزایش تقاضای آب برای نیازهای مدنی، تولیدی و زیست محیطی، به ویژه در بخش کشاورزی که بیشترین مصرف آب را دارد، بازنگری در فرآیندهای تامین آب ضروری است. کشاورزی، که بخش عمده ای از آب های سطحی و زیرزمینی با کیفیت بالا را مصرف می کند، ممکن است با تغییرات اقلیمی و دوره های طولانی کاهش بارندگی و افزایش دما، نیاز به مداخلات آبیاری تکمیلی داشته باشد (Saadi et al., 2015). این موضوع می تواند منجر به افزایش برداشت از آبخوان ها در دوره های کم آبی و کاهش کیفیت آب زیرزمینی شود (FAO, 2020; IPCC, 2021). استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه شده می تواند دسترسی به آب های سطحی برای آبیاری را افزایش و نیاز به برداشت از آبخوان ها را کاهش دهد، بنابراین، منابع

استاندارد برای کشاورزی است. آنها می‌افزایند استفاده از پساب تصفیه‌خانه فاضلاب شهرکرد برای آبیاری گیاهان علوفه‌ای و صنعتی مقاوم به بی‌کربنات امکان‌پذیر است. ذوالفقاران و همکاران (Zolfagharian *et al.*, 2019) برای بررسی تاثیر پساب شهری بر کلزا و خصوصیات شیمیایی خاک سیلتي لوم، آزمایشی کردند با شش تیمار آبیاری (شامل آبیاری کامل با پساب یا ترکیب‌های مختلفی از پساب و آب چاه) در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در اراضی تحقیقاتی آستان قدس رضوی در نزدیکی تصفیه‌خانه که نتایج آن حاکی از اختلاف عملکرد دانه کلزا در تیمارهای مختلف بود. در تیمارهای با پساب بیشتر، به دلیل وجود مواد غذایی در آب آبیاری، عملکرد بیشتر بود. در این تیمارها میزان فلزات سنگین، شوری خاک، نیتروژن، فسفر قابل جذب و مواد آلی بیشتر ولی غیرمعنی‌دار بود. طاهری و همکاران (Taheri *et al.*, 2024) به منظور بررسی امکان استفاده از پساب شهری برای آبیاری فضای سبز با روش تصفیه لجن فعال، به ارزیابی کیفیت روزانه پساب تصفیه‌خانه چهل‌بازه مشهد در یک دوره ۲۳ ماهه پرداختند. نتایج تحقیق نشان داد که پارامترهای کیفی پساب این تصفیه‌خانه در محدوده استاندارد برای آبیاری فضای سبز قرار دارد و از نظر خطر میکروبی تایید می‌شود. مانگانیلو و همکاران (Manganiello *et al.*, 2024) در تحقیقی با بررسی شرایط آبیاری در یک منطقه کشاورزی مهم در جنوب ایتالیا به شناسایی مزارعی در ایتالیا پرداختند که فاضلاب تصفیه‌شده به آنها هدایت می‌شود تا به طور مؤثری استفاده از آب زیرزمینی را کاهش دهد. آنها گزارش دادند برخی از نواحی این منطقه با استفاده از شبکه‌های آبیاری پوشش داده می‌شوند، برخی به این شبکه‌ها متصل هستند اما تأمین آب کافی ندارند و از آبخوان‌های زیرزمینی نیز استفاده می‌کنند، و مناطق دیگر به شبکه دسترسی ندارند و آب زیرزمینی تنها منبع آبیاری موجود است. بررسی اقتصادی آنها نشان داد که در مزارعی که از هر دو منبع آب استفاده می‌کنند، رابطه جایگزینی بین این دو منبع به نام فاضلاب تصفیه‌شده وجود

آب زیرزمینی برای استفاده‌هایی با نیازهای کیفیت بالاتر حفظ می‌شوند. در مطالعات مختلف، چالش‌های کیفیت مرتبط با استفاده مجدد از فاضلاب شهری برای آبیاری از نظر سلامت عمومی، محیط زیست و تأثیرات اجتماعی-اقتصادی بررسی شده است (Pedro *et al.*, 2010; Topare Niraj *et al.*, 2011). رشد سریع جمعیت و شهرنشینی، مصرف زیاد آب و تغییرات اقلیمی عواملی هستند که بحران منابع آب تازه را تشدید می‌کنند. پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهند که مصرف آب در برخی مناطق جهان سریع‌تر از رشد جمعیت انسانی افزایش خواهد یافت (Islam and Karim, 2019). استفاده مجدد از فاضلاب به دلیل کمبود آب فعلی، نیاز اساسی جهانی است. تحقیقات نشان می‌دهد که ۱/۶ تا ۶/۳ درصد فاضلاب تصفیه شده جهان برای آبیاری زمین‌های کشاورزی استفاده می‌شود (Ungureanu *et al.*, 2018). این رویکرد می‌تواند به تغذیه محصولات کشاورزی کمک و از آلودگی آب جلوگیری می‌کند و فشار بر منابع آب شیرین را کاهش می‌دهد.

در مورد استفاده از پساب‌ها و فاضلاب‌ها برای آبیاری در کشاورزی، تا کنون مطالعاتی در ایران و جهان صورت گرفته است. بهبهانی‌نیا و همکاران (Behbahaniinia *et al.*, 2010) با آزمایش‌هایی در قالب بلوک‌های کامل تصادفی برای بررسی میزان جذب فلزات سنگین توسط محصولات کشاورزی آبیاری شده با پساب تصفیه‌خانه‌های جنوب تهران نشان دادند که مقدار کروم و کادمیم از محدوده مجاز بیشتر است. این محققان آبیاری با پساب را به دلیل خطر زیست‌محیطی توصیه نکردند. عسگری و الباجی (Asgari and Albaji, 2017) با بررسی امکان استفاده از پساب تصفیه‌خانه فاضلاب شهری شهرکرد برای مقاصد آبیاری، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و میکروبی پساب را یک دوره شش ماهه در سال ۱۳۹۴ به صورت ماهانه اندازه‌گیری کردند و گزارش دادند طبق استانداردهای سازمان حفاظت محیط زیست ایران، سازمان بهداشت جهانی و سازمان جهانی خواربار و کشاورزی، مقدار کلیفرم پساب خارج از محدوده

برکه‌های تثبیت طراحی شده و در زمینی به مساحت ۱۶۴ هکتار برای تصفیه فاضلاب خانگی این شهر احداث شده است. این تأسیسات در چهار مدول با ظرفیت متوسط روزانه ۱۵۵۷۹۵ مترمکعب طراحی شده است. اجزای این تصفیه‌خانه شامل ایستگاه پمپاژ فاضلاب، آشغال‌گیر، دستگاه اندازه‌گیری جریان‌های ورودی و خروجی، و واحد تصفیه بیولوژیکی متشکل از برکه‌های هوازی و اختیاری است. اصول طراحی این تصفیه‌خانه به طور خلاصه در جدول ۱ آورده شده است (Qazvin Sewage Treatment Plant Study Report, 2010).

وضعیت آب در منطقه

منابع آب کشاورزی در منطقه شامل آب زیرزمینی است که از طریق پمپاژ از چاه‌ها تأمین می‌شود. بر اساس اطلاعات جمع‌آوری شده، ۵۰ حلقه چاه عمیق و نیمه عمیق در محدوده شبکه و اراضی روستاهای مجاور وجود دارد. از این تعداد، آب ۴۰ حلقه چاه به منظور مصارف کشاورزی و بقیه چاه‌ها برای مصارف شرب استفاده می‌شود. عمق این چاه‌ها متغیر و بین ۵۰ تا ۱۵۰ متر است با آبدهی بین ۲۰ تا ۵۰ لیتر در ثانیه.

نمونه‌برداری از پساب

برای ارزیابی وضعیت و تغییرات کیفی پساب خروجی از تصفیه‌خانه فاضلاب، در دوره‌ای یک‌ساله (۱۳۹۸-۱۳۹۹) با فواصل زمانی مختلف، از پساب نمونه‌برداری و نمونه‌ها آنالیز شد. فاکتورهای کیفی مورد بررسی و فاصله‌های زمانی نمونه‌برداری در جدول (۲) آورده شده‌اند. نمونه‌برداری و آزمایش‌ها بر اساس روش‌های استاندارد ارائه شده در کتاب روش‌های استاندارد (Baird et al., 2017) صورت گرفت. پارامترهای اکسیژن محلول (DO)، اسیدیته (pH)، هدایت الکتریکی (EC)، کدورت و دما به دلیل تغییرات سریع و نیاز به اندازه‌گیری در محل، با استفاده از دستگاه‌های پرتابل در محل نمونه‌برداری اندازه‌گیری شدند.

دارد. در استان قزوین، به‌ویژه در منطقه بوئین‌زهرا، به‌رغم وجود زمین‌های مناسب برای کشاورزی، کمبود منابع آبی مسئله‌ای اساسی است. یکی از راه‌هایی که تا حدودی می‌تواند برای مقابله با این مشکل مطرح باشد، استفاده از پساب برای آبیاری در کشاورزی است. بر این اساس، در مطالعه حاضر امکان استفاده از پساب تصفیه‌خانه فاضلاب شهر قزوین در شبکه آبیاری و زهکشی بوئین‌زهرا بررسی شد. هدف کلی این تحقیق، تعیین و تبیین برنامه مناسب استفاده از فاضلاب‌های تصفیه شده خانگی در توسعه شبکه آبیاری و زهکشی است. مواردی مانند تعیین مشخصات کمی و کیفی پساب، تعیین مصارف احتمالی مختلف از پساب و تعیین محدودیت‌های کیفی برای مصارف مربوطه، چگونگی استفاده از فاضلاب تصفیه شده در توسعه شبکه آبیاری و زهکشی، انتخاب الگوی کشت مناسب با کیفیت پساب موجود، دستورالعمل مناسب برای استفاده ایمن و پایدار از فاضلاب تصفیه شده در شبکه آبیاری و زهکشی، و طراحی و برنامه پایش زیست‌محیطی و کمینه‌سازی اثرهای سوء زیست‌محیطی استفاده از این پساب در شبکه آبیاری و زهکشی مورد توجه قرار گرفت.

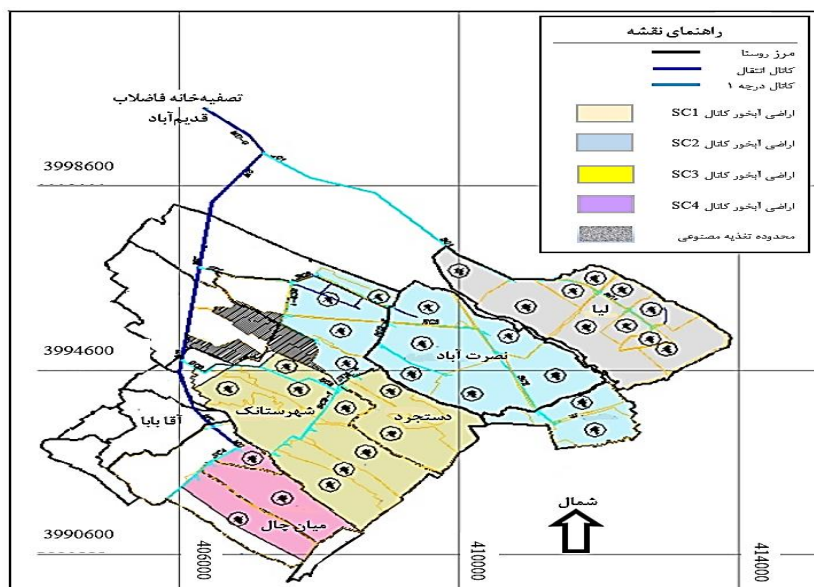
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه، تصفیه‌خانه فاضلاب شهر قزوین و شبکه آبیاری و زهکشی شکل (۱) دشت بوئین‌زهرا است که بخشی از اراضی شهرستان بوئین زهرا را تشکیل می‌دهد و در ۱۵ کیلومتری جنوب شهرستان قزوین واقع شده است. شهرستان بوئین زهرا بین ۴۹ درجه و ۳۷ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۱۹ دقیقه شرقی و ۳۵ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۱۰ دقیقه عرض شمالی با مساحت حدود ۶۰۰۰ کیلومتر مربع در جنوب دشت قزوین قرار گرفته است.

تصفیه‌خانه فاضلاب شهر قزوین

تصفیه‌خانه فاضلاب شهر قزوین بر اساس تکنولوژی



شکل ۱- پلان شبکه آبیاری

Fig. 1. The plan of the irrigation network

جدول ۱- اصول طراحی تصفیه خانه فاضلاب شهر قزوین

Table 1- The criteria of Qazvin's sewage treatment plant design

مقدار Value	واحد Unit	شرح Description
۶۸۳۳۰۹	نفر People	جمعیت Population
۲۲۲	لیتر بر نفر در روز L/person/day	سرانه فاضلاب تولیدی و نشتاب Per capita wastewater production and leakage
۱۵۵۷۹۵	متر مکعب در روز m ³ /day	متوسط مقدار فاضلاب روزانه Average daily wastewater volume
۲۳۸۵۳۰	متر مکعب در روز m ³ /day	حداکثر مقدار فاضلاب روزانه Maximum daily wastewater volume
۱۸۰۰	لیتر در ثانیه L/s	متوسط جریان لحظه ای Average instantaneous flow
۵۲	گرم بر نفر در روز g/person/day	سرانه اکسیژن خواهی بیولوژیکی (BOD) Per capita Biological Oxygen Demand
۶۳	گرم بر نفر در روز g/person/day	سرانه مواد جامد معلق (SS) Per capita Suspended Solids
۳۵۵۳۲	کیلوگرم در روز Kg/day	کل مقدار BOD Total BOD
۲۳۳	میلی گرم در لیتر mg/L	غلظت BOD BOD concentration
۴۳۰۴۸	کیلوگرم در روز Kg/day	کل SS Total SS
۲۷۹	میلی گرم در لیتر mg/L	غلظت SS SS concentration

بررسی امکان استفاده از پساب تصفیه‌خانه فاضلاب در شبکه‌های آبیاری و زهکشی - مطالعه موردی: بوئین زهرا

جدول ۲- فاصله‌های زمانی نمونه‌برداری از پساب

Table 2. The time intervals for sampling the effluent

تواتر نمونه‌برداری Sampling frequency	فاکتور Factor	تواتر نمونه‌برداری Sampling frequency	فاکتور Factor	تواتر نمونه‌برداری Sampling frequency	فاکتور Factor
۱۵ روز یک‌بار 15 times a day	BOD صاف شده Filtered BOD	فصلی Seasonal	سدیم Sodium	روزانه Daily	pH
۱۵ روز یک‌بار 15 times a day	BOD صاف نشده Unfiltered BOD	فصلی Seasonal	منیزیم Magnesium	روزانه Daily	دبی Flow rate
هفتگی Weekly	COD (اکسیژن‌خواهی شیمیایی) صاف شده Filtered chemical oxygen demand	فصلی Seasonal	کلسیم Calcium	سه بار در روز Three times a day	DO
هفتگی Weekly	COD صاف نشده Unfiltered chemical oxygen demand	فصلی Seasonal	نیتрат Nitrate	ماهانه Monthly	دما Temperat ure
فصلی Seasonal	تخم انگل Parasite eggs	فصلی Seasonal	نیتريت Nitrite	روزانه Daily	کدورت Turbidity TS (مواد جامد)
ماهانه Monthly	فیکال کلیفرم Fecal Coliform	فصلی Seasonal	نیتروژن آمونیاکی Ammonium nitrogen	هفتگی Weekly	TSS (مواد جامد معلق) Total solids and Total suspended solids
ماهانه Monthly	کلیرم کل Total Coliform	فصلی Seasonal	TKN (آمونیاک+نیتروژن آلی) Ammonia + Organic Nitro gen	فصلی Seasonal	EC
ماهانه Monthly	فلزات سنگین Heavy metals	فصلی Seasonal	فسفر Phosphorus	فصلی Seasonal	کلراید Chloride

نتایج و بحث

Health Organization, 2006) در جدول شماره ۳ آمده

است. بررسی‌ها نشان داد دلیل اصلی بالاتر بودن برخی پارامترها نسبت به استانداردهای محیط زیست نداشتن واحد گندزدایی، استفاده از خط کنارگذر و تخلیه بخشی از فاضلاب خام بدون گذراندن مراحل تصفیه، مشکلات بهره‌برداری و

ارزیابی عملکرد و ارائه راهکارهای بهبود کیفی تصفیه‌خانه فاضلاب قزوین

پارامترهای کیفی پساب خروجی از تصفیه‌خانه فاضلاب همراه با استانداردهای سازمان بهداشت جهانی (World

رعایت نکردن کامل دستورالعمل های بهره برداری است مانند:

الگوی کشت

در انتخاب الگوی کشت، علاوه بر رعایت ضوابط بهداشتی و محیط زیستی، تلاش شد محصولاتی انتخاب شوند که در الگوی کشت معمول منطقه نیز رایج هستند. با توجه به محدودیت های کیفی پساب تصفیه خانه فاضلاب قزوین و ملاحظات بهداشتی و محیط زیستی، برخی محصولات مانند سبزی و صیفی به دلیل تماس مستقیم با پساب و مصرف خام انسانی، و همچنین سیب زمینی و چغندر قند به دلیل تماس مستقیم غده ها با پساب، از نظر بهداشتی و محیط زیستی مناسب نیستند. با توجه به نوسان های احتمالی کیفیت پساب خروجی تصفیه خانه، باید محصولاتی انتخاب شوند که حتی در شرایط نوسان کیفیت آب، مقاومت کافی داشته باشند. ترجیحاً محصولاتی انتخاب شوند که تماس کمتری با پساب دارند و در صورت امکان به حالت فرآوری شده یا پخته مصرف شوند. علاوه بر این، محصولاتی که مستقیماً به مصرف انسانی نمی رسند و ریشه عمیق ندارند نیز مناسب ترند، تا در صورت نیاز به آبخویی خاک، عمق کمتری مورد نظر باشد. محصولات پیشنهادی برای استفاده از پساب تصفیه خانه فاضلاب شهر قزوین در جدول شماره ۴ آمده است. در انتخاب این الگوی کشت، علاوه بر ضوابط بهداشتی و محیط زیستی، به نیازهای منطقه ای، تجربه کشاورزان، اهمیت استراتژیک محصولات، همخوانی با سیاست های منطقه ای و سایر پارامترهای مهم نیز توجه شده است. ولی و همکاران (Vali et al., 2016) در بررسی استفاده از پساب تصفیه خانه سبزوار برای احیای اراضی بیابانی، الگوی کشت متناسب با کیفیت این پساب را پس از مقایسه با استانداردهای کیفی تعیین کردند. آنها به این نتیجه رسیدند که در سبزی های پخته شده، محصولات علوفه ای، درختان جنگلی و محصولات صنعتی، فقط پارامترهای کلیفرم کل و اکسیژن محلول به عنوان عوامل محدود کننده عمل می کنند.

کدورت بالای پساب خروجی و تولید بو، تطابق نداشتن کامل ابعاد و ضوابط طراحی مدول اول با دبی فاضلاب ورودی و در نتیجه نداشتن راندمان مطلوب، نقص در کیفیت ساخت سازه ها مانند نشت فاضلاب و ترک خوردگی بتن دیواره ها و نداشتن آزمایشگاه برای پایش مستمر عملکرد واحدهای مختلف تصفیه خانه. بهرامی و همکاران (Bahrami, et al., 2023) نیز در تحقیق خود به بالا بودن مقادیر پارامترهای کیفی پساب خروجی از تصفیه خانه فاضلاب شهر شیراز، در مقایسه با استانداردهای ملی و بین المللی، اشاره کرده اند.

برای بهبود کیفیت پساب تصفیه خانه و دستیابی به استانداردهای مورد نظر، ضروری است واحدهای گندزدایی، به ویژه کلر زنی گازی (Urban Sewage Treatment Plants Design Criteria, Revision of Criterion No. 129-3, 2024) و همچنین یک آزمایشگاه برای پایش مداوم عملکرد تصفیه خانه ایجاد شود. بازنگری در مبانی طراحی واحدهای تصفیه خانه نیز لازم است تا بهره برداری از آنها با دبی ورودی و تغییرات آن هماهنگ شود. باید زمان ماند فاضلاب در برکه ها و شرایط خروجی آنها به گونه ای مدیریت شود که از خروج مواد شناور و چربی جلوگیری شود. به علاوه، بهبود بهره برداری از تصفیه خانه می تواند شامل اقداماتی مانند تمیزکاری منظم آشغالگیرها، تخلیه به موقع لجن از برکه ها، تعمیر سازه های آسیب دیده و رفع ترک های دیواره ها باشد. نصب پارشال فلوم در خروجی و کنترل دقیق دبی ورودی و خروجی نیز اهمیت دارد. از تخلیه فاضلاب خام از طریق کنارگذر در شرایط عادی باید پرهیز شود و در شرایط اضطراری، فاضلاب قبل از استفاده مجدد باید گندزدایی شود. برای دستیابی به بهره برداری پایدار، توصیه می شود که سیستم تصفیه موجود با روش های پیشرفته تر مانند لجن فعال به روزرسانی شود و یک واحد صافی شنی نیز به سیستم اضافه گردد. این اقدامات می توانند به طور قابل توجهی

جدول ۳- مقادیر پارامترهای کیفی پساب خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب قزوین

Table 3. The values of qualitative parameters for the effluent from Qazvin's sewage treatment plant

مقدار استاندارد WHO WHO Standard Value	ضریب تغییرات Coefficient of variation	میان Median	انحراف معیار Standard deviation	حداکثر Maximum	میانگین Average	حداقل Minimum	واحد Unit	پارامتر Parameter
۶/۸-۸/۴	۰/۰۷	۸/۳۰	۰/۵۷	۸/۶۴	۸/۱۳	۷/۱۸	-	pH
<۵	۰/۱۶	۶۲/۰۰	۱۰/۲۳	۷۹	۶۲/۲۶	۵۳	NTU	کدورت Turbidity
<۷۵۰	۰/۰۲	۱۱۱۰/۰۰	۲۶/۴۴	۱۱۷۰	۱۱۲۴/۲	۱۱۰۷	μmohs/cm	EC
<۵۰۰	۰/۱۷	۸۶۱/۰۰	۱۴۶/۴۹	۱۰۶۶	۸۶۰/۶	۶۵۲	mg/L	باقیمانده خشک Dry residue
<۱۰	۰/۳۸	۷۰/۰۰	۳۲/۹۴	۱۴۴	۸۷	۶۶	mg/L	TSS
<۴۵۰	۰/۱۴	۸۰۰/۰۰	۱۱۶/۴۹	۱۰۰۰	۸۰۷/۶	۷۱۰	mg/L	TDS
<۳۰۰	۰/۰۲	۱۳۴/۰۰	۲/۹۲	۱۴۰	۱۳۵	۱۳۳	mg/L	سختی کل Total hardness
<۲۰۰	۰/۴۰	۳۳۱/۰۰	۱۳۳/۴۱	۵۰۵	۳۳۱/۲	۱۳۳	mg/L	قلیائیت کل Total alkalinity
>۲	۰/۵۰	۸/۰۰	۳/۲۹	۹/۶	۶/۵۸	۱/۸	mg/L	DO
<۱۰	۰/۱۰	۱۰۳/۸۰	۱۰/۸۳	۱۲۰	۱۰۳/۷۶	۹۰	mg/L	BOD
<۴۰	۰/۲۵	۱۷۴/۰۰	۴۵/۸۱	۲۵۴	۱۸۱/۵	۱۲۷	mg/L	COD
<۱۵	۰/۰۵	۶۲/۵۰	۳/۲۰	۶۷	۶۲/۵	۵۸	mg/L	کربن آلی کل Total Organic Carbon
<۱۰	۱/۴۸	۳/۱۰	۲۷/۰۱	۶۵	۱۸/۲۲	۲/۳	mg/L	دی‌اکسید کربن Carbon dioxide
<۰/۵	.	.	.	.	.	.	mg/L	کلر آزاد باقیمانده Free residual chlorine
<۰/۵	۰/۹۸	۱/۷۰	۳/۵۲	۹/۷	۳/۶	۱/۴	mg/L	دیترجنت‌ها Detergents
<۱۰	۰/۹۸	۱۸/۳	۳/۵۲	۲۲	۱۸/۲	۱۴	mg/L	چربی و روغن Fats and oils

<۱/۵	۰/۳۳	۰/۸۱	۰/۲۹	۱/۳۶	۰/۸۸۲	۰/۶۱	mg/L	فلوراید Fluoride
<۲۵۰	۰/۰۸	۹۹/۰۰	۷/۸۴	۱۱۰	۹۹	۸۹	mg/L	کلراید Chloride
<۰/۰۵	۰/۶۶	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۱۴	۰/۰۶۶۲	۰/۰۳۹	mg/L	بروماید Bromide
<۲۵۰	۰/۵۳	۷۵/۰۰	۳۹/۷۲	۱۱۳	۷۴/۹	۲۱	mg/L	سولفات Sulfate
<۱۰	۰/۱۴	۳۰/۰۰	۴/۰۸	۳۵	۳۰	۲۵	mg/L	نیترات Nitrate
<۱	۰/۷۰	۱۸/۰۰	۱۲/۶۰	۳۱	۱۸/۰۲	۳/۱	mg/L	نیتريت Nitrite
<۱۰	۰/۷۵	۱۱۹/۳۰	۸۹/۷۹	۲۴۰	۱۱۹/۲۶	۰	mg/L	کربنات Carbonate
<۲	۰/۱۵	۳/۰	۲/۵	۳/۵	۳/۱	۲/۵	mg/L	فسفر کل Total phosphorous
<۰/۵	۰/۵۴	۱/۷	۱/۶۵	۱/۴۵	۱/۹	۱/۶۵	mg/L	فسفات Phosphate
<۷۵	۰/۲۴	۹۶	۱۴/۸۴	۱۱۲	۹۵/۷	۷۲	mg/L	کلسیم Calcium
<۳۰	۰/۵۴	۳۴	۱۸/۵۱	۶۱	۳۴	۱۰	mg/L	منیزیم Magnesium
<۷۰	۰/۲۴	۹۷	۲۲/۸۱	۱۲۱	۹۷	۶۵	mg/L	سدیم Sodium
<۲۰	۰/۵۱	۱۲/۷	۵/۶۴	۱۵	۱۰/۹	۱/۳	mg/L	پتاسیم Potassium
<۱	۰/۴	۲۴/۲	۰/۸۹	۲۵/۱	۲۴/۲	۲۹/۲	mg/L	آمونیاک Ammonia
<۰/۰۱	-	-	-	۰/۰۵	-	<۰/۰۲	mg/L	سرب Lead
<۲	-	-	-	۰/۰۲۷	-	<۰/۰۲	mg/L	روی Zinc
<۰/۱	-	-	-	۰/۰۸	-	<۰/۰۲	mg/L	منگنز Manganese

مس	mg/L	<۰/۰۲	-	۰/۱۴	-	-	-	-	<۰/۲
Copper									
آهن	mg/L	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۱۷	۰/۳۶	۰/۰۳۱	۰/۰۳	۰/۰۳	<۰/۳
Iron									
جیوه	mg/L		غیرقابل مشاهده Undetectable	-	-	-	-	-	<۰/۰۰۱
Mercury									
کادمیم	mg/L	<۰/۰۱	-	-	-	-	-	-	<۰/۰۱
Cadmium									
کروم	mg/L		غیرقابل مشاهده Undetectable	-	-	-	-	-	<۰/۰۵
Chrome									
آرسنیک	mg/L	<۰/۰۱	-	-	-	-	-	-	<۰/۰۱
Arsenic									
مالاتیون	mg/L			<۰/۰۰۱					<۰/۱
Malathion									
پاراتیون	mg/L			<۰/۰۰۱					<۰/۱
Parathion									
کلiform کل در 100 mL									<۱۰۰۰
Total Coliforms in 100 mL									
فیکال کلiform در 100 mL									<۲۰۰
Fecal Coliforms in 100 mL									
شمار باکتری‌های									
هتروتروفیک بر mL									<۵۰۰
Count of Heterotrophic Bacteria per mL									
نماتد									
Nematodes									
عدم حضور									۰/۸۶
Absence									
									۱/۵
									۱/۲۹
									۳
									۱/۵
									۰

ولی و همکاران (Vali et al., 2016) در بررسی استفاده از پساب تصفیه خانه سبزوار برای احیای اراضی بیابانی، الگوی کشت متناسب با کیفیت این پساب را پس از مقایسه با استانداردهای کیفی تعیین کردند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که در سبزی‌های پخته شده، محصولات علوفه‌ای، درختان جنگلی و محصولات صنعتی، فقط پارامترهای کلیفرم کل و اکسیژن محلول به عنوان عوامل محدود کننده باشند.

جدول ۴- الگوی کشت پیشنهادی برای استفاده از پساب تصفیه خانه فاضلاب شهر قزوین

Table 4-The proposed cropping pattern for the use of the effluent from Qazvin's sewage treatment plant

الگوی کشت Cropping pattern	وسعت پیشنهادی (هکتار) Proposed area (hectares)	درصد مساحت Percentage of area
پنبه Cotton	۳۹۰	۱۹/۹
گندم Wheat	۱۹۰	۹/۷
جو Barley	۳۰۰	۱۵/۳
یونجه Alfalfa	۴۰۰	۲۰/۴
ذرت علوفه‌ای Forage corn	۴۸۰	۲۴/۵
ذرت دانه‌ای Grain corn	۲۰۰	۱۰/۲
کل Total	۱۹۶۰	۱۰۰

(شبکه آبیاری مورد پیشنهاد) خواهد بود (مطابق شکل ۱).

پساب از تصفیه خانه از طریق یک کانال به طول ۱۲۸۲ متر با ظرفیت ۱/۸ متر مکعب در ثانیه منتقل می‌شود. این کانال از محل خروجی تصفیه خانه آغاز می‌شود و تا کانال اصلی درجه ۱ ادامه دارد که طول آن ۶۹۰۰ متر است. پساب پس از ورود به این کانال اصلی، به محدوده شبکه آبیاری هدایت و از آنجا توسط کانال‌های درجه ۲ (SC1, SC2, SC3, SC4) در شکل ۱) در سراسر زمین‌های شبکه توزیع می‌شود. این شبکه آبیاری، زمین‌های زراعی روستاهای لیا، نصرت آباد، دستجرد، میان چال، آقابابا و شهرستانک را پوشش می‌دهد که مجموعاً ۱۹۶۰ هکتار وسعت دارند.

انتخاب روش آبیاری

با در نظر گرفتن شرایط اقلیمی، اجتماعی و فرهنگی منطقه، کیفیت پساب موجود و الگوی کشت انتخابی، آبیاری سطحی روش پیشنهادی آبیاری است. با توجه به الگوی کشت پیشنهادی که شامل ذرت، یونجه، گندم و جو است، روش آبیاری شیاری برای ذرت و روش آبیاری نواری برای گندم، یونجه و جو توصیه می‌شود.

شبکه آبیاری و زهکشی

پساب خروجی از تصفیه خانه فاضلاب قزوین تنها منبع تأمین آب برای شبکه آبیاری ۱۹۶۰ هکتاری بویین زهرا

برنامه پایش کیفی و مدیریت زیست‌محیطی پیشنهادی

به منظور استفاده پایدار از پساب تصفیه شده و جلوگیری از بروز مشکلات زیست‌محیطی در منطقه، پایش کیفی خاک اراضی شبکه، پایش بهداشتی محصولات تولیدی شبکه، پایش بهداشتی کارگران و کارکنان، پایش منابع آب زیرزمینی، ارائه برنامه‌های آموزشی و ارزیابی برنامه‌های ارتقای آموزش پیشنهاد می‌گردد (Environmental Criteria of Treated Waste Water and Return Flow (Reuse, Criterion No. 535, 2014).

محصولاتی مانند گندم، جو، یونجه و ذرت علوفه‌ای که در الگوی کشت پیشنهادی شبکه فعلی گنجانده شده‌اند یا به صورت پخته مصرف می‌شوند یا جزء محصولات علوفه‌ای هستند. برای مثال، گندم پس از فرآوری مصرف می‌شود و علوفه نیز به عنوان خوراک دام‌های مقاوم در برابر باکتری‌ها و انگل‌ها استفاده می‌شود. بنابراین، پیشنهاد می‌شود که برای این محصولات، نظارت بر میزان فلزات سنگین (کروم، کادمیم، جیوه و سرب) برقرار شود. برای محصولات علوفه‌ای، این آزمایش‌ها باید هر شش ماه یک بار (حداقل یک بار در هر دوره کشت) تکرار شود و برای دیگر محصولات الگوی کشت، نظارت فصلی ضروری است. عالی‌نژادیان و همکاران (Alinezhadian, et al., 2015) در بررسی استفاده از پساب تصفیه‌خانه فاضلاب شهرکرد برای آبیاری ذرت علوفه‌ای، به وجود برخی فلزات سنگین در خاک و اندام گیاه پی بردند. سینگ و همکاران (Singh, et al., 2010) در مطالعات خود به تجمع فلزات سنگینی مانند کروم، کادمیم و به‌ویژه روی در خاک و وجود آنها در سبزی‌های آبیاری شده با پساب در شهر واراناسی هند اشاره کرده‌اند. تجمع فلزات سنگین در خاک و گیاه در اثر آبیاری با پساب به عواملی مانند غلظت اولیه این فلزات در پساب و مدت زمان آبیاری بستگی دارد (Ibekwe, 1995; EPA, 2012). از این رو، روش آبیاری نیز می‌تواند در تعیین میزان فلزات سنگین در خاک و اندام محصول نقش مهمی داشته باشد.

نتیجه‌گیری

یافته‌های اصلی تحقیق حاضر به همراه پیشنهادها به شرح زیر خلاصه می‌شود:

عملکرد تصفیه‌خانه فاضلاب قزوین نشان می‌دهد که برخی پارامترهای کیفی پساب خروجی بالاتر از استانداردهای محیط زیست است. دلایل اصلی این موضوع نبود واحد گندزدایی، استفاده از خط کنارگذر، مشکلات بهره‌برداری و طراحی نامناسب مدول‌های تصفیه‌خانه، نشت و ترک‌خوردگی سازه‌ها، و نبود آزمایشگاه برای پایش مداوم عملکرد واحدهای مختلف تصفیه‌خانه است. برای دستیابی به استانداردهای مورد نظر، پیشنهادهایی مانند ایجاد واحد گندزدایی (به‌ویژه کلرزنی گازی)، راه‌اندازی آزمایشگاه برای پایش مداوم، بازنگری در طراحی واحدهای تصفیه‌خانه و بهبود روش‌های بهره‌برداری مانند تعمیر و نگهداری منظم و نصب تجهیزات دقیق‌تر برای کنترل دبی ورودی و خروجی ارائه می‌شود. محصولات کشاورزی باید با توجه به کیفیت پساب و موضوع‌های بهداشتی و محیط‌زیستی انتخاب شوند. محصولاتی که تماس کمتری با پساب دارند یا به صورت فرآوری شده و پخته مصرف می‌شوند، مانند گندم، جو، یونجه، و ذرت علوفه‌ای، به‌عنوان گزینه‌های مناسب پیشنهاد می‌شوند. با توجه به الگوی کشت پیشنهادی و شرایط منطقه، روش‌های آبیاری سطحی از جمله آبیاری شیاری برای ذرت و آبیاری نواری برای گندم، یونجه و جو به‌عنوان روش‌های مناسب شناسایی شدند. پیشنهاد می‌شود برای ارتقای عملکرد تصفیه‌خانه فاضلاب قزوین از روش‌های پیشرفته‌تر تصفیه و پایش کیفی مداوم به‌منظور رعایت استانداردهای زیست‌محیطی و بهداشتی بهره‌گیری شود. ارتقای دانش و آگاهی کشاورزان و کارگران از طریق برنامه‌های آموزشی و تأمین منابع مالی لازم برای توسعه شبکه‌های آبیاری و بهبود مدیریت بهره‌برداری از پساب تصفیه‌شده ضروری است.

مراجع

- Alinezhadian, A., Mohammadi, J., Karimi, A. & Nikookhah, F. (2015). Effect of municipal effluent irrigation on accumulation of indicator bacteria and some of heavy metal in soil and plant. *Molecular and Cellular Researches (Iranian Journal of Biology)*, 26 (4): 508-523. (In Farsi)
- Asgari, A. & Albaji, M. (2017). Investigation of the possibility of using wastewater for agriculture (Case study: Shahrekord municipal sewage treatment plant). *Journal of Water & Soil Conservation*, 24 (2): 303-308. (In Farsi)
- Bahrami, A., Ahadi, F., Bahrami, M. & Aghamir, F. (2023). Qualitative assessment of Shiraz wastewater treatment plant effluent for different purposes. *Environmental Sciences*, 21 (2): 29-48. (In Farsi)
- Baird, R.B., Eaton, A.D. & Rice, E.W. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 23rd Edition. American Water Works Association, 1796 pages.
- Behbahania, A., Azadi, Amin. & Sadeghian, S. (2010). Effect of irrigation with wastewater treatment plan on heavy metals content of some vegetables in Roudehen region. *Journal of Crop Production Research*, 2 (2): 165-174. (In Farsi)
- Environmental Criteria of Treated Waste Water and Return Flow Reuse, Criterion No. 535. (2014). Iran's Plan and Budget Organization. (In Farsi)
- FAO. (2020). *The State of Food and Agriculture. Overcoming Water Challenges in Agriculture*, Rome.
- Guidelines for Water Reuse. 2012. United States Environmental Protection Agency.
- Ibekwe, A.M., Angle, J.S., Chaney, R.L. & van Berkum, P. (1995). Sewage sludge and heavy metal effects on nodulation and nitrogen fixation of legumes. *Journal of Environmental Quality*, 24 (6): 1199-1204.
- IPCC. (2021). *Climate change 2021: the physical science basis*. In: Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S.L., Pean, C., Berger, S., Caud, N., Chen, Y., Goldfarb, L., Gomis, M.I., Huang, M., Leitzell, K., Lonnoy, E., Matthews, J.B.R., Maycock, T.K., Waterfield, T., Yelekci, O., Yu, R. & Zhou, B. (Eds.), *Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- Islam, S.M.F. & Karim, Z. (2019). 'World's demand for food and water: The consequences of climate change', *Desalination-challenges and opportunities*, IntechOpen, 1-27.
- Manganiello, V., Zucaro, R. & Dono, G. (2024). The use of purified wastewater for irrigation: Possible strategies in the Capitanata area (Apulia, Italy). *Agricultural Water Management*, 291: 108614.
- Pedrero, F., Kalavrouziotis, I., Alarcon, J.J., Koukoulakis, P. & Asano, T. (2010). Use of treated municipal wastewater in irrigated agriculture—review of some practices in Spain and Greece. *Agricultural Water Management*, 97 (9): 1233-1241.
- Qazvin Sewage Treatment Plant Study Report. (2010). Water and Sewage Office of Qazvin Province, Iran. (In Farsi)
- Saadi, S., Todorovic, M., Tanasijevic, L., Pereira, L.S., Pizzigalli, C. & Lionello, P. (2015). Climate change and Mediterranean agriculture: Impacts on winter wheat and tomato crop evapotranspiration, irrigation requirements and yield. *Agricultural Water Management*, 147: 103-115.
- Singh, A., Sharma, R.K., Agrawal, M. & Marshall, F.M. (2010). Risk assessment of heavy metal toxicity through contaminated vegetables from waste water irrigated area of Varanasi, India. *Tropical Ecology*, 51 (2S): 375-387.
- Taheri, S.M., Banejad, H. & Karimi Miandoab, H. (2024). Investigating the possibility of using treated wastewater in irrigation with regard to its environmental effects (A case study of the effluent from the Chehelbaze local water treatment plant). *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 6 (17): 1035-1052. (In Farsi)
- Topare, N.S., Attar, S.J. & Manfe M.M. (2011). Sewage/wastewater treatment technologies: a review. *Scientific Reviews and Chemical Communications*, 1 (1): 18-24.
- Ungureanu, N., Vladuț, V., Dinca, M. & Zabava, B.S. (2018). Reuse of wastewater for irrigation, a sustainable practice in arid and semi-arid regions. In: *Renewable Energy and Rural Development (TE-RE-RD)*. Drobeta-Turnu Severin, Romania, pp. 379-384.

- Urban Sewage Treatment Plants Design Criteria. Revision of Criterion No. 129-3. (2024). Plan and Budget Organization, Islamic Republic of Iran. (In Farsi)
- Vali, A. & Barabadi, H. (2016). Determining the cultivation pattern and evaluating the cultivated species with treated urban wastewater for the restoration of desert lands (Case study: Sabzevar sewage treatment plant). *Arid Regions Geographic Studies*, 7 (25): 37-47. (In Farsi)
- World Health Organization. (2006). *Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater: Volume 2: Wastewater Use in Agriculture*. WHO Press, Geneva, Switzerland.
- Zolfagharan, A., Haghayeghi, A. & Hamidi, H. (2019). Irrigation with treated domestic wastewater: Challenges and opportunities. *Water Management in Agriculture*, 6 (1): 37-46. (In Farsi).

Technical note

Investigating the Potential of Using Effluent of Sewage Treatment Plant in Irrigation and Drainage Networks; A Case Study of Buin Zahra

B. Yargholi, F. Taran*

***Corresponding Author:** Agricultural Engineering Research Institute (AERI); Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO); Karaj; Iran

Received: 4 August 2024, **Accepted:** 1 October 2024

Email: farshidtaran@gmail.com

https://doi.org/10.22092/IDSER.2024.366616.1585

Abstract

Due to the scarcity of water resources and ever-increasing demand for it, treated wastewater, if meeting agricultural standards, can serve as an alternative or supplementary water source for achieving sustainable agriculture. In this study, considering the water shortage problem and the presence of arable lands in the province of Qazvin, especially in the Buin Zahra region, the potential of using the effluent of Qazvin's sewage treatment plant in Buin Zahra's irrigation and drainage network was investigated. In the first phase, the environmental status of the Buin Zahra region was studied, and subsequently, for one year (2019-2020), monthly samples were taken from the raw wastewater inflow and the treated effluent. Physical, chemical, and microbial analyses of these samples were conducted to evaluate the efficiency of the Qazvin sewage treatment plant. Based on the area's cropping pattern and the quality requirements of agricultural products, a plan for the development of the irrigation and drainage network was devised, considering the quantity and quality of the produced effluent. The evaluations included gravitational transfer, significant aquifer depletion, soil characteristics, and the area's cropping pattern. Taking these factors and the social acceptance of the plan into account, the network development was proposed using 20.8 million m³ of effluent annually, covering 2000 ha of Buin Zahra's lands, and the appropriate cropping pattern and irrigation system were determined. Finally, given the importance of health and environmental issues, a comprehensive program for monitoring the quality of various components of the plan, including effluent, soil, agricultural products, and project workers, was prepared and presented to ensure the sustainable and safe use of this resource.

Keywords: Irrigation, Sewage, Sustainable agriculture



Ministry of Jihad - e - Agriculture
Agricultural Research, Education and Extension Organization
Agricultural Engineering Research Institute (AERI)

Irrigation and Drainage Structures Engineering Research

(Agricultural Engineering Research)

Vol. 25, No. 94, Spring 2024

Print ISSN: 3060-6764 Online ISSN:3060-6772

Contents

Research Paper

A Review of Water Consumption Management Indicators of different Crops in Iran

Fariborz Abbasi, Mehdi Akbari¹, Abolfazl Nasser¹, Nader Abbasi¹, Javad Baghani, Mohammad Joleini¹, Mohammad Ali Shahrokhnia¹, Mohammad Mehdi Nakhjavani¹, Salome Sepehri Sadeghian, Mabsor Moayeri, Ali Reza Hassanoghli¹, Abolghasem Haghayeghi moghadam, Ali Ghadami Firouzabadi, Hassan Mousavi Fazl, Mohamm Reza Yazdani 1

The effect of cropping pattern modification on the physical and economic productivity of crop irrigation water in Fars province (Case study: Qaderabad-Madarsolaman plain)

Amir Eslami, Abdolrasol Shirvanian, Gholam Reza Zareian 17

Investigating of the Volume of Irrigation Water, yield and water productivity in cotton fields In Razavi Khorasan province

Mohammad Jolaini, Abolghasem Haghayeghimoghadam, Mohammad Mehdi Nakhjavanimoghaddam 39

Investigating the volume of irrigation water and applied water productivity in Plum orchards of Razavi Khorasan province (Chenaran and Mashhad)

Mohammad Karimi, Salomeh Sepehri Sadeghian, Mohammad Joleini 53

Field Evaluating the Efficacy of Geomembrane Cover in Mitigating Water Seepage in Moghan Irrigation Network Channels

Keramat Akhavan, Milad Kheiry, Majid Mardpour, Farhod Kalateh 69

Technical Note

Investigating the Potential of Using Effluent of Sewage Treatment Plant in Irrigation and Drainage Networks;

A Case Study of Buin Zahra

BahmanYargholi, Farshid Taran 83

Irrigation and Drainage Structures Engineering Research (Agricultural Engineering Research)

Vol. 25 No. 94 2024

Published by: Agricultural Engineering Research Institute (AERI)

Executive Director: H. Dehghani-sanij, Associate Professor

Editor in Chief: N. Abbasi, Professor

Assistant Editor: Dr. Omid Raja

Editorial Board:

F. Abbasi	Professor, Agricultural Engineering Research Institute
N. Abbasi	Professor, Agricultural Engineering Research Institute
N. Heydari	Associate Professor, Agricultural Engineering Research Institute
A. Kiani	Professor, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center
S. Koochakzadeh	Professor, University of Tehran
M. J. Monem	Professor, Tarbiat Modares University
A. Nasser	Associate Professor, East Azerbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center
M. H. Omid	Professor, University of Tehran
A. Parvaresh Rizi	Associate Professor, University of Tehran
M. Shafai-Bejestan	Professor, Shahid Chamran University of Ahvaz

International Editorial

Board:

M. A. Sharifi	Professor, International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation (ITC), University of Twente Enschede, Netherlands
A. Torabi Haghighi	Professor, Leader of Hydrosystems Engineering & Management research group at Water, Energy, and Environmental Research unit in University of Oulu, Finland

Text Editor: M. R. Dahi

English Editor: M. R. Dahi

Coordinating Manager: A. Uossef -Gomrokchi

Typesetting & Layout: Sh. Jabbari

Reviewers:

- M. Akbari	- M.A. Shahrokhnia	- A. Kiyani	- A. Yosef Gomrokchi
- J. Baghani	- N. Abbasi	- S. Morid	
- F. Parchami Araghi	- GH. Ghorbani Nasrabadi	- M. Mohammadi	
- N. Heydari	- A. Ghadami Firozabadi	- M. Navabian	

AERI Site: www.aeri.ir

Journal Site: <http://idser.areeo.ac.ir>

E-mail: aridsej@areeo.ac.ir