



پژوهش آب در کشاورزی

Wra.areeo.ac.ir

ISSN: 2228-7140

ب / جلد ۳۵ / شماره ۴ / سال ۱۴۰۰

صفحه

عنوان

ارزیابی مدل DSSAT در برآورد بهره‌وری آب و عملکرد لویا چشم بلبلی در سطوح مختلف آب کاربردی..... ۳۲۳
فرانک برادران هزاوه، حسین بابازاده، ابراهیم امیری و حسین ابراهیمی

جریان انرژی و پتانسیل گرمایش جهانی در روش کشت نشایی و خشکه کاری برنج در سامانه‌های آبیاری..... ۳۳۷
سیده طیبه حسینی، حسین شریفان، علیرضا کیانی، نورمحمد آبیاری و محمدتقی فیض‌بخش

اثر بیوچار حاصل از منابع مختلف بر عملکرد و کارایی مصرف آب گندم..... ۳۵۷
حسن اصولی، احمد کریمی و حسین شیرانی

تأثیر کم‌آبیاری تنظیم‌شده با آب مغناطیسی بر خواص کمی، کیفی و بهره‌وری آب نخودفرنگی..... ۳۷۳
امیرحسین بداللهی، مجتبی خوش‌روش و محمدعلی غلامی سفیدکوهی

تأثیر آبیاری قطره‌ای و غرقابی بر عملکرد و بهره‌وری آب در دو روش کشت برنج در مازندران..... ۳۹۱
مهسا رحیمی پول، داود اکبری نودهی، رضا اسدی، علی باقری و فضل شیردل شهمیری

واکاوی عوامل پیش‌برنده و بازدارنده تشکیل‌های آب‌بران در شبکه‌های آبیاری استان خوزستان..... ۴۰۵
زهرا رستمیان، بهمن خسروی پور و منصور غنیان

بهره‌وری آب گندم در ایران و مقایسه آن با مقادیر چند کشور..... ۴۲۱
نادر حیدری

نشریه علمی
پژوهش آب در کشاورزی
صاحب امتیاز: مؤسسه تحقیقات خاک و آب

جلد ۳۵ شماره (۴)
۱۴۰۰

مدیر مسئول: دکتر هادی اسدی رحمانی
سر دبیر: دکتر حمید سیادت
رئیس مؤسسه تحقیقات خاک و آب
استاد پژوهش مؤسسه تحقیقات خاک و آب

اعضاء هیأت تحریریه (به ترتیب حروف الفبا):

دانشیار پژوهشی مؤسسه تحقیقات خاک و آب	دکتر نیاز علی ابراهیمی پاک
مدرس دانشگاه	دکتر محمد بای بوردی
استاد واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی تهران	دکتر ابراهیم پذیرا
دانشیار مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی	دکتر نادر حیدری
دانشیار پژوهشی مؤسسه تحقیقات خاک و آب	دکتر ناصر دواتگر
استاد واحد علوم تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی خوزستان	دکتر حیدرعلی کشکولی
استاد دانشگاه تهران	دکتر عبدالمجید لیاقت
دانشیار دانشگاه تربیت مدرس	دکتر سید مجید میر لطیفی
استاد مدعو دانشگاه سمنان	دکتر سید فرهاد موسوی
استاد سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی	دکتر محمد حسین مهدیان

چهار شماره
دکتر حمید سیادت
مهندس فاطمه آقاجانی

تعداد انتشار در سال:
ویراستار انگلیسی:
صفحه آرایی:

پایگاه الکترونیکی نشریه پژوهش آب در کشاورزی: <http://www.wra.areo.ir>
پایگاه الکترونیکی مؤسسه تحقیقات خاک و آب: www.swri.ir
آدرس الکترونیکی مجله: journalwater@yahoo.com
این نشریه در پایگاه‌های علمی زیر نمایه می‌شود:
پایگاه اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی: www.sid.ir
پایگاه استنادی علوم جهان اسلام (ISC): www.isc.gov.ir
پایگاه سیویلیکا: [https://civilica.com](http://civilica.com)
پایگاه با نك اطلاعات نشریات کشور (Magiran): [https://www.magiran.com](http://www.magiran.com)

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

- ارزیابی مدل DSSAT در برآورد بهره‌وری آب و عملکرد لوبیا چشم بلبلی در سطوح مختلف آب کاربردی..... ۳۲۳
فرانک برادران هزاوه، حسین بابازاده، ابراهیم امیری و حسین ابراهیمی
- جریان انرژی و پتانسیل گرمایش جهانی در روش کشت نشایی و خشکه‌کاری برنج در سامانه‌های مختلف آبیاری..... ۳۳۷
سیده طیبہ حسینی، حسین شریفان، علیرضا کیانی، نورمحمد آبیاری و محمدتقی فیض‌بخش
- اثر بیوپار حاصل از منابع مختلف بر عملکرد و کارایی مصرف آب گندم..... ۳۵۷
حسن اصولی، احمد کریمی و حسین شیرانی
- تاثیر کم آبیاری تنظیم‌شده با آب مغناطیسی بر خواص کمی، کیفی و بهره‌وری آب نخودفرنگی..... ۳۷۳
امیرحسین یداللهی، مجتبی خوش‌روش و محمدعلی غلامی سفیدکوهی
- تاثیر آبیاری قطره‌ای و غرقابی بر عملکرد و بهره‌وری آب در دو روش کشت برنج در مازندران..... ۳۹۱
مهسا رحیمی پول، داود اکبری نودهی، رضا اسدی، علی باقری و فضل شیردل شه‌میری
- واکاوی عوامل پیش‌برنده و بازدارنده تشکلهای آب‌بران در شبکه‌های آبیاری استان خوزستان ۴۰۵
زهرا رستمیان، بهمن خسروی‌پور و منصور غنیان
- بهره‌وری آب گندم در ایران و مقایسه آن با مقادیر چند کشور..... ۴۲۱
نادر حیدری

راهنمای تهیه مقاله برای انتشار در مجله علمی-پژوهشی پژوهش آب در کشاورزی

مجله علمی-پژوهشی "پژوهش آب در کشاورزی" به منظور افزایش آگاهی محققان و پژوهشگران آبیاری و علوم خاک و آب، ایجاد زمینه ارتقای سطح دانش و پژوهش، شناخت و معرفی اندیشه‌ها، نوآوری‌ها و خلاقیت‌های علمی-پژوهشی در سطح ملی و بین‌المللی، ایجاد ارتباط بین مراکز آموزشی، علمی-پژوهشی و انتقال و تبادل نتایج یافته‌های مربوط به بهره‌برداری پایدار از منابع آب و خاک در کشاورزی را منتشر می‌نماید.

الف) اصول کلی

- ۱- این مجله صرفاً مقالات پژوهشی منتج از پژوهش‌های نویسنده و یا نویسندگان در زمینه علوم آب و خاک در کشاورزی را منتشر می‌نماید.
- ۲- مقاله باید به زبان فارسی روان و پیراسته از غلط‌های نگارشی و نوشتاری باشد. از آوردن واژه‌های بیگانه که معادل شناخته شده فارسی دارند جداً خودداری گردد.
- ۳- مسئولیت صحت و سقم مطالب، نظرات و عقاید مندرج در مقالات به عهده نویسندگان مقاله می‌باشد. حقوق معنوی مقالات برای نویسندگان محفوظ می‌باشد.
- ۴- مقاله نباید در هیچ یک از نشریات کشور به چاپ رسیده یا همزمان برای مجلات دیگر ارسال شده باشد این مسئله باید با تأیید و تعهد کتبی نویسنده مسئول باشد.

ب) نحوه تهیه و ارسال مقاله

نحوه نگارش مقاله

- ۱- مقاله حداکثر در ۱۵ صفحه A4 با فاصله خطوط ۱/۵ و حاشیه‌های ۳ سانتی‌متر از هر طرف و به صورت تک ستونی در نرم افزار Word 2007 تایپ شود.
- ۲- نوع قلم فارسی و انگلیسی و اندازه آنها مطابق جدول (۱) استفاده شود.
- ۳- پیش از نقطه (.) و کاما (،) گذاشتن فاصله لازم نیست، لیکن پس از آنها، یک فاصله لازم است.
- ۴- اصول نگارش زبان فارسی به طور کامل رعایت شده و از به کاربردن اصطلاحات انگلیسی که معادل فارسی آنها در فرهنگستان زبان فارسی تعریف شده‌اند، حتی الامکان پرهیز گردد.

جدول ۱- نوع قلم و اندازه		
موقعیت استفاده	نام قلم	اندازه قلم
عنوان مقاله	Nazanin پر رنگ	14
متن مقاله	Nazanin	12
عناوین بخش های مقاله	Nazanin پر رنگ	12
نام مؤلفان	Nazanin پر رنگ	12
کلمه چکیده و کلمات کلیدی	Nazanin پر رنگ	12
عناوین جداول و اشکال	Nazanin پر رنگ	11
متن جداول و شکل ها و منابع	Nazanin	11
متن انگلیسی	Times New Roman	یک واحد کمتر از اندازه فارسی در هر موقعیت

نویسنده(گان) موظف هستند حداکثر ۱۵ روز پس از دریافت نظرات داوران اصلاحات لازم و یا پاسخ را ارسال نمایند. ضمناً ارسال چکیده لاتین مقاله به همراه مقاله الزامی است. ارسال نامه درخواست چاپ مقاله در مجله پژوهش آب در کشاورزی به همراه فرم تعهد نامه الزامی است. کلیه مقالات پس از دریافت اعلام وصول گردیده و جهت ارزیابی برای داوران مجله ارسال خواهد شد و پس از اتخاذ رأی داوران و تأیید هیئت تحریریه، مقاله در نوبت چاپ قرار خواهد گرفت

شناسنامه مقاله

مقالات باید شامل عنوان، چکیده فارسی و انگلیسی (حداکثر تا ۳۰۰ کلمه)، واژه‌های کلیدی (Keywords)، مقدمه، مواد و روش‌ها، نتایج، بحث و نتیجه‌گیری، تشکر و قدردانی (در صورت نیاز) و فهرست منابع باشد.

برگ شناسه

عنوان مقاله، نام، نام خانوادگی، موقعیت شغلی نگارنده(گان)، نام دانشگاه یا مؤسسه پژوهشی که نگارنده(گان) در آن اشتغال دارند، نشانی کامل نگارنده(گان) و نام و مشخصات نگارنده مسئول مکاتبات (به هر دو زبان فارسی و انگلیسی)، در یک صفحه جداگانه تایپ شود. * نگارنده مسئول باید فرم تعهدنامه را که به امضای کلیه نگارندگان رسیده به همراه مقاله ارسال کند.

عنوان مقاله

عنوان مقاله باید روان، گویا، مختصر و مفید بوده و در برگیرنده محتوای تحقیق انجام شده باشد. عنوان مقاله نباید بیش از ۲۰ کلمه باشد. در زیر عنوان نام و نام خانوادگی نویسندگان، مرتبه علمی و یا تحصیلات و وابستگی سازمانی، تاریخ، آدرس کامل پستی، شماره تلفن همراه و پست الکترونیک نویسندگان مقاله درج گردد.

دقت شود کلمه‌های تشکیل دهنده عنوان مقاله با کلمه‌های کلیدی مقاله متفاوت باشد.

چکیده: چکیده بایستی شامل حداکثر ۳۰۰ کلمه بوده و بیانگر زمینه و هدف، تحقیق روش بررسی، یافته‌ها، نتیجه‌گیری و ترجیحاً در یک پاراگراف باشد. چکیده انگلیسی باید ترجمه کامل چکیده فارسی باشد

واژه‌های کلیدی:

واژه‌های کلیدی بایستی ۳-۶ کلمه باشد. واژه‌های کلیدی چکیده انگلیسی نیز بایستی ترجمه دقیق واژه‌های چکیده فارسی باشد.

در انتخاب واژه‌های کلیدی از تکرار واژه‌هایی که در عنوان مقاله آمده است خودداری فرمایید

مقدمه

مقدمه باید دربرگیرنده اهمیت پژوهش انجام شده باشد و به بیان مسئله با مروری بر مطالعات و مشاهدات مرتبط با تحقیق که در گذشته انجام شده بپردازد و به منابع معتبری که در انتهای مقاله ذکر شده، استناد کند. در ادامه مطالب، وجه تمایز پژوهش حاضر نسبت به مطالعات قبلی و لزوم و وجوب آن و در انتهای مقدمه هدف اصلی پژوهش نگاشته شود. مقالاتی که موضوع آن تکراری بوده و در گذشته به کرات در داخل و خارج از ایران در مورد آن مطالعاتی انجام شده، در صورتی که وجه تمایز قانع کننده‌ای نداشته باشد چاپ نخواهد شد. مواد و روشها

در این قسمت باید شرح مواد و روشهای مورد استفاده در تحقیق، جامعه آماری، روشهای نمونه گیری، اندازه گیریهای آزمایشی و نحوه تجزیه و تحلیل آماری آورده شود. در صورتی که از روشهای متداول یا قبلاً منتشر شده استفاده شده باشد، از شرح جزئیات خودداری و فقط به ارائه اصول و ذکر مأخذ اکتفا شود.

نتایج

در این بخش، نتایج بدست آمده از تحقیق به صورت نوشتار همراه شکل و جدول و بدون بحث بیان گردد. از بکار بردن عنوان هایی مانند نمودار، عکس و نقشه خودداری و کلیه آنها با عنوان " شکل " درج شوند. نتایج ارائه شده در جداول یا شکلها نباید به صورت دیگری مانند منحنی و یا متن نوشتاری در مقاله تکرار گردد. هر جدول از شماره، عنوان، سرستون ها و متن جدول تشکیل می شود. یک جدول باید با خطی افقی از شماره و عنوان جدول متمایز شود. همچنین سر جدول با یک خط افقی از متن جدول جدا و در زیر متن جدول نیز یک خط افقی رسم شود. عنوان جدول در بالای آن جدول درج و پس از کلمه جدول و شماره آن، خط تیره و سپس عنوان ذکر شود. در متن جدول تا جایی که ممکن است نباید از خطوط افقی و عمودی استفاده کرد. هر ستون جدول باید دارای عنوان و واحد مربوط به کمیت آن ستون باشد. اگر همه ارقام جدول دارای یک واحد مشترک باشند، آن واحد در عنوان اصلی جدول ذکر شود. توضیحات اضافی عنوان و متن جدول به صورت زیرنویس ارائه شوند.

در نمودارها از نشانه های Δ $\square$ $\bullet$ $\blacktriangle$ به صورت توپر و توخالی استفاده شود. برای درج عنوان هر شکل، پس از کلمه شکل و شماره آن، نقطه و سپس عنوان ذکر شود. فایل Excel مربوط به نمودارها ارسال شود. اختصارات موجود در شکلها و جداول باید در زیرنویس توضیح داده شوند. تمام اعداد متن و توضیحات جداول و شکلها باید به زبان فارسی ارائه گردد. از ارسال نمودارهای رنگی جداً اجتناب نموده و از رنگهای سفید، سیاه و هاشورهای کاملاً متفاوت استفاده شود. اندازه فونت توضیحات محورهای نمودارها و اعداد به اندازه کافی بزرگ باشد تا در صورت کوچک کردن نیز خوانا باشد. جداول و نمودارها حتی المقدور در متن مقاله جاسازی شوند.

بحث

یافته های جدید و مهم باید با یافته های موجود در منابع مقایسه شود و دلایل قبول و رد آنها مورد بحث قرار گیرد، از تکرار یافته ها خودداری شود. مروری بر مقالات گذشته در این بخش گنجانده شود، محدودیت های مطالعه باید مورد توجه قرار گیرد. راهکارهای جدید و فرضیه های جدید پیشنهاد گردد، یافته های جدید و یافته های پیش بینی شده مقایسه شود. در پایان باید موارد کاربردهای عملی و تئوری نتایج حاصل از تحقیق و نتیجه کلی پژوهش بیان گردد.

تشکر و قدردانی

در این بخش نویسندگان (گان) می توانند از اشخاص، سازمانها و افراد ذیربطی که در اجرای تحقیق همکاری داشته اند، تشکر و قدر دانی نمایند. این قسمت باید کوتاه و در حدود ۵۰ کلمه باشد.

فهرست منابع

شیوه ارجاع در تمام متن مقاله بایستی به صورتی باشد که منبع مورد ارجاع در پایان جمله در داخل پرانتز به فارسی برای منابع انگلیسی و فارسی ارائه شود. برای منابع دارای دو نویسنده، نام هر دو نویسنده و منابعی که بیش از دو نویسنده دارند، نخست نام نفر اول و سپس " همکاران " و تاریخ بیان شود. مثال:

..... نتایج مشابهی توسط برخی پژوهشگران نیز گزارش شده است (کریمی و احمدی ، ۱۳۸۹)

..... نتایج مشابهی توسط سایر محققان گزارش شده است (آلوی و همکاران، ۲۰۱۰)

فهرست منابع مورد استفاده در پایان متن به صورت پیوسته و به ترتیب منابع فارسی و انگلیسی ارائه شوند. منابع مورد استفاده به ترتیب حروف الفبای نام خانوادگی نگارنده، (یا اولین نگارنده برای منابعی که بیش

از یک نگارنده دارند) زیر هم آورده شوند. چنانچه از یک نگارنده چندین منبع ذکر شود، ترتیب درج آن‌ها بر حسب سال انتشار، از جدید به قدیم است. اگر از نگارنده‌ای چندین منبع همسال وجود داشته باشد، با گذاشتن حروف a, b و c پس از سال انتشار منابع از یکدیگر متمایز شوند. چنانچه مقالات منفرد و مشترک از یک نگارنده ارائه شود، نخست مقالات منفرد و سپس مقاله‌های مشترک به ترتیب حروف الفبای نام نگارندگان بعدی مرتب شوند.

برای یک مقاله به ترتیب نام خانوادگی نگارنده، حرف اول اسم کوچک نگارنده، تاریخ انتشار، عنوان مقاله عنوان کامل مجله، شماره جلد، و اولین و آخرین صفحه مقاله ارائه شود. برای یک کتاب به ترتیب نام خانوادگی و سپس حرف اول نام کوچک نگارنده، تاریخ انتشار، عنوان کامل کتاب، شماره جلد، نام ناشر، محل انتشار و تعداد کل صفحات ارائه شود. در مورد مقاله یا کتاب‌هایی که بیش از یک نویسنده دارند به ترتیب نام خانوادگی و حرف اول نام اولین نویسنده و سپس اول نام نویسندگان بعدی و پس از آن نام خانوادگی آن‌ها ذکر شود. در مورد مرجعی که نویسنده آن مشخص نیست به جای نام نگارنده از "Anonymous" برای منابع انگلیسی و (بی نام) برای منابع فارسی استفاده شود.

چنانچه منبع ترجمه شده باشد، در فهرست منابع باید نخست نام نویسنده(گان) کتاب اصلی، عنوان مشخصات آن (به زبان انگلیسی) و سپس نام مترجم (مترجمان) ذکر شود.

مثال‌های برای تنظیم منابع

مقاله از مجله

Brennan, E.W., and W.L. Lindsay. 1998. Reduction and oxidation effect on the solubility and transformation of iron oxides. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62:930–937.

مقاله از کارگاه آموزشی یا علمی

Hanbury, A. 2002. The taming of the hue, saturation and brightness colour Space, 7th Computer Vision Winter Workshop, February 2002, Bad Aussee, Austria.

مطلب از کتاب

Lindsay, W.L. 1979. *Chemical equilibrium in soils*. John Wiley & Sons, New York.

مطلب نقل شده یک نویسنده در یک مجموعه مقالات

Logsdon, S.D., and D.A. Laird. 2003. Ranges of bound water properties associated with a smectite clay. p. 101–108. In *Electromagnetic Wave Interaction with Water and Moist Substance*. Proc. of Conf., Rotorua, New Zealand. 23–26 Mar. 2003. Industrial Research, Auckland, New Zealand.

ذکر مطلب از نویسنده‌ای در یک کتاب که نام ویراستاران روی جلد آن است

Olsen, S.R., and L.E. Sommers. 1982. Phosphorus. p. 403–427. In A.L. Page et al. (ed.) *Methods of soil analysis*. Part 2. 2nd ed. Agron. Monogr. No. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.

ذکر مطلب از اینترنت

Soil Survey Staff. 2004. NRCS soils [Online]. Available at <http://soils.usda.gov> [verified 23 Mar. 2005]. USDA-NRCS, Washington, DC.

منابع مورد استفاده در متن بدین صورت نگاشته شوند:

بای بوردی و همکاران (۱۳۸۲) گزارش کردند...

اسمیت (۲۰۰۲) گزارش کرد ...

اسمیت و جونز (۲۰۰۲) گزارش کردند...

اسمیت و همکاران (۲۰۰۲) گزارش کردند...

- در صورت عدم رعایت دقیق مطالب فوق‌الذکر، مقاله پذیرفته نمی‌شود و پیش از بررسی به اطلاع نویسنده مسئول می‌رسد. بدیهی است چنانچه مقاله ارسالی با شرایط ذکر شده تهیه و عودت داده شود مجدداً از زمان برگشت که تاریخ واقعی مقاله منظور می‌شود مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

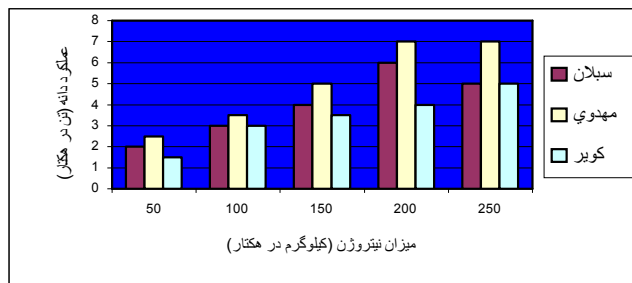
جدول نامناسب

بافت	<i>Mge xch</i>	<i>Kavail</i> .	<i>Pava il</i>	OC (%)	TNV (%)	EC (dS. m- 1)	pH	عمق (cm)
	(Mg.kg-1)							
لومی رسی	۳۰۰	۲۹۰	۳/۶	۰/۶۲	۲۸	۷/۶	۸/۲	۰-۳۰
لومی رسی	۳۰۵	۲۹۵	۰/۶	۰/۵۰	۳۰	۷/۲	۸/۲	۳۰-۶۰
لومی شنی	۲۸۶	۳۳۲	۰/۵	۰/۲۱	۳۳	۹/۵	۸/۷	۶۰-۹۰

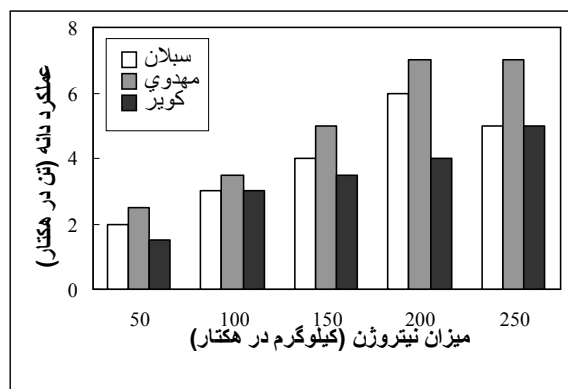
جدول مناسب

بافت	Mgex	Kav	Pav	OC (%)	TNV (%)	EC (dS.m ⁻¹)	pH	عمق (cm)
	(mg.kg ⁻¹)							
لومی رسی	۳۰۰	۲۹۰	۳/۶	۰/۶۲	۲۸	۷/۶	۸/۳	۰-۳۰
لومی رسی	۳۰۵	۲۹۵	/۶۰	۰/۵۰	۳۰	۷/۲	۸/۲	۳۰-۶۰
لومی شنی	۲۸۶	۲۳۲	/۵۰	۰/۲۱	۳۳	۹/۵	۷/۸	۶۰-۹۰

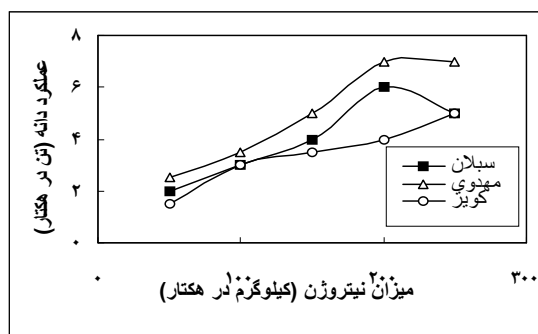
نامناسب



مناسب



مناسب



فرم تعهد نامه

نشریه پژوهش‌های آب در کشاورزی

اینجانب نویسنده مسئول مقاله زیر:

- سال‌های اجراء آزمایش ذکر شود

موارد زیر را به آگاهی می‌رسانم:

۱. کلیه تهیه کنندگان مقاله از ارسال آن به دفتر مجله شما آگاهند
۲. مقاله قبلاً در هیچ مجله داخلی و خارجی منتشر نشده است
۳. مقاله تا زمان پایان بررسی در آن مجله به مجله دیگری ارسال نخواهد شد.
۴. هیچگونه تغییری در تعداد نویسندگان یا ترتیب ذکر اسامی انجام نخواهد شد.

نام نام خانوادگی نویسنده اول: امضاء نویسنده اول مقاله

نام نام خانوادگی نویسنده دوم: امضاء نویسنده دوم مقاله

نام نام خانوادگی نویسنده سوم: امضاء نویسنده سوم مقاله

نام نام خانوادگی نویسنده چهارم: امضاء نویسنده چهارم مقاله

ارزیابی مدل DSSAT در برآورد بهره‌وری آب و عملکرد لوبیا چشم بلبلی در سطوح مختلف آب کاربردی

فرانک برادران هزاوه، حسین بابازاده^۱، ابراهیم امیری و حسین ابراهیمی

دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، گروه علوم و مهندسی آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

hezaveh.hydro2005@gmail.com

استاد، گروه علوم و مهندسی آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

h_babazadeh@hotmail.com

استاد، گروه مهندسی آب، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران.

eamiri57@yahoo.com

دانشیار، گروه عمران آب، واحد شهرقدس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

ebrahimi165@yahoo.com

دریافت: شهریور ۱۴۰۰ و پذیرش: دی ۱۴۰۰

چکیده

حبوبات بعد از گندم و برنج سهم عمده‌ای در رژیم غذایی در کشور دارند. رشد این گیاهان خیلی سریع بوده و تنش خشکی نقش مهمی در عملکرد آن دارد. هدف از این بررسی، ارزیابی مدل DSSAT در شبیه‌سازی رشد و عملکرد لوبیای چشم بلبلی در شرایط سطوح مختلف آب کاربردی است. بدین منظور، طرح آزمایشی اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در شهرستان کیشهر و در دو سال ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ انجام شد. تیمارهای اصلی شامل آبیاری با سطوح کاربردی ۴۰٪، ۶۰٪، ۸۰٪، ۱۰۰٪ و ۱۲۰٪ نیاز آبی گیاه و تیمار فرعی شامل آبیاری در مرحله رویشی، آبیاری در مرحله زایشی و آبیاری کامل بود. مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده عملکرد دانه با استفاده از آماره‌های ضریب تبیین، آزمون t، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده (nRMSE)، ارزیابی شد. نتایج نشان داد که تفاوت عملکرد دانه برآورد شده با عملکرد مشاهده شده ($RMSE = 92$ و $nRMSE = 12.62\%$) قابل قبول بود. در مورد زیست‌توده نیز با توجه به شاخص‌های آماری ارزیابی، تفاوت مزبور در حد خوبی تبیین گردید. ($RMSE = 130$ و $nRMSE = 5.91\%$). با استفاده از عملکرد دانه اندازه‌گیری شده و اجزای بیان آب شبیه‌سازی شده از مدل DSSAT، مقدار بهره‌وری آب مبتنی بر تبخیر و تعرق (WPET) حدود ۳۳٪ کمتر از بهره‌وری مبتنی بر تعرق (WPT) محاسبه شد. با توجه به نتایج تحقیق، تیمار آبیاری در هر دو مرحله رویشی و زایشی برابر ۱۰۰٪ نیاز آبی بیشترین میزان تعرق (۳۸۳ میلی‌متر) را داشت و به عنوان مدیریت بهینه آبیاری در مراحل رشد انتخاب شد.

واژه‌های کلیدی: تنش آبی، مدیریت آب، مدلسازی گیاهی

^۱ - آدرس نویسنده مسئول: گروه علوم و مهندسی آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

مقدمه

لوبیا چشم بلبلی یکی از مهم‌ترین حبوبات سرشار از پروتئین بوده که توانایی زیادی در تثبیت زیستی نیتروژن خاک دارد و شاخه و برگ آن نیز به‌عنوان غذای دام مورد استفاده قرار می‌گیرد (صادقی‌پور و بنکدارهاشمی، ۲۰۱۵). تأثیر تنش آبی روی گیاهان یک موضوع مهمی است که در سال‌های اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است. تنش آبی باعث می‌شود تا پتانسیل آب برگ و فعالیت‌های فتوسنتزی کاهش یابد. گیاهان در شرایط طبیعی با تنش‌های متعددی مواجه هستند که یکی از مهم‌ترین آن‌ها تنش آبی است. این تنش به‌عنوان مهم‌ترین عامل محدودکننده رشد و تولید گیاهان شناخته شده است. تنش خشکی منجر به کاهش فتوسنتز، هدایت روزنه، تعرق و وضعیت آب گیاه و درنهایت باعث کاهش تولید زیست‌توده در بسیاری از محصولات کشاورزی از کم‌جمله لوبیا چشم بلبلی است (داریانتو و همکاران، ۲۰۱۷). با توجه به حساسیت گیاه لوبیا به تنش خشکی، عملکرد و تثبیت نیتروژن در این گیاه در شرایط کمبود آب شدید تحت تأثیر قرار می‌گیرد (محمود فیضیان و همکاران، ۱۳۹۵). با این حال، خشکسالی در طی مراحل مختلف رشد می‌تواند تقسیم و گسترش سلول‌ها را به‌طور متفاوتی کاهش دهد که در برخی مراحل رشد کاهش عملکرد کمتر و در برخی مراحل کاهش عملکرد بیشتر شود (فاتوکون و همکاران، ۲۰۱۲). پژوهشگران دیگر نیز در آزمایش‌های خود تأثیر کمبود آب در طول دوره رشد گیاه به‌ویژه در مرحله تشکیل و پر شدن دانه را بر عملکرد آن مورد تأیید قرار دادند (مایک-پرز، ۲۰۰۲؛ سامارا، ۲۰۰۵) در پژوهشی فرام و همکاران گزارش کردند که تنش رطوبتی باعث کاهش عملکرد دانه لوبیا می‌شود، اما کاهش عملکرد بسته به زمان و شدت تنش ممکن بسیار متفاوت باشد (قرام و همکاران، ۲۰۰۴).

تنش خشکی بر روی سه ژنوتیپ لوبیا چشم بلبلی در مراحل رویشی و زایشی نشان داد که حساس‌ترین مرحله به تنش خشکی، مرحله گلدهی است

که باعث کاهش ۵۰ درصدی عملکرد دانه می‌شود، درحالی‌که تنش خشکی در مرحله رویشی، تفاوت معنی‌داری با شرایط نرمال ندارد و این نشان می‌دهد که گیاه در این مرحله می‌تواند تنش خشکی را تحمل کند. (احمد و سولیمان، ۲۰۱۰).

در آزمایشی باستوس و همکاران (۲۰۱۱) اثر تنش خشکی روی ۲۰ ژنوتیپ لوبیا چشم بلبلی در مرحله زایشی را ارزیابی کردند و نشان دادند که تنش خشکی باعث کاهش شاخص سطح برگ، میزان کلروفیل، تعداد غلاف در بوته و عملکرد دانه می‌شود. اگر چه تنش آبی باعث می‌شود تا پتانسیل آب برگ و فعالیت‌های فتوسنتزی کاهش یابد، ولی بعضی از پژوهشگران اثر کم آبیاری بر یکی از مراحل رشد را بیشتر از دیگر مراحل گزارش کرده‌اند (تانکاری و همکاران ۲۰۲۱).

استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی به دلیل هزینه پایین، سرعت بالا و در اختیار قراردادن اطلاعات کامل گزینه مناسبی برای تکمیل و توسعه نتایج آزمایش‌های مزرعه‌ای محسوب می‌شوند (کاندا و همکاران، ۲۰۲۰؛ نونز و همکاران، ۲۰۲۱؛ زائو و همکاران، ۲۰۲۰ و آکینبل، ۲۰۲۰) به‌طورکلی، هدف اصلی مدل‌های رشد و نمو گیاهان زراعی، کاربرد آن به‌عنوان ابزاری تحلیلی برای مطالعه اثر مدیریت سامانه‌های کشت روی عملکرد محصول است. برای این منظور، اغلب مدل‌های گیاهی به شبیه‌سازی بیلان آب خاک، بیلان نیتروژن گیاه-خاک، فنولوژی گیاه، رشد ریشه، عملکرد زیست‌توده، عملکرد دانه می‌پردازند (لوملینگ و همکاران، ۲۰۲۰).

مدل گیاهی DSSAT به دلیل دقت، نیاز به داده‌های ورودی نسبتاً کم، قابلیت شبیه‌سازی مراحل مختلف رشد گیاهان متعدد، امکان بررسی بیلان آب و برآورد نیاز غذایی در شرایط منطقه‌ای و مدیریتی خاص، یکی از مدل‌های توانا در این زمینه بوده و به‌طور گسترده در سطح جهان استفاده شده است (هوگنبوم و همکاران، ۲۰۱۵؛ خیر و همکاران، ۲۰۱۹ و قوام سعیدی نوقابی و همکاران، ۱۳۹۹). در حال حاضر این مدل حاوی بیش از

۴۲ مدل گیاهی بوده در بسیاری از کاربردهای مختلف زراعی، مدیریت دقیق، تغییر آب و هوا و تغییر اقلیم بر ارزیابی منطقه‌ای در بیش از ۱۰۰ کشور جهان استفاده شده است.

لوملینگ و همکاران (۲۰۱۴) از مدل DSSAT برای برآورد رشد، رشد و عملکرد گیاه لوبیا چشم بلبلی در شرایط دیم و آبی استفاده کردند و مقادیر RMSE را به ترتیب برای شبیه‌سازی زیست‌توده و عملکرد دانه، ۲۵ و ۲۰ و R^2 برای شبیه‌سازی زیست‌توده و عملکرد دانه ۰/۹۹ گزارش کردند. آن‌ها مدل را ابزاری قدرتمند در بررسی اثرات بلندمدت مدیریت‌های مختلف آب، زمان کشت و کوددهی معرفی کردند.

مدیریت منابع آب ایجاب می‌کند که از واحد حجم آب حداکثر بهره‌برداری صورت گیرد (پسیورا، ۲۰۰۶). در چنین شرایطی که کمبود آب آبیاری وجود دارد، اطلاع از واکنش گیاهان و میزان حساسیت به کم‌آبی از اهمیت به سزایی برخوردار است. میزان افت پتانسیل آبی که منجر به اثرات نامطلوب می‌شود، به نوع گیاه، مرحله رشد و فرایندی که مورد نظر است بستگی دارد.

گیاه لوبیا چشم بلبلی از حبوبات اصلی در رژیم غذایی مردم شمال کشور است که دارای رشد سریع و از جمله گیاهان حساس به کم‌آبی است که بررسی مدیریت آبیاری در آن از اهمیت زیادی برخوردار است. بر این اساس توسعه، واسنجی و صحت سنجی مدل‌های گیاهی برای درک بهتری از اثرات بلندمدت مدیریت‌های مختلف آبیاری بر ویژگی‌های عملکردی این گیاه ضروری است. لذا پژوهش حاضر با هدف ارزیابی مدل گیاهی DSSAT و شبیه‌سازی رشد و عملکرد گیاه چشم بلبلی و بهره‌وری آن در سطوح مختلف آب‌کاری در مراحل مختلف رشد آن اجرا شده است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در استان گیلان (شهرستان کاشهر) با عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۱۶ دقیقه و طول جغرافیایی

۴۹ درجه و ۵۶ دقیقه با ارتفاع متوسط ۵- متر از سطح دریا، در دو سال زراعی ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ انجام شد. داده‌های هواشناسی دوره مورد مطالعه، از ایستگاه هواشناسی کاشهر دریافت شد. قبل از آماده‌سازی زمین و مصرف کود شیمیایی، از خاک نقاط مختلف مزرعه در اعماق ۰-۶۰ سانتی‌متری برای تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک به‌طور تصادفی نمونه‌برداری انجام شد.

در این بررسی، ابتدا زمین زراعی به‌طور کامل شخم زده شد. سپس طرح آزمایشی اسپلیت پلات در قالب بلوک کامل تصادفی در ۳ تکرار در زمین اجرا شد. هر واحد آزمایشی دارای ابعاد ۴×۲/۵ متر و دارای هفت ردیف کشت بود. تیمارهای اصلی شامل آبیاری با ۴۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد نیاز آبی که به ترتیب I_1 تا I_5 نامیده شده و تیمار فرعی شامل آبیاری در مرحله رویشی (M_1)، آبیاری در مرحله زایشی (M_2) و آبیاری کامل در مرحله رویشی و زایشی (M_3) بود. منظور از آبیاری کامل این بود که در هیچ یک از مراحل رشد آبیاری قطع نمی‌شود؛ اما در دو تیمار فرعی دیگر، آبیاری فقط در مرحله رشد مورد نظر انجام می‌شد. میزان آب مصرفی در مراحل مختلف رشد و به تفکیک هر تیمار در (شکل ۱) نشان داده شده است. آبیاری به روش سطحی انجام شد. کنترل فشار و اندازه‌گیری مقدار آب آبیاری در هر تیمار به ترتیب با استفاده از شیر قابل تنظیم و کنتور حجمی صورت گرفت. برای محاسبه نیاز آبی گیاه (ETcrop) از روش پنمن مونیت فائو استفاده شد. نیاز آبی گیاه با استفاده از داده‌های هواشناسی و نرم‌افزار Cropwat8 محاسبه شد (اسمیت، ۱۹۹۲). همچنین، محاسبه تبخیر و تعرق مرجع در این نرم‌افزار بر پایه روش پنمن مونیت فائو استوار است (الن و همکاران، ۱۹۹۸). نیاز آبی گیاه در طول دوره رشد با استفاده از تبخیر و تعرق مرجع (ET_0) و ضریب گیاهی (K_c) و روش دورنبوس و پرویت (۱۹۷۷) محاسبه شد ($ET_{crop} = K_c \times ET_0$).

برای اندازه‌گیری عملکرد بیولوژیک در هر پلات پس از حذف دو ردیف کشت از طرفین، ۱۲ گیاه به‌طور تصادفی انتخاب شد. سپس غلاف‌ها، برگ‌ها و ساقه‌ها از

گیاه جدا شده و در داخل آون و در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شدند. بعد از خشک شدن، نمونه‌ها به وسیله ترازوی دقیق یک‌صدم توزین شد. عملکرد بیولوژیک برحسب گرم از مجموع وزن غلاف خشک (همراه با دانه)، وزن ساقه خشک و وزن برگ خشک، به دست آمد و سپس، به واحد کیلوگرم در هکتار تبدیل شد. برای تعیین وزن صد دانه در هر پلات، ۲۰۰ گرم غلاف خشک به عنوان نمونه انتخاب و از داخل غلاف

جدا شده و تعداد ۱۰۰ عدد بذر به‌طور تصادفی انتخاب و با ترازوی دقیق یک‌صدم توزین و برحسب گرم ثبت شد. زمان کاشت محصول هفت اردیبهشت‌ماه در هر دو سال بود و برداشت محصول در هفت چین ملاک عملکرد محصول بود. میزان آب مصرفی در طول دوره رشد گیاه از طریق آب آبیاری (تعیین مقدار آب آبیاری به‌وسیله کنتور) و مقدار بارندگی تأمین شد.



شکل ۱- میزان آب مصرفی در مراحل مختلف رشد طی دو سال آزمایش (تیمارها شامل: I1=40%, I2=60%, I3=80%, I4=100% و I5=120% نیاز آبی)

بر اساس جدول (۱)، بافت خاک محل آزمایش لومی بوده و از نظر مشخصات فیزیکی و شیمیایی برای کشت لوبیا چشم بلبلی مناسب است (سجادی و همکاران، ۱۳۹۴). همچنین، جدول (۲) اطلاعات زراعی و شکل‌های (۲) و (۳) ویژگی‌های هواشناسی محل انجام طرح را نشان می‌دهد. بر اساس توصیه کودی آزمایشگاه خاک، کود اوره و سوپر فسفات تریپل، کلرید پتاسیم و گوگرد عنصری به ترتیب ۱۰۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم بر هکتار چند روز قبل از کاشت به خاک اضافه شد.

توصیف مدل DSSAT^۲

مدل DSSAT یک مدل رشد گیاه در سامانه زراعی است که در سیستم حمایت از تصمیم انتقال فناوری

کشاورزی (DSSAT-CSM^۳) قرار دارد. تمام مدل‌های ویژه تعداد زیادی از گیاهان زراعی را با یکدیگر ترکیب می‌کند. مدل DSSAT فرآیندهای مربوط به گیاه زراعی و خاک را توصیف می‌کند. شماری از ورودی‌های مدل باید توسط آزمایش‌ها مزرعه‌ای تخمین زده و اندازه‌گیری شوند. مدل DSSAT می‌تواند به‌طور گسترده‌ای برای تعیین تأثیر شرایط محیطی، تصمیمات مدیریتی و ژنتیک گیاه بر همدیگر و بر رشد و نمو گیاهان از جمله لوبیا چشم بلبلی مورد استفاده قرار می‌گیرد (هوگنبوم و همکاران، ۲۰۰۳). داده‌های ورودی مدل شامل داده‌های هواشناسی، ویژگی‌های خاک محل آزمایش و اطلاعات مربوط به عملکرد و فنولوژی اندازه‌گیری گیاه می‌شود. داده‌های هواشناسی شامل دمای حداقل و حداکثر، بارش و تابش خورشیدی است.

^۳ -Cropping System Model

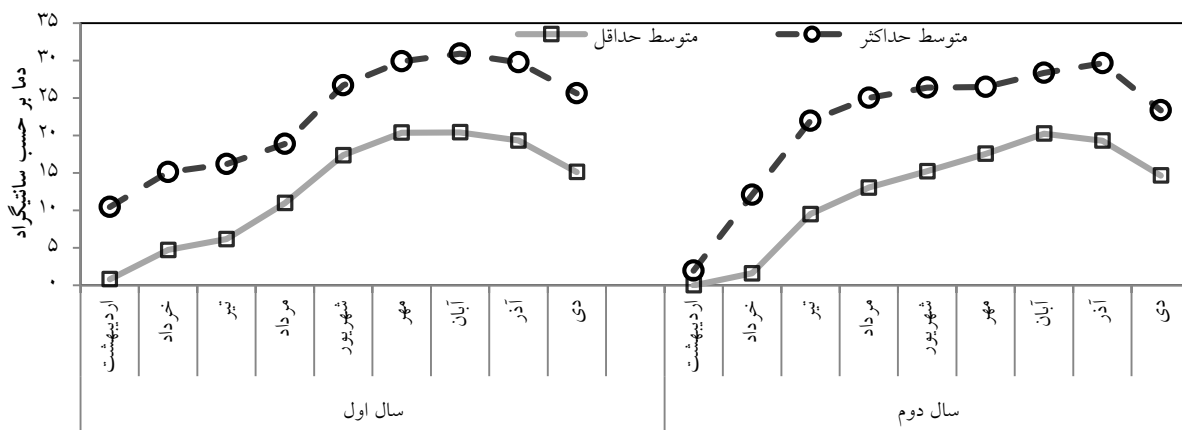
^۲ -Decision Support System for Agro technology Transfer

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایشگاه قبل از کاشت محصول لوبیا چشم بلبلی

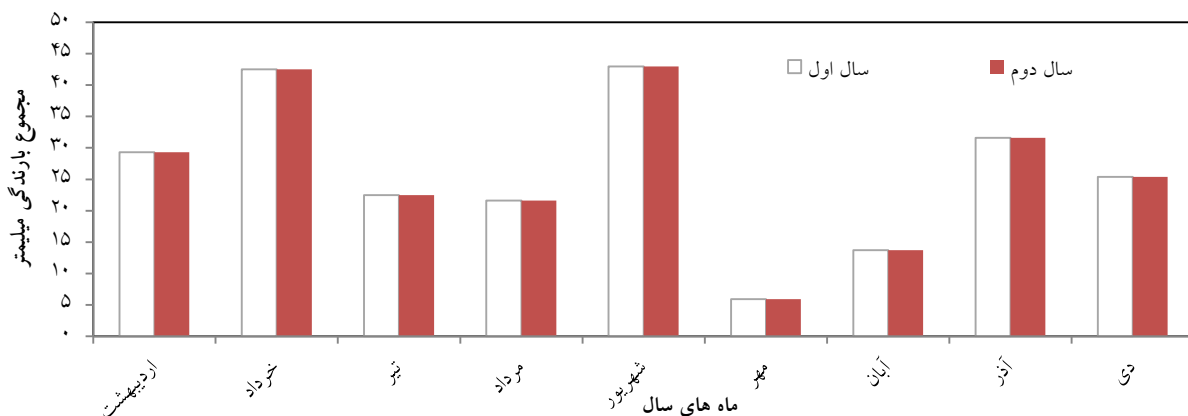
ویژگی‌های خاک	۴۵-۶۰	۳۰-۴۵	۱۵-۳۰	۵-۱۵	۰-۵
عمق (cm)					
بافت	لوم	لوم	لوم	لوم	لوم
شن (%)	۴۹	۴۹	۴۹	۴۹	۴۹
سیلت (%)	۳۲	۳۲	۳۲	۳۲	۳۲
رس (%)	۱۹	۱۹	۱۹	۱۹	۱۹
چگالی ظاهری (g cm^{-3})	۱/۴۷	۱/۴۶	۱/۴۶	۱/۴۰	۱/۳۶
رطوبت اشباع (%) حجمی	۴۵/۲	۴۵/۲	۴۵/۹	۴۵/۹	۴۵/۹
رطوبت در نقطه ظرفیت زراعی (%) حجمی	۲۵/۹	۲۵/۹	۲۵/۷	۲۵/۷	۲۵/۷
رطوبت در نقطه پژمردگی (%) حجمی	۱۲/۶	۱۲/۶	۱۳/۷	۱۳/۷	۱۳/۷
pH	۵/۸	۵/۸	۵/۷	۵/۴	۵/۳
کربن آلی (%)	۱/۴۳	۱/۴۳	۱/۴۳	۱/۴۳	۱/۴۳
نیترژن کل (%)	۰/۰۹۱	۰/۰۹۱	۰/۰۸۳	۰/۰۸۳	۰/۰۸۳
فسفر قابل جذب (ppm)	۶/۰۹	۶/۰۹	۶/۰۶	۶/۰۶	۶/۰۶
پتاسیم قابل جذب (ppm)	۲۲۸	۲۲۸	۲۳۰	۲۳۰	۲۳۰

جدول ۲- مشخصات زراعی محصول لوبیا چشم بلبلی

سال زراعی	تاریخ کاشت	تاریخ جوانه زنی	تاریخ گل‌دهی	تاریخ برداشت	کل طول دوره رشد - روز ^۴
۱۳۹۶	۱۳ خرداد	۱۹ خرداد	۲۱ مرداد	۱۳ مهر	۱۲۶
۱۳۹۷	۱۳ خرداد	۱۹ خرداد	۲۲ مرداد	۱۸ مهر	۱۲۶



شکل ۲- حداقل و حداکثر دمای هوا ($^{\circ}\text{C}$) ماهانه طی دوره‌های رشد لوبیا چشم بلبلی در فصل‌های رشد ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ (به ترتیب به چپ به راست)



شکل ۳- بارش ماهانه در دوره‌های رشد لوبیا چشم بلبلی در فصل‌های رشد ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷

که در آن‌ها: مقادیر مشاهده شده (O_i) و شبیه‌سازی شده (S_i), تعداد داده (n) است.

بیان و بهره‌وری آب

برای محاسبه اجزای بهره‌وری آب از روابط زیر استفاده شد (سینگ و همکاران، ۲۰۰۶):

$$WP_T = Yg/T \quad (3)$$

$$WP_{ET} = Yg/E+T \quad (4)$$

$$WP_I = Yg/I \quad (5)$$

$$WP_{I+R} = Yg/I+R \quad (6)$$

$$WP_{ETQ} = Yg/E+T+Q \quad (7)$$

که در آن‌ها:

WP_T , WP_{ET} , WP_{I+R} , WP_I اجزای بهره‌وری آب، Yg : مقدار عملکرد دانه (kg), T : مقدار تعرق واقعی (m^3), E : مقدار تبخیر (m^3), Q : مقدار نفوذ عمقی (m^3) و I : مقدار آبیاری (m^3) است.

نتایج و بحث

واسنجی و ارزیابی مدل

ضرایب ژنتیکی به‌دست‌آمده از واسنجی مدل DSSAT برای گیاه لوبیا چشم بلبلی در جدول (۳) آمده است. قابلیت استفاده از مدل DSSAT در سال‌های مختلف برای شبیه‌سازی عملکرد لوبیا و همچنین شبیه‌سازی

واسنجی و ارزیابی مدل DSSAT

مدل DSSAT با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده سال ۱۳۹۶ واسنجی و ارزیابی مدل بر پایه داده‌های سال ۱۳۹۷ انجام شد. به‌منظور ارزیابی نتایج شبیه‌سازی مدل DSSAT از ترکیب روش‌های گرافیکی (رگرسیون) و آماری استفاده شد. با توجه به این‌که هیچ‌کدام از پارامترهای مدل تاکنون بر اساس این دو سال آزمایش‌کالیبره نشده است، ارزیابی عملکرد مدل می‌تواند به‌عنوان اعتبار واقعی موردتوجه قرار گیرد (آکونپ و همکاران، ۲۰۱۰). ترکیبی از اقدامات گرافیکی و آماری می‌تواند نشان دهد که چگونه یک مدل شبیه‌سازی انجام می‌شود (بومن و ون لار، ۲۰۰۶). به‌صورت گرافیکی عملکرد دانه شبیه‌سازی‌شده و اندازه‌گیری شده، میزان زیست‌توده در برداشت ارزیابی‌شده است. در این بررسی از آماره‌های میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی‌شده، انحراف معیار (SD) مقادیر مشاهده (O_i) و شبیه‌سازی‌شده (S_i), شیب α , رهگیری β و ضریب تبیین (R^2) خط رگرسیون خطی بین شبیه‌سازی‌شده و مقادیر اندازه‌گیری شده استفاده شد. میانگین مربع خطاهای مطلق و نرمال شده ($RMSE$) و $RMSEn$ نیز محاسبه شد:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}{n}} \quad (1)$$

$$RMSE_n = 100 \left(\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2 / n \right)^{0.5} / \bar{O} \quad (2)$$

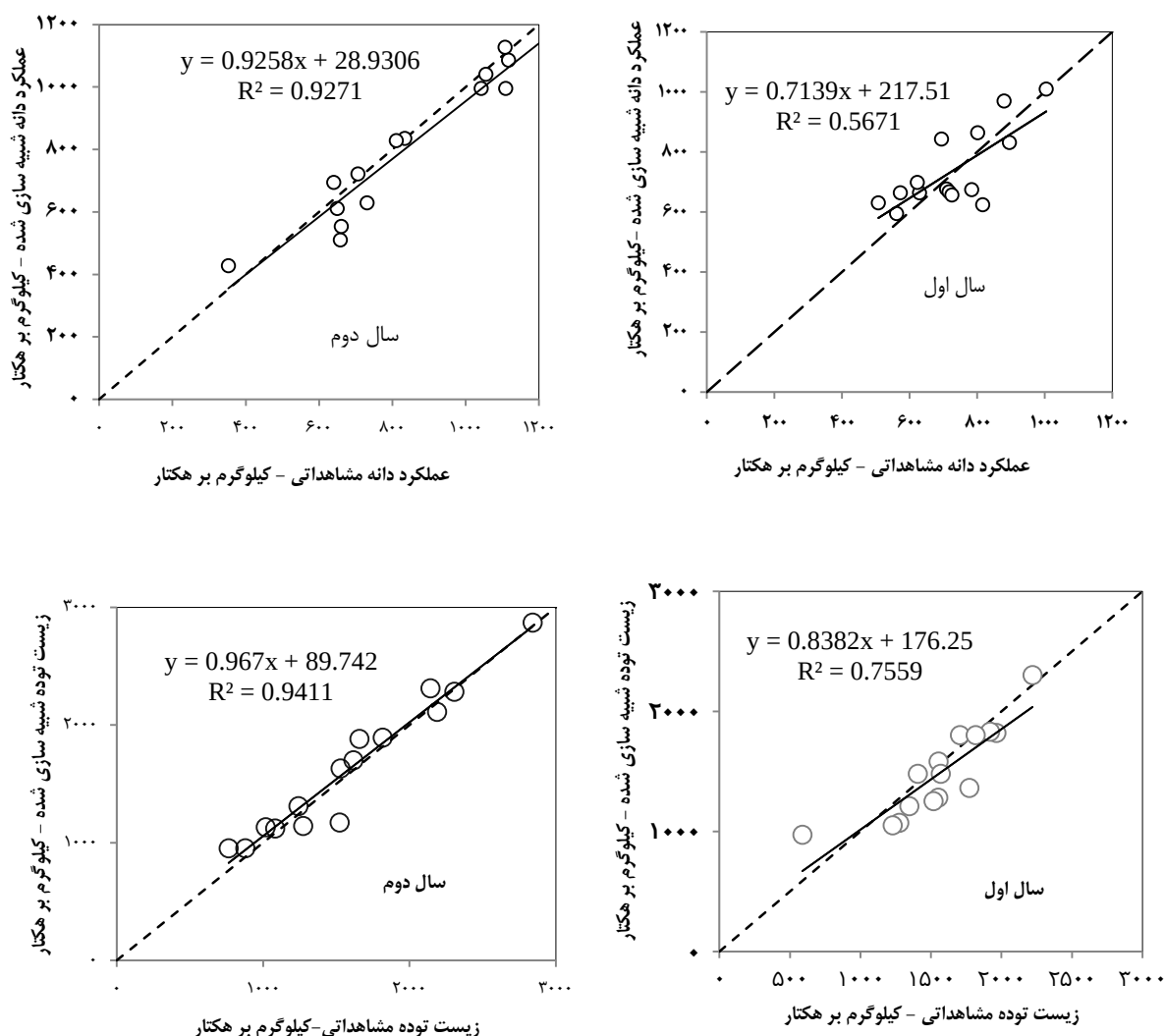
مقادیر مطلق و نرمال شده RMSE قابل قبول (جدول ۴)، شیب خط برازش یافته نزدیک به ۱ و β بالا (شکل ۴)، این مدل شبیه سازی زیست توده و عملکرد دانه را بسیار خوب انجام داده است. NRMSE بر حسب درصد بیان می شود و اختلاف میان داده های مشاهده ای و شبیه سازی شده به متوسط داده ها را نشان می دهد. اگر این مقدار کمتر از ۱۰ درصد باشد، شبیه سازی بسیار خوب، اگر بین ۱۰ تا ۲۰ درصد باشد، شبیه سازی خوب، اگر بین ۲۰ تا ۳۰ درصد باشد، شبیه سازی نسبتاً خوب و اگر بالای ۳۰ درصد باشد، شبیه سازی ضعیف ارزیابی می شود (سولر و همکاران، ۲۰۰۷).

زیست توده کل لوبیا در سال های مختلف تحت مدیریت- های آبیاری در مراحل مختلف رشد گیاه یادشده در شکل (۴) نشان داده شده است.

جدول (۴) نتایج ارزیابی شبیه سازی عملکرد و زیست توده با مدل DSSAT برای شرایط واسنجی و اعتبار سنجی را نشان می دهد. نتایج نشان داد که عملکرد دانه برآورد شده با نتایج مشاهده شده ($RMSE = 92$ و $RMSEn = 12.62\%$) دارای اختلاف قابل قبولی بود. ماده خشک نیز به خوبی شبیه سازی شد ($RMSE = 130$ و $RMSEn = 5.91\%$). مقدار خطا در مرحله اعتبارسنجی کاهش یافته که دلیلی بر قبول نتایج مدل است. با عنایت به

جدول ۳- ضرایب ژنتیکی واسنجی شده برای لوبیا چشم بلبلی

ضریب	توصیف	پارامترهای ژنتیکی
۱۲/۸	طول روز کوتاه حیاتی که در زیر آن بدون اثر طول روز رشد ادامه می یابد (برای گیاهان روز کوتاه) (ساعت)	CSDL
۰/۲۹۴	نسبت پاسخ رشد به دوره نوری با زمان (مثبت برای گیاهان روز کوتاه) (در هر ساعت)	PPSEN
۳۶/۱۴	زمان بین ظهور گیاهچه و ظهور گل (R1) (روزهای فتوترمال)	EM-FL
۲/۵۰	زمان بین اولین گل و اولین غلاف (R3) (روزهای فتوترمال)	FL-SH
۵/۲۰	زمان بین اولین گل و اولین دانه (R5) (روزهای فتوترمال)	FL-SD
۴۸/۱۷	زمان بین اولین دانه (R5) و بلوغ فیزیولوژیکال (R7) (روزهای فتوترمال)	SD-PM
۱۷	زمان بین اولین گل (R1) و پایان رشد برگ (روزهای فتوترمال)	FL-LF
۱	حداکثر سرعت فتوسنتز برگ در ۳۰ درجه سانتی گراد، ۳۵۰ ولتاژ در دقیقه CO2 و نور زیاد (میلی گرم دی اکسید کربن/مترمربع-ثانیه)	LFMAX
۸۰	سطح برگ خاص رقم در شرایط رشد استاندارد (گرم/سانتی متر مربع)	SLAVR
۱۳۳	حداکثر اندازه برگ کامل (سه برگچه) (سانتی متر مربع)	SIZLF
۱	حداکثر کسری از رشد روزانه که به دانه + پوسته تقسیم می شود	XFRT
۰/۶۸	حداکثر وزن در هر دانه (گرم)	WTPSD
۱۴/۹۰	مدت زمان پر کردن بذر برای گروه غلاف در شرایط رشد استاندارد (روزهای فتوترمال)	SFDUR
۵/۲۰	بذر متوسط در هر غلاف در شرایط رشد استاندارد (بذر/غلاف)	SDPDV
۳۵	زمان لازم برای رقم برای رسیدن به بار غلاف نهایی در شرایط بهینه	PODUR
۶۶/۶	حداکثر نسبت (بذر / (بذر + پوسته) در زمان بلوغ. باعث می شود که بذر با افزایش وزن خشک آن ها رشد کند تا زمانی که پوسته ها در یک گروه پر شوند.	THRESH
۰/۳	نسبت پروتئین در دانه (گرم پروتئین/گرم دانه)	SDPRO
۰/۰۶۵	نسبت روغن در دانه (گرم روغن/گرم دانه)	SDLIP



خط برازش - - - - - خط یک به یک

شکل ۴- ارزیابی مدل DSSAT برای شبیه‌سازی عملکرد و زیست‌توده کل لوبیا چشم بلبلی در مدیریت‌های آبیاری در مراحل مختلف رشد

داد که میزان $RMSE_n$ ، $RMSE$ برای عملکرد دانه در مرحله صحت سنجی مدل به ترتیب برابر با ۵۴۱ کیلوگرم در هکتار، ۱۰ درصد بود. قوام سعیدی نوقابی و همکاران (۱۳۹۹) پس از واسنجی و صحت سنجی مدل DSSAT مقدار $NRMSE$ را برای تاریخ‌های گرده‌افشانی و رسیدگی فیزیولوژیک، حداکثر شاخص سطح برگ و عملکرد دانه، بسیار خوب (کمتر از ۱۰ درصد)، برای عملکرد بیولوژیک،

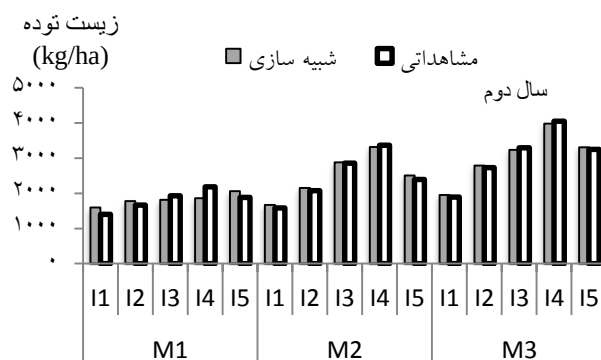
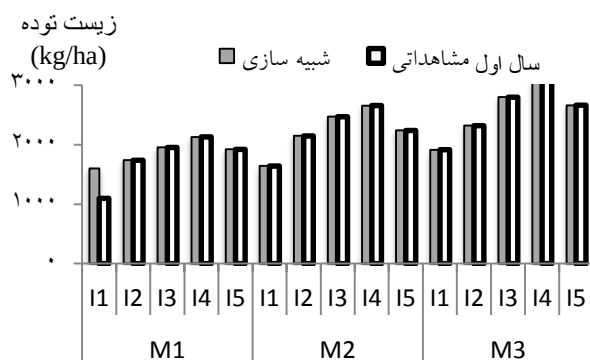
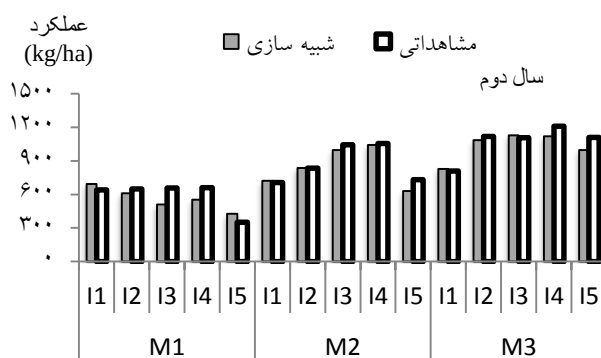
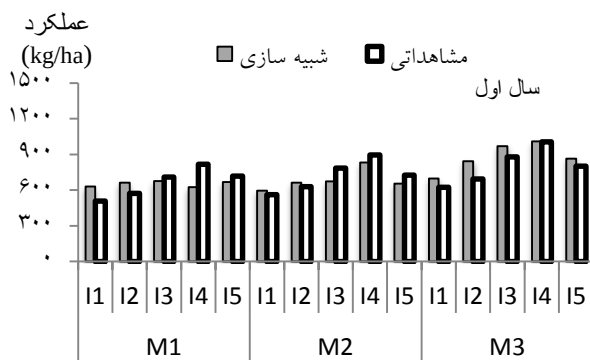
آزمون تی $P(t)$ بیشتر از ۰/۰۵ است که می‌توان نتیجه گرفت که تفاوت معنی‌داری بین داده‌های شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده نیست. همچنین، میانگین مربعات خطا از انحراف معیار مقادیر واقعی باید کمتر باشد که نتایج ارزیابی دقت معادلات در مدیریت‌های آبیاری در مراحل مختلف رشد گویای آن است. نتایج پژوهش سعادت و همکاران (۱۳۹۵) در شبیه‌سازی عملکرد ارقام گندم تحت تیمارهای آبیاری در منطقه مشهد نشان

به آماره‌های ارائه شده در جدول ۴ با دقتی قابل قبول شبیه‌سازی کرده است. همانند نتایج شبیه‌سازی عملکرد دانه، عملکرد بهتر مدل در شبیه‌سازی زیست‌توده کل محصول در سال ۱۳۹۷ و در مرحله صحت سنجی به دست آمد.

خوب (بین ۱۰ تا ۲۰ درصد) و برای ماده خشک تولیدی، نسبتاً خوب (بین ۲۰ تا ۳۰ درصد) گزارش کرده‌اند. عملکرد دانه شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده و همین‌طور برای زیست‌توده کل در شکل (۵) ارائه شده است. مدل DSSAT عملکرد دانه را در سال ۱۳۹۷ با توجه

جدول ۴- ارزیابی شبیه‌سازی عملکرد و زیست‌توده با مدل DSSAT برای شرایط واسنجی و اعتبارسنجی

سال	Crop variables	تعداد تیمار	مشاهده شده	شبیه‌سازی شده	Sd _o	CVs	α	β	R ²	RMSE (kg.ha ⁻¹)	RMSEn (%)
واسنجی											
۱۳۹۶	زیست توده کل (kg.ha ⁻¹)	۱۵	۲۱۹۹	۲۲۳۳	۵۳۹	۲۱/۳	۰/۸۶۳	۳۳۳/۵	۰/۹۵	۱۳۰	۵/۹۱
	عملکرد (kg.ha ⁻¹)	۱۵	۱۵۶۲	۱۴۸۵	۱۳۸	۲۴/۹	۰/۷۱۳	۲۱۷/۵	۰/۵۷	۹۲	۱۲/۶۲
صحت سنجی											
۱۳۹۷	زیست توده کل (kg.ha ⁻¹)	۱۵	۲۴۳۷	۲۴۶۰	۷۸۳	۳۰/۳	۰/۹۶۷	۱۶۸/۷	۰/۹۷	۱۲۹	۵/۲۹
	عملکرد (kg.ha ⁻¹)	۱۵	۸۴۵	۸۱۱	۲۴۷	۳۵/۸	۰/۹۲۵	۲۸/۹	۰/۹۳	۷۳	۸/۶۱

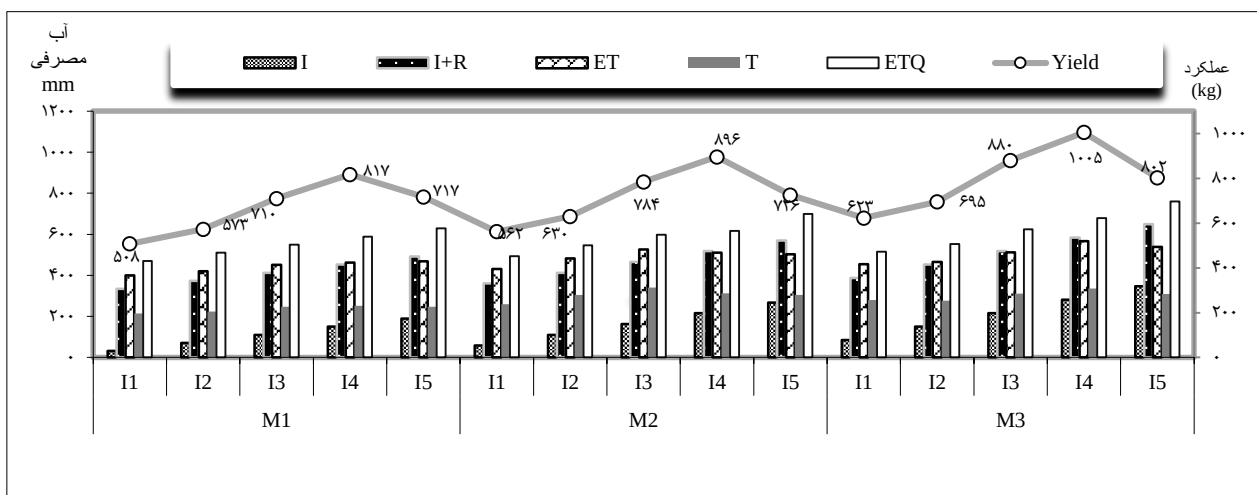


شکل ۵- شبیه‌سازی عملکرد و زیست‌توده کل لوبیا چشم بلبلی در مدیریت‌های آبیاری در مراحل مختلف رشد با استفاده از مدل DSSAT (که در آن: آبیاری در مرحله رویشی (M1)، آبیاری در مرحله زایشی (M2) و آبیاری کامل در مرحله رویشی و زایشی (M3) و تیمارها آبیاری شامل: I1=40%، I2=60%، I3=80%، I4=100% و I5=120% نیاز آبی گیاه)

بیان آب

مقادیر بیان آب و عملکرد در مدیریت‌های آبیاری و تراکم‌های مختلف در شکل (۶) نشان داده شده است. در این بررسی، از مدل شبیه‌سازی DSSAT برای بررسی بهره‌وری آب و اجزای بیان آب در گزینه‌های مدیریتی تراکم و آبیاری استفاده شد. نتایج مدل نشان داد که مقدار تبخیر (E) ۲۲-۴۷ درصد مقدار تبخیر و تعرق (ET) است. عملکرد فیزیولوژیکی متغیر گیاه لوبیا چشم بلبلی در سطوح مختلف آب کاربردی در مراحل مختلف رشد و شرایط محیطی متغیر، منجر به نیازهای تعرق

مختلف شده و متعاقب آن مقدار تعرق (T) در گیاه تغییر می‌کند. تغییر روش آبیاری منجر به افزایش مقدار تعرق (T) می‌شود. بررسی مقدار تعرق در سطوح مختلف آب کاربردی در مراحل مختلف رشد نشان داد که مقدار تعرق در محدوده ۲۰۳-۳۸۳ میلی‌متر متغیر است؛ بیشترین میزان تعرق (T) در تیمار I₄M₃ به میزان ۳۸۳ میلی‌متر مشاهده شد (شکل ۶). نتایج مشابه توسط صالحی (۱۳۸۰) و نورعلی نژاد و همکاران (۲۰۱۹) نیز گزارش شده است. نتایج این آزمایش گویای آن است که عملکرد دانه در لوبیا با تنش کم‌آبی، به شدت آسیب می‌بیند.



شکل ۶- مقادیر عملکرد و بیان آب در مدیریت‌های آبیاری و دوره‌های رشد مختلف (که در آن: آبیاری در مرحله رویشی (M1)، آبیاری در مرحله زایشی (M2) و آبیاری کامل در مرحله رویشی و زایشی (M3) و تیمارها آبیاری شامل: I₁=40%, I₂=60%, I₃=80%, I₄=100% و I₅=120% نیاز آبی گیاه)

بررسی مقدار نفوذ عمقی (ETQ) در سطوح مختلف آب کاربردی در مراحل مختلف رشد نشان داد که مقدار نفوذ عمقی (ETQ) در محدوده ۲۸۹-۷۵۹ میلی‌متر متغیر است؛ نتایج مقدار نفوذ عمقی در دوره مورد مطالعه نشان داد که حداکثر مقدار تلفات آب از طریق نفوذ عمقی (ETQ) در سطح آب کاربردی با ۱۲۰ درصد نیاز آبی مشاهده شد.

بهره‌وری

مقادیر بهره‌وری آب در مدیریت‌های آبیاری در مراحل مختلف رشد در جدول (۵) ارائه شده است. بهره‌وری آب

بر اساس میزان تعرق بر روی مکانیسم گیاه بحث می‌کند و بستگی به نوع گیاه دارد. در نتیجه، WPT برای گیاه چشم بلبلی، متغیر قابل‌سنجش بوده که به شرایط اکوهیدرولوژیکی بستگی دارد. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که مقدار WPT در محدوده ۰/۱۳-۰/۳۸ کیلوگرم دانه به ازای هر متر مکعب تعرق متغیر است. این شاخص را وظیفه‌دوست و همکاران (۱۳۸۷) به ترتیب برای گندم، ذرت علوفه‌ای، آفتابگردان و چغندر قند ۱/۱۸، ۳/۳۸، ۰/۳۳ و ۱/۷۲ گزارش کردند. همچنین ابراهیمی‌راد و همکاران (۱۳۹۸) این شاخص را برای گیاه برنج ۱/۰۹ برآورد کردند. بهره‌وری آب بر اساس میزان تبخیر و تعرق بر روی مسائل

مربوط به خاک و گیاه و سایه‌انداز بحث می‌کند و بستگی به نوع خاک و اقلیم و گیاه دارد. کمبود اجتناب‌ناپذیر آب به علت تبخیر از سطح آب و خاک اشباع (E)، منجر به کاهش بهره‌وری آب از WP_T به WP_{ET} می‌شود؛ به‌طور متوسط مقدار WP_{ET} ، ۳۳ درصد کمتر از WP_T است.

متوسط مقدار اجزای بهره‌وری آب مبتنی بر آبیاری، تبخیر و تعرق، تعرق و مجموع تبخیر و تعرق و نفوذ عمقی (WP_{ETQ} ، WP_T ، WP_{ET} ، WP_{I+R} ، WP_I) به ترتیب ۰/۶۷، ۰/۲۵، ۰/۱۹، ۰/۲۸ و ۰/۱۷ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمد. تنش آبی باعث می‌شود تا پتانسیل آب برگ و فعالیت‌های فتوسنتزی کاهش یابد. تنش رطوبتی در گیاهان تابعی از میزان حساسیت آن‌ها در مراحل مختلف رشد است. به‌طور کلی تجمع ماده خشک در لوبیا چشم بلبلی با افزایش شدت تنش رطوبتی، کاهش می‌یابد (امیدی و سپهری، ۱۳۹۳). در

پژوهشی فنایی و همکاران (۲۰۱۷) در آزمایش‌های خود تأثیر کمبود آب در طول دوره رشد گیاه را بر عملکرد آن مورد تأیید قرار داده‌اند. زوارت و باستیانسن بررسی‌هایی بر روی بهره‌وری مصرف آب در محصولات مختلف انجام دادند و مشخص کردند که بهره‌وری مصرف آب دارای دامنه تغییرات گسترده‌ای برای گیاهان مختلف است (زوارت و باستیانسن، ۲۰۰۴). به‌طور کلی تیمارهای تحت تنش خشکی نسبت به تیمارهای بدون تنش کارایی مصرف آب بالاتری داشتند که این امر می‌تواند به دلیل میزان کمتر آب به‌کاربرده شده در این تیمارها باشد. احمد و سلیمان، افزایش کارایی مصرف آب را در نتیجه اعمال تنش خشکی گزارش کرده‌اند. آن‌ها علت این آمار را دلایل متعددی از جمله به‌هدررفت آب از طریق تبخیر و تعرق و نفوذ عمقی بیشتر در تیمار آبیاری کامل دانستند (احمد و سلیمان، ۲۰۱۰).

جدول ۵- مقادیر بهره‌وری آب در مدیریت‌های آبیاری در مراحل مختلف رشد

سال											
تیمار		۱۳۹۶					۱۳۹۷				
		WP _I	WP _{I+R}	WP _{ET}	WP _T	WP _{ETQ}	WP _I	WP _{I+R}	WP _{ET}	WP _T	WP _{ETQ}
M1	I1	۱/۵۸	-/۱۵	-/۱۳	-/۲۴	-/۱۱	۲/۱۳	-/۴۵	-/۲۲	-/۳۱	-/۲۲
	I2	-/۸۰	-/۱۵	-/۱۴	-/۲۶	-/۱۱	-/۹۷	-/۳۶	-/۲۱	-/۳۰	-/۲۰
	I3	-/۶۴	-/۱۷	-/۱۶	-/۲۹	-/۱۳	-/۶۳	-/۳۰	-/۲۱	-/۳۰	-/۱۸
	I4	-/۵۵	-/۱۸	-/۱۸	-/۳۲	-/۱۴	-/۴۸	-/۲۶	-/۲۱	-/۳۰	-/۱۷
	I5	-/۳۸	-/۱۵	-/۱۵	-/۲۹	-/۱۱	-/۲۰	-/۱۲	-/۰۹	-/۱۳	-/۰۸
M2	I1	-/۹۷	-/۱۶	-/۱۳	-/۲۲	-/۱۱	۱/۲۹	-/۴۲	-/۲۳	-/۳۰	-/۲۳
	I2	-/۵۷	-/۱۵	-/۱۳	-/۲۱	-/۱۲	-/۸۰	-/۳۸	-/۲۵	-/۳۳	-/۲۵
	I3	-/۴۸	-/۱۷	-/۱۵	-/۲۳	-/۱۳	-/۶۹	-/۴۰	-/۲۷	-/۳۵	-/۲۷
	I4	-/۴۲	-/۱۷	-/۱۸	-/۲۹	-/۱۵	-/۵۲	-/۳۳	-/۲۶	-/۳۴	-/۲۵
	I5	-/۲۷	-/۱۳	-/۱۴	-/۲۴	-/۱۰	-/۲۹	-/۲۰	-/۱۹	-/۲۶	-/۱۶
M3	I1	-/۷۴	-/۱۶	-/۱۴	-/۲۲	-/۱۲	۱/۰۳	-/۴۲	-/۲۶	-/۳۴	-/۲۶
	I2	-/۴۶	-/۱۵	-/۱۵	-/۲۵	-/۱۳	-/۸۱	-/۴۵	-/۲۹	-/۳۸	-/۲۹
	I3	-/۴۱	-/۱۷	-/۱۷	-/۲۸	-/۱۴	-/۵۵	-/۳۵	-/۲۶	-/۳۴	-/۲۵
	I4	-/۳۶	-/۱۷	-/۱۸	-/۳۰	-/۱۵	-/۴۶	-/۳۲	-/۲۴	-/۳۱	-/۲۴
	I5	-/۲۳	-/۱۲	-/۱۵	-/۲۶	-/۱۱	-/۳۴	-/۲۵	-/۲۳	-/۳۱	-/۱۹

(که در آن: آبیاری در مرحله رویشی (M1)، آبیاری در مرحله زایشی (M2) و آبیاری کامل در مرحله رویشی و زایشی (M3) و تیمارها آبیاری شامل: I1=40%، I2=60%، I3=80%، I4=100% و I5=120% نیاز آبی گیاه)

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که مدل DSSAT از توانایی و دقت قابل قبولی (خطای کمتر از ۱۰ درصد) برای شبیه‌سازی عملکرد لوبیا چشم بلبلی در

سطوح مختلف آب‌کاری در مراحل رشد گیاه برخوردار است. نتایج نشان داد که به‌منظور بهبود بخشیدن بهره‌وری آب لوبیا چشم بلبلی، کاهش میزان جزء تبخیر از تبخیر و تعرق کل حائز اهمیت است. همچنین در بین سطوح

مختلف آب کاربردی، آبیاری با مدیریت ۱۰۰ درصد نیاز
آبی = I₄ و آبیاری کامل (در مرحله رویشی و زایشی) M₃=
بهره‌وری تعرق (W_{P_T}) برابر ۰/۳ کیلوگرم در مترمکعب
گزینه مناسب آب کاربردی برای گیاه چشم‌بلبلی در منطقه
طرح آزمایشی است.

فهرست منابع

۱. ابراهیمی راد، ح.، و بابازاده، ح.، و امیری، ا.، و صدقی، ح. ۱۳۹۸. ارزیابی بیلان و بهره‌وری آب برنج تحت مدیریت‌های آبیاری و تراکم کاشت با استفاده از مدل‌های Ceres-Rice و ORYZA2000. مجله آبیاری و زهکشی ایران، ۱۳(۱)، ۱۶۵-۱۷۶. <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=489582>
۲. امیدی، ف. و سپهری، ع. ۱۳۹۳. تأثیر کاربرد نیتروپرو ساید سدیم بار سطح برگ، رشد و کارایی مصرف آب ارقام لوبیا قرمز تحت تنش کم‌آبی. به زراعی کشاورزی، دوره ۱۶، شماره ۴، ۸۵۵ - ۸۷۱. doi: 10.22059/jci.2015.53252
۳. سجادی، ز.، موسوی، س. و معاف پوریان، غ. ۱۳۹۴. نقش بافت و مقدار ماده آلی خاک (خاک‌برگ) بر توانایی *Trichoderma longibrachiatum* در تحریک رشد گیاه لوبیا قرمز و کنترل نماتد *Meloidogyne javanica*. دانش گیاه پزشکی ایران (علوم کشاورزی ایران)، ۴۶(۲)، ۲۲۷-۲۴۰. <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=268444>
۴. سعادت، ز.، دلبری، م.، امیری، ا.، پناهی، م.، رحیمیان، م. ح. و قدسی، م. ۱۳۹۵. ارزیابی مدل CERES-Wheat در شبیه‌سازی عملکرد ارقام گندم تحت تیمارهای مختلف آبیاری. مجله حفاظت منابع آب‌وخاک. ۵(۳): ۷۳ - ۸۵.
۵. صادقی‌پور، ا. و بنکدارهاشمی نیلگون. ۱۳۹۴. بررسی اثر کاربرد برا سینولید در تحمل به خشکی لوبیا چشم بلبلی (*Vigna unguiculata* L. Walp). مجله علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۷(۲۶): ۵۷-۷۰.
۶. قوام سعیدی نوقابی، س.، یعقوب‌زاده، م.، شهیدی، ع.، حمامی، ح. و کلانکی، م. ۱۳۹۹. ارزیابی مدل DSSATv4.7 در شبیه‌سازی مراحل فنولوژیکی و عملکرد گندم رقم آنفارم ۴ تحت سطوح مختلف آبیاری. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۱۴(۲)، ۵۴۸-۵۵۸.
۷. محمد فیضیان، م.، همتی، ا.، اسدی رحمانی، ه. و عزیزی، خ. ۱۳۹۵. بررسی اثرات سویه‌های باکتری ریزوبیوم در عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا چیتی در شرایط تنش خشکی. طرح تحقیقاتی. ایستگاه تحقیقات کشاورزی اقلید.
۸. وظیفه دوست، م.، و علی زاده، ا.، و کمالی، غ.، و فیضی، م. ۱۳۸۷. افزایش بهره‌وری آب کشاورزی در مزارع تحت آبیاری منطقه برخوار اصفهان. آب‌وخاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۲(۲)، ۴۸۴-۴۹۵. <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=91265>
9. Ahmad, F.E. and Suliman, A.S.H. 2010. Effect of water stress applied at different stages of growth on seed yield and water-use efficiency of Cowpea. Agriculture and Biology Journal of North America, 1(4):534-540.
10. Ahmadpour Abnvi, S., Ramroudi, M., Galavi, M. and Shamsaddin Saied, M. 2019. Effect of biological and chemical phosphorus fertilizer on yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under low irrigation conditions. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 29(1):269-284.
11. Akinbile, C.O. 2020. Crop water requirements, biomass and grain yields estimation for upland rice using CROPWAT, AQUACROP and CERES simulation models. Agricultural Engineering International: CIGR Journal, 22(2):1-20.

12. Akponikpe, P.B., Gerard, B., Michels, K. and Biielders, C. 2010. Use of the APSIM model in longterm simulation to support decision making regarding nitrogen management for pearl millet in the Sahel. *European Journal of Agronomy*, 32 (2):144–154.
13. Allen, R., Pereira, L.A, Raes, D., and Smith, M. 1998. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. FAO, Rome, Italy.
14. Bastos, E.A., Nascimento, S.P., Silva, E.M., Filho, F.R.F. and Gomide, R.L. 2011. Identification of cowpea genotypes for drought tolerance. *Revista Ciência Agrônômica*, 42(1):100-107.
15. Bouman, B. A. M. and Van Laar, H.H. 2006. Description and evaluation of the rice growth model ORYZA2000 under nitrogen-limited conditions, *Agricultural Systems*, 87:249–273.
16. Ceritoğlu, M. and Erman, M. 2020. Determination of some agronomic traits and their correlation with yield components in cowpea. *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, 34(2):154-161.
17. Daryanto, S., Wang, L. and Jacinthe, P.A. 2017. Global synthesis of drought effects on cereal, legume, tuber and root crops production: a review. *Agric. Water Management*, 179:18–33.
18. Doorenbos, J. and Pruitt, WO. 1977. Guidelines for predicting crop water requirements. FAO. Irrigation and Drainage, Italy, Rome, Paper No. 24.FAO. 2010. FAOSTAT. Available in <http://faostat.fao.org/> [28 May 2010].
19. Fanaei, H.R., Azmal, H. and Piri, I. 2017. Effect of biological and chemical fertilizers on oil, seed yield and some agronomic traits of safflower under different irrigation regimes. *Journal of Agroecology* 8(4): 551-566.
20. Fatokun, C.A., Boukar, O., Muranaka, S., 2012. Evaluation of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) germplasm lines for tolerance to drought. *Plant Genet. Res.* 10:171–176.
21. Frahm, M.A., Rosas, J.C., Mayek-Perez, M., Lopez- Salinas, E., Acosta-Gallegos, J.A. and Kelly, J.D. 2004. Breeding beans for resistance to terminal drought in the lowland tropics. *Euphytica*, 136(2): 223-232.
22. Hoogenboom, G., Jones, J. W., Porter, C. H., Wilkens, P. W., Boote, K. J., Batchelor, W. D., Hunt, L. A. and Tsuji, G. Y. 2003. Decision Support System for Agrotechnology Transfer version 4.0. Volume 1: Overview. University of Hawaii, Honolulu, HI, 2.
23. Jones, J.W., Hoogenboom, G., Porter, C.H., Boote, K.J., Batchelor, W.D., Hunt, L.A., Wilkens, P.W., Singh, U., Gijsman, A.J. and Ritchie, J.T. 2003. The CERES-WHEAT cropping system model. *European Journal of Agronom*, 18:235-265.
24. Kanda, E. K., Senzanje, A. and Mabhaudhi, T. 2020. Calibration and validation of the Aqua Crop model for full and deficit irrigated cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 102941.
25. Lomeling, D. and Huria, S.J. 2020. Using the DSSAT-CROPGRO model to simulate gross margin and N-leaching of cowpea fertigated with human urine. *Archives of Agriculture and Environmental Science*, 5(1): 1-10
26. Lomeling, D., Kenyi, M.M., Abass, A.A., Otware, S.M., Khater, Y and .M, 2014. Using the CROPGRO model to predict phenology of cowpea under rain-fed conditions. *International Journal of Plant & Soil Science*, 3:824-844.
27. Mayek-Perez, N., Garica-Espinosa, R., Lopez-Castanda, C., Acosta-Gallegos, J.A. and Simpson, J. 2002. Water relations, histopathology and growth of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) during pathogenesis of *Macrophomina phaseolina* under drought stress. *Physiological and Molecula Plant Pathology* 60: 158-195.
28. Nouralinezhad, A.R., Babazadeh, H., Amiri, E. and Sedghi, H. 2019. The yield evaluation and water productivity on common bean and cowpea in irrigation management condition and nitrogen fertilizer. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 13(4):1010-1026.
29. Nunes, H. G. G. C., Farias, V. D. S., Sousa, D. P., Costa, D. L. P., Pinto, J. V. N., Moura, V. B. and Souza, P. J. O. P. 2021. Parameterization of the AquaCrop model for cowpea and assessing the impact of sowing dates normally used on yield. *Agricultural Water Management*, 252, 106880.

30. Passioura, J. 2006. Increasing crop productivity when water is scarce-from breeding to field management. *Agriculture Water Management*, 80:176-196.
31. Samarah, N.H. 2005. Effects of drought stress on growth and yield of barley. *Agronomy for Sustainable Development*, 25:145-149.
32. Singh A.K., Tripathy R. and Chopra. U.K. 2008. Evaluation of CERES-Wheat and CropSyst models for water– nitrogen interactions in wheat crop. *Agricultural Water Management*, 95:776-786.
33. Singh R., Van Dam, J.C. and Feddes, R.A. 2006. Water productivity analysis of irrigated crops in Sirsa district, India, *Agriculture Water Management*, 82:253-278
34. Smith M. 1992. CROPWAT, a computer program for irrigation planning and management. FAO irrigation and Drainage, Italy, Rome. Paper No. 26.
35. Soler, C.M.T., Sentelhas, P.C., and Hoogenboom, G. 2007. Application of the CSM-CERES-Maize model for planting date evaluation and yield forecasting for maize grown off-season in a subtropical environment. *European Journal of Agronomy*, 27(2-4):165-177.
36. Stoyanov, Z.Z. 2005. Effects of water stress on leaf water relations of young beans. *Central European Agriculture*, 6(1):5-14.
37. Tankari, M., Wang, C., Ma, H., Li, X., Li, L., Soothar, R.K., Cui, N., Zaman-Allah, M., Hao, W., Liu, F. and Wang, Y., 2021. Drought priming improved water status, photosynthesis and water productivity of cowpea during post-anthesis drought stress. *Agricultural Water Management*, 245:p.106565
38. Zalaghi, A., Marashi, S.K. and Mojaddam, M. 2020. Investigation Effect of Different Level of Vermicompost and Manure on Seed Yield and Its Components of Cowpea (*Vigna unguiculata* L.). *Journal of Crop Nutrition Science*, 6(2):44-57.
39. Zhao, Y., Mao, X. and Shukla, M.K. 2020. A modified SWAP model for soil water and heat dynamics and seed–maize growth under film mulching. *Agricultural and Forest Meteorology*, 292, 108127
40. Zwart, S.J. and Bastiaanssen, W.G.M. 2004. Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton and maize. *Agricultural Water Management*, 69(2):115-133.

جریان انرژی و پتانسیل گرمایش جهانی در روش کشت نشایی و خشکه کاری برنج در سامانه‌های مختلف آبیاری

سیده طیبه حسینی، حسین شریفان^۱، علیرضا کیانی، نورمحمد آبیاری و محمدتقی فیض‌بخش

دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، دانشکده آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران.

tayyeb.hosseini@gmail.com

دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران.

h_sharifan@gu.ac.ir

استاد پژوهش بخش تحقیقات فنی و مهندسی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج، گرگان،

ایران. akiani71@yahoo.com

استادیار پژوهش گروه تحقیقات اقتصادی و اجتماعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش، گرگان،

ایران. abyarnm@yahoo.com

استادیار بخش زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان،

ایران. Feyz_54@yahoo.com

دریافت: مرداد ۱۴۰۰ و پذیرش: آذر ۱۴۰۰

چکیده

کارایی استفاده از انرژی یکی از مهمترین عوامل برای کشاورزی پایدار است. در این پژوهش، در شهرستان گرگان استان گلستان، میزان ورودی و خروجی انرژی و پتانسیل گرمایش جهانی^۲ (GWP) در روش‌های تولیدی کشت نشایی و کشت مستقیم برنج در سامانه‌های آبیاری بارانی، غرقابی و قطره‌ای بررسی شد. با توجه به نتایج، میانگین انرژی ورودی و خروجی برای سامانه‌های مختلف آبیاری در تیمار نشا گلخراپ بیشتر از تیمارهای دیگر بود و بیشترین میزان انرژی ورودی و خروجی مربوط به سامانه آبیاری قطره‌ای به ترتیب برابر ۳۶۳۶۶ و ۲۴۹۹۷۱ مگاژول در هکتار بود. بیشترین سهم انرژی مصرفی در سامانه‌های مختلف آبیاری و کشت متعلق به نهاده آب آبیاری و کودهای شیمیایی بود. همچنین، نتایج نشان داد که شاخص کارایی انرژی برای تیمارهای مختلف بین ۷/۳۵-۵/۰۵ کیلوگرم بر مگاژول بود. کارایی انرژی برای سامانه‌های آبیاری تحت فشار در روش نشا غیرگلخراپ و برای سامانه‌های آبیاری غرقابی در روش نشا گلخراپ بیشتر بود. همچنین، بهره‌وری انرژی تیمارهای مختلف بین ۰/۲۴-۰/۱ کیلوگرم بر مگاژول بود. با توجه به نتایج مقایسه میانگین، بهره‌وری انرژی تیمارهای نشا گلخراپ و نشا غیرگلخراپ با هم اختلاف معنی‌داری نداشته و بیشتر از تیمارهای خشکه‌بذری بود. مقادیر انرژی ویژه و خالص انرژی برای تیمارهای مختلف به ترتیب بین ۱۰/۲-۴/۲۹ مگاژول بر کیلوگرم و ۲۱۳۸۲۵-۱۱۲۷۸۵ مگاژول بر هکتار بود. تیمار نشا گلخراپ برای تمام سامانه‌های آبیاری بیشترین پتانسیل گرمایش جهانی را داشت. در کشت برنج، بیشترین سهم در پتانسیل گرمایش جهانی مربوط به استفاده از کود نیتروژن، سوخت و ادوات و ماشین‌آلات بود. نتایج مقایسه میانگین پتانسیل گرمایش جهانی در واحد سطح، وزن، انرژی ورودی و انرژی خروجی نشان داد که سامانه‌های آبیاری تحت فشار با شیوه کشت نشا غیرگلخراپ (به دلیل مصرف نهاده کمتر و عملکرد مشابه با کشت نشا گلخراپ) می‌توانند روش مناسبی برای کشت برنج و کاهش مصرف انرژی و پتانسیل گرمایش جهانی آن باشند.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری انرژی، انرژی ورودی-خروجی، نشا گلخراپ برنج

^۱ - آدرس نویسنده مسئول: گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران.

^۲ - Global warming potential

مقدمه

ایران به عنوان سیزدهمین کشور پرمصرف انرژی در جهان شناخته شده است. مصرف انرژی در کشور پنج برابر میانگین جهانی است و وضعیت مصرف انرژی با اصول مربوط به ارتقای بهره‌وری و بازدهی انرژی در جهان، مغایرت دارد. قیمت کم حامل‌های انرژی و در دسترس بودن انواع منابع انرژی سبب شده تا جامعه ما با تأخیر قابل توجهی به ضرورت بهینه‌سازی الگوی مصرف انرژی بیندیشد (رمضانی امیری و زیبایی، ۱۳۹۰). با توجه به بروز بحران انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از مصرف بی‌رویه سوخت‌های فسیلی تمام تلاش‌ها بر آن است که مصرف انرژی تا حد ممکن کاهش یابد. بخش کشاورزی نیز از این موضوع مستثنی نبوده و سهم زیادی در انتشار گازهای گلخانه‌ای و گرمایش جهانی دارد. سهم این بخش حدود ۱۰ تا ۱۲ درصد و سهم زمین‌های شالیزاری برابر ۰/۱۱ درصد تخمین زده شده است (اسمیت و همکاران، ۲۰۰۷). با توجه به منابع محدود انرژی و روند رو به رشد جمعیت جهان، اهمیت مطالعه انرژی در بخش کشاورزی که مسئول تأمین امنیت غذایی این جمعیت است، آشکار می‌شود (سجادیان و همکاران، ۱۳۹۲). رابطه بین کشاورزی و انرژی بسیار نزدیک بوده و انرژی یکی از مهم‌ترین نهادهای ورودی در تولید محصولات کشاورزی محسوب می‌شود (چودری و همکاران، ۲۰۰۶). همچنین، بزرگ‌ترین عامل انتشار گازهای گلخانه‌ای به اتمسفر، بخش انرژی است و در سال‌های اخیر در کنار ارزیابی انرژی در سیستم‌های زراعی، موضوع انتشار گازهای گلخانه‌ای بسیار مورد توجه بوده است (IPCC، ۲۰۰۷). بدین ترتیب، توسعه نظام‌های زراعی با ورودی کمتر انرژی و بهره‌وری بیشتر می‌تواند به کاهش انتشار گاز گلخانه‌ای CO₂، به‌ویژه در بخش کشاورزی، کمک کند (دالگارد و همکاران، ۲۰۰۰). در بیشتر کشورهای پیشرفته و حتی در حال توسعه، انرژی وارد شده در سطح برای تولید محصولات مختلف کشاورزی را بررسی و با محاسبه شاخص کارایی انرژی

سعی کرده‌اند نظام‌های کشاورزی خود را از نظر مصرف انرژی بهینه کنند. طبق بررسی انجام گرفته توسط بوکاری و همکاران (۲۰۰۵) در زمینه جریان مصرف انرژی در شالیزارهای مالزی، بیشترین مصرف انرژی در مراحل مختلف تولید به میزان ۴۶/۵ درصد برای آماده‌سازی زمین استفاده شده و پس از آن مراحل برداشت و نشاکاری قرار گرفته است. همچنین، براساس این تحقیق، کل انرژی مصرف‌شده به‌منظور تولید برنج در هر هکتار از اراضی مالزی حدود ۱۲۱۸۱ مگاژول بوده که به ترتیب کود، سوخت ماشین‌آلات و ماشین‌آلات کشاورزی بیشترین سهم را در مصرف انرژی به خود اختصاص داده بودند. پیمان و همکاران (۱۳۸۴) نشان دادند که کارایی انرژی در تولید برنج به روش نیمه مکانیزه نسبت به روش سنتی بیشتر است. کل انرژی نیازمند برای تولید شلتوک و تبدیل آن به برنج سفید در هر هکتار از یک رقم متداول در استان گیلان برای دو روش کاشت سنتی و نیمه مکانیزه به‌ترتیب ۷۲۴۸۸/۷ و ۶۸۶۳۳/۸ مگاژول و کارایی انرژی آن‌ها ۲/۰۹ و ۲/۲۱ محاسبه شد. نتایج نشان داد که روش نیمه مکانیزه کاراتر و کم‌هزینه‌تر است. یوان و پنگ (۲۰۱۷) با مطالعه روی کشت برنج نشایی به دو روش معمول کشاورزان و روش کم‌نهاد در چین نشان دادند که انرژی ورودی، انرژی خروجی و عملکرد دانه برنج در روش معمول کشاورزان و روش کم‌نهاد به ترتیب ۳۴۵۴۴/۴ و ۲۵۴۴۱/۵ مگاژول بر هکتار، ۲۶۶۷۴۴/۹ و ۲۳۴۳۹۳ مگاژول در هکتار و ۹۱۷۱/۳ و ۸۴۴۹/۹ کیلوگرم در هکتار بود. همچنین، نتایج بررسی شاخص‌های انرژی نشان داد که میانگین مقادیر کارایی انرژی، بهره‌وری انرژی، انرژی ویژه و انرژی خالص به روش کشت معمول کشاورزان به ترتیب ۷/۷۷، ۰/۲۷ کیلوگرم بر مگاژول، ۳/۷۶ مگاژول بر کیلوگرم و ۲۳۲۲۰/۵ مگاژول بر هکتار و در روش کشت کم‌نهاد به ترتیب ۹/۲۵، ۰/۳۳ کیلوگرم بر مگاژول، ۳/۰۱ مگاژول بر کیلوگرم و ۲۰۸۹۵۱/۵ مگاژول بر هکتار بود. اسلام و همکاران (۲۰۰۱) با مطالعه روی کاربرد انرژی در زراعت برنج تحت تأثیر سیستم‌های

شخم با ماشین و حیوانات در بنگلادش گزارش کردند که در هر دو سیستم بیشترین انرژی برای کودهای شیمیایی و کمترین آن برای آماده‌سازی بستر بذر مصرف شده است. ماهانسیگ (۲۰۰۲) به بررسی الگوی مصرف انرژی مربوط به محصولات خردل، گندم، چاودار و برنج آسیاب نکرده، برای ۹۰ کشاورز از نه دهکده واقع در سه منطقه از هند پرداخت. نتایج نشان داد که گندم و برنج در مقایسه با دیگر محصولات در نظر گرفته شده انرژی‌محورتر بوده که انرژی مصرف‌شده برای تولید برنج با شلتوک برابر با ۳۴۶۸۰ مگاژول بر هکتار و برای گندم برابر با ۳۱۰۱۶ مگاژول بر هکتار بود. اقبال (۲۰۰۷) با مطالعه روند جریان انرژی در زراعت برنج در بنگلادش ضمن تقسیم کشاورزان به پنج گروه براساس سطح زیرکشت، گزارش نمود که میزان انرژی ورودی زراعت برنج حدود ۲۸۰۰۰ مگاژول در هکتار بوده و بیشترین انرژی ورودی در تمامی گروه‌ها برای تهیه کودهای شیمیایی به مصرف رسیده و بازده انرژی در کشت نیمه مکانیزه نسبت به کشت سنتی بیشتر بوده است. مبتکر و همکاران (۲۰۱۱) سیکل مصرف انرژی در تولید یونجه برای دو سیستم مختلف آبیاری را مقایسه کردند. آنان دو سیستم آبیاری سنتی و مدرن (آبیاری بارانی، غلطان) را بررسی کردند. میزان انرژی مصرفی در سیستم آبیاری سنتی برابر ۸۲۱۶۱۵/۱۹ و در سیستم آبیاری مدرن برابر ۷۲۳۲۵۴/۳۸ مگاژول بر هکتار و بیشترین میزان مصرف انرژی مربوط به نهاده الکتریسیته در هر دو سیستم آبیاری بود. همچنین، در سیستم آبیاری مدرن استفاده بهتر و مناسب‌تری از نهاده‌های انرژی و آب شده و شاخص‌های انرژی در این نوع سیستم مناسب‌تر بود. پیشگار و همکاران (۲۰۱۱) به بررسی انرژی مصرفی تولید برنج در استان گیلان پرداختند. در این تحقیق، کارایی انرژی برابر ۱/۵۳ اعلام شد. نتایج نشان داد که ورودی و خروجی انرژی تولید برنج، ۳۹۳۳۳ مگاژول بر هکتار و ۶۰۳۴۱ مگاژول بر هکتار بود که انرژی سوخت با ۴۶ درصد و بعد از آن کود شیمیایی با ۳۶ درصد بیشترین سهم را در مصرف انرژی داشتند. بساوالینگایا و

همکاران (۲۰۲۰) به بررسی تعیین الگوی استفاده از انرژی و میزان بهره‌مندی از مزارع برنج در سیستم‌های تولیدی کشت نشایی و بذر مستقیم برنج در هند پرداختند. یافته‌ها نشان داد که بیشترین میزان کارایی انرژی (۷/۳)، بهره‌وری انرژی (۰/۳ کیلوگرم بر مگاژول) و سودآوری انرژی (۶/۳) به دلیل کاهش بیشتر ورودی انرژی در سیستم کشت مستقیم بذر برنج بود. از این رو، با توجه به نقش و اهمیت مصرف انرژی در بخش کشاورزی، در این مطالعه، به ارزیابی ورودی-خروجی انرژی و پتانسیل گرمایش جهانی زراعت برنج در سیستم‌های مختلف آبیاری و کشت در استان گلستان پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

آزمایش در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ برای بررسی انرژی و پتانسیل گرمایش جهانی محصول برنج (*Oryza sativa L*) رقم فجر، در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی گلستان (عراقی محله) واقع در شهرستان گرگان انجام شد. طرح در زمینی به ابعاد ۳۶۰۰ متر مربع که مساحت کرت‌ها در آن ۴۸ مترمربع (۶×۸ متر) بود و بر پایه کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. تیمارها شامل چهار تیمار سیستم آبیاری بارانی (I₁) با به کارگیری چهار آبپاش برای هر کرت (با دبی ۰/۱۵ لیتر بر ثانیه در هر آبپاش)، غرقابی دائم (I₂)، غرقابی تناوبی (I₃) و قطره‌ای (I₄) با فاصله نوار تیپ ۵۰ سانتیمتر (با فاصله روزنه ۲۰ سانتیمتر و دبی یک لیتر بر ساعت) به‌عنوان عامل اصلی و سه تیمار کشت شامل کشت مستقیم بذر برنج (C₁)، کشت مستقیم نشایی با ریشه لخت در زمین غیرگلخراپ (C₂) و کشت نشایی در زمین گلخراپ شده (C₃)، به‌عنوان عامل فرعی بود.

عملیات نشاکاری در زمین اصلی ۲۵ روز پس از کشت بذر در خزانه صورت گرفت که نشاکاری توسط کارگر با فواصل ۲۵×۲۵ سانتی‌متر و با ۴-۵ نشا در هر کپه و در اواسط خردادماه انجام شد. در تیمار خشکه‌بذری نیز

بذر برنج به صورت مستقیم به وسیله تراکتور و با فاصله ۲۵ سانتی متر، هم زمان با نشاکاری در سطح خاک کشت شد. آب مورد نیاز تمامی تیمارهای آزمایشی طرح از یک حلقه چاه آب برقی با سیستم پمپاژ آب در ایستگاه تحقیقاتی عراقی محله تأمین شد. برای اعمال تیمارهای آبیاری، میزان تبخیر از تشت کلاس A به صورت روزانه اندازه گیری گردید و مقدار آب آبیاری در هر تیمار بر اساس سطح کرت و درصد تبخیر در نظر گرفته شد. برای روش

غرقابی دائم، آب به طور پیوسته با عمق تقریبی پنج سانتی متر در سطح خاک کرت ها و در روش غرقابی تناوبی، کرت ابتدا با عمق تقریبی پنج سانتی متر غرقاب شد و در زمان خشک شدن آب و رؤیت ترک موئین روی زمین، آبیاری دوباره انجام شد. آزمایش خاک نیز ابتدای دوره کشت انجام گرفت. ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه مطالعه شده در جدول (۱) آورده شد.

جدول ۱- ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

عمق (cm)	رس Clay %	سیلت Silt %	ماسه Sand %	بافت	K پتاسیم قابل جذب p.p.m	P فسفر قابل جذب p.p.m	T.N.V % آهک	O.C کربن آلی %	N نیتروژن کل %	هدایت الکتریکی Ec*103	pH
۰-۳۰	۲۸	۵۲	۲۰	Si-C-L	۳۶۰	۷/۸	۲۶/۵	۱/۳۳	۰/۱	۰/۸	۷/۷

کودهای لازم بر اساس آزمایش خاک، بسته به وضعیت عناصر غذایی موجود در خاک مزرعه و توصیه های فنی به صورت پایه و سرک استفاده شد. کودهای پایه شامل کود اوره (۵۰ کیلوگرم در هکتار)، سوپر فسفات تریپل (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) و سولفات پتاسیم (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) بود و توزیع کود سرک در کرت ها با توجه به نیاز برنج (بر اساس توصیه های LCC^۱) انجام شد. برای مبارزه با علف های هرز برنج (عمدتاً علف هرز سوروف و اوپاراسلام)، علف کش نوینو در یک نوبت (دو هفته پس از کشت) برای تمام تیمارها و علف کش بنتازون (بازاگران) طی یک نوبت (سه هفته پس از کشت) برای تیمارهای خشکه بذری در سطح کرت ها پخش گردید. در تیمارهای مختلف در کنار استفاده از علف کش های مذکور از وجین دستی نیز استفاده گردید. در کرت های آزمایشی برای مبارزه با بیماری بلاست برنج، میزان نیم کیلوگرم در هکتار قارچ کش بیم به محض مشاهده بلاست برگی با استفاده از تراکتور در سطح تمام کرت ها پخش شد. همچنین، جهت مبارزه با کرم ساقه خوار برنج، از سم دیازینون گرانولی ۱۰٪ استفاده شد. پس از رسیدن

محصول، برداشت توسط کارگر و پس از حذف حاشیه انجام شد، سپس به وسیله دستگاه خرمکوب، عملیات خرمکوبی انجام شد.

جریان انرژی

نهادها در سامانه تولید شلتوک برنج در منطقه مطالعه شده شامل نیروی کارگری، ماشین ها (ادوات آماده- سازی زمین، کاشت، داشت و برداشت)، سوخت دیزل، بذر، سموم شیمیایی (علف کش، قارچ کش و حشره کش)، کودهای شیمیایی (نیتروژن، فسفات، پتاسیم و ریزمغذی- ها)، کود آلی، آبیاری و الکتریسیته و همچنین ستادهای تولید شامل، کاه و شلتوک برنج بودند. ضرایب هم ارز انرژی متناظر برای هر یک از نهادها و ستادهای برای تعیین میزان انرژی معادل این پارامترها در سامانه تولید در جدول (۲) نشان داده شد. پس از این مرحله، توسط نرم- افزار اکسل، با ضرب کردن اعداد هم ارز انرژی در مقادیری که برای هر یک از نهادهای مصرفی در این مطالعه به دست آمد، مقدار انرژی موجود برای هر کدام از نهادها و ستادهای تعیین شد.

^۱- Leaf Colour Chart for N application

جدول ۲- محتوای انرژی نهاده‌ها و ستاده‌ها در سامانه تولید برنج

منبع	هم‌ارز انرژی (MJ unit ⁻¹)	عنوان (واحد)
		نهاده‌ها
		نیروی کارگری (h)
(سینگ و همکاران، ۱۹۹۴)	۱/۹۶	مرد
(سینگ و همکاران، ۱۹۹۴)	۱/۵۴	زن
(کالتساس و همکاران، ۲۰۰۷)	۱۴۲/۷	ادوات و ماشین آلات (kg)*
(رجبی و همکاران، ۱۳۹۱)	۳۸	سوخت دیزل (l)
(ازکان و همکاران، ۲۰۰۴)	۱۴/۷	بذر (kg)
		سموم شیمیایی (kg)
(راتکه و همکاران، ۲۰۰۷)	۲۸۷	علف‌کش‌ها
(دایکه و همکاران، ۲۰۰۸)	۱۹۶	قارچ‌کش‌ها
(راتکه و همکاران، ۲۰۰۷)	۲۳۷	حشره‌کش‌ها
		کودهای شیمیایی (kg)
(گانداگس، ۲۰۰۶)	۶۰/۶	نیتروژن (N)
(گانداگس، ۲۰۰۶)	۱۱/۱	فسفر (P ₂ O ₅)
(گانداگس، ۲۰۰۶)	۶/۷	پتاسیم (K ₂ O)
(کاناچی و آکینچی، ۲۰۰۶)	۱۲۰	ریزمغذی‌ها
(ازکان و همکاران، ۲۰۰۴)	۱۲/۱	الکتریسیته (kWh)
		آبیاری (m ³)
(آکاراوغلو، ۱۹۹۸)	۱/۰۲	آبیاری تحت فشار
(گانداگس، ۲۰۰۶)	۰/۶۳	آبیاری غرقابی
		ستاده‌ها
(ازکان و همکاران، ۲۰۰۴)	۱۲/۵	کاه (kg)
(ازکان و همکاران، ۲۰۰۴)	۱۴/۷	شلتوک برنج (kg)

*این انرژی شامل ساخت، تعمیرات و نگهداری و حمل و نقل است

صرف شده برای انتقال و توزیع آب است و دربرگیرنده انرژی سوخت به کار رفته برای پمپاژ آب است. برای محاسبه این انرژی به طور مستقیم اقدام به اندازه گیری نهاده انرژی ورودی (الکتریسیته) شد و سپس میزان مصرف انرژی در بخش آبیاری براساس میزان مصرف الکتریسیته در هر نوبت آبیاری محاسبه شد. انرژی غیرمستقیم نیز دربرگیرنده انرژی است که در ساخت پمپ، لوله، استخر، کانال‌های سیمانی و دیگر ادواتی است که در انتقال و توزیع آب در سطح مزرعه نقش دارند. این انرژی با توجه به میزان آب مصرف شده و به عنوان ضریبی از آن در مزارع در نظر گرفته می‌شود. بالطبع انرژی معادل در نظر گرفته شده برای سیستم‌های آبیاری تحت فشار با توجه به ادوات بیشتر به کار رفته در آن‌ها و فشار بیشتر آب، باید بیشتر در نظر گرفته شود (کیتانی، ۱۹۹۸). در این مطالعه،

در کلیه مراحل عملیات زراعی (شامل تهیه بستر، کاشت، داشت و برداشت)، تعداد ساعات کار در مزرعه بر حسب ساعت در هکتار ثبت شد و سپس با توجه به ضریب تبدیل انرژی برای نیروی انسانی، کل انرژی ورودی نیروی انسانی بر حسب مگاژول در هکتار بر اساس رابطه (۱) به دست آمد (اردال و همکاران، ۲۰۰۷):

$$E_{1a} = EI_{1a} * T * N \quad (1)$$

که در این رابطه:

E_{1a} انرژی کارگر در هکتار (MJ/ha)، EI_{1a} شدت انرژی کارگر (MJ/h)، T ساعت کار کارگر در روز که معادل هشت ساعت در نظر گرفته می‌شود (h/day) و N تعداد کارگر که معادل تعداد کارگر روزانه در تعداد روز کار کارگری است (day/ha).

انرژی به کار رفته در آبیاری شامل دو نوع انرژی مستقیم و غیرمستقیم است. انرژی مستقیم بیانگر انرژی

با کمک رابطه (۲)، اقدام به محاسبه این انرژی شد (الماسی، ۱۳۸۰):

$$E_w = W_c * \alpha \quad (2)$$

که در آن:

E_w انرژی غیرمستقیم آبیاری (MJ/ha)، W_c میزان مصرف آب (m³/ha) و α ضریب انرژی غیرمستقیم آبیاری است که در مزارع دارای سیستم آبیاری غرقابی برابر ۰/۶۳ (یالدیز و همکاران، ۱۹۹۳) و در مزارع دارای سیستم آبیاری تحت فشار (اعم از آبیاری قطره ای و بارانی) برابر ۱/۰۲ (آکاراوغلو، ۱۹۹۸) در نظر گرفته شد. برای برآورد مقدار مصرف انرژی در نهاده های مصرفی مثل کود، آفت کش ها و حشره کش ها، میزان انرژی هر گرم ماده مؤثره در ضرایب مربوطه و وزن مخصوص آن ها ضرب شدند. دیگر محاسبات انرژی مصرفی برای ورودی ها و خروجی های استفاده شده در تولید و عملیات زراعی برای هر یک از روش ها با استفاده از ضرایب به دست آمده از منابع مختلف انجام شد (جدول ۲).

با برآورد کل انرژی های ورودی و خروجی، شاخص های ارزیابی انرژی شامل نسبت یا کارایی انرژی، بهره وری انرژی، انرژی ویژه و انرژی خالص برای برنج با استفاده از معادلات تعریف شده زیر محاسبه شدند (سلطانی و همکاران، ۲۰۱۳):

$$ER = EO/EI \quad (3)$$

که در آن:

ER نسبت یا کارایی انرژی (بدون واحد)، EO مجموع انرژی خروجی از مزرعه (مگاژول در هکتار) و EI انرژی ورودی به مزرعه (مگاژول در هکتار) است. شاخص نسبت یا کارایی انرژی تأثیر واحد انرژی نهاده در دست یابی به اهداف مصرف کننده را نشان می دهد. اهداف مصرف کننده می تواند غذا، زیست توده و یا بیوسوخت تولیدی باشد (کیتانی، ۱۹۹۸). در زراعت محصولات، انرژی این نسبت باید از یک بزرگ تر باشد؛ اما برای تولید محصولات صنعتی این نسبت معمولاً کوچک تر از یک است. کارایی انرژی، عبارت از نسبت بین کل انرژی

ورودی و انرژی محصولات خروجی (انرژی شلتوک و کاه و کلش) در یک فرآیند بوده و فاقد واحد است.

$$EP = GY/EI \quad (4)$$

که در آن:

EP بهره وری انرژی (مگاژول بر کیلوگرم)، GY عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) و EI مجموع انرژی ورودی به مزرعه (مگاژول در هکتار) است. بهره وری انرژی شاخصی از مقدار عملکرد محصول استحصالی (مقدار شلتوک) به ازای هر واحد انرژی ورودی است که بسته به نوع محصول کشاورزی، موقعیت و زمان، متفاوت است و می تواند به عنوان شاخصی برای ارزیابی کارایی انرژی در سیستم های مختلف تولید آن محصول خاص باشد. برای بهبود این شاخص در یک فرآیند سه راه وجود دارد، بالا بردن مقدار تولید بر واحد سطح، کاهش سهم انرژی نهاده ها (کاهش مصرف آن ها) و اعمال مدیریت در جهت تلاش برای کاهش ضایعات.

$$SE = EI/GY \quad (5)$$

که در آن:

SE انرژی ویژه (مگاژول بر کیلوگرم)، EI مجموع انرژی ورودی به مزرعه (مگاژول در هکتار) و GY عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) است. این شاخص عکس بهره وری انرژی است و بیان کننده انرژی صرف شده برای تولید هر واحد از محصول است.

$$NEY = EO - EI \quad (6)$$

که در آن:

NEY عملکرد انرژی خالص (مگاژول در هکتار)، EO مجموع انرژی خروجی از مزرعه (مگاژول در هکتار) و EI مجموع انرژی ورودی به مزرعه (مگاژول در هکتار) است.

پتانسیل گرمایش جهانی (GWP)^۱ عبارت از مجموع گازهای گلخانه ای تولید شده است که به صورت معادل دی اکسید کربن بیان می شود (IPCC، ۱۹۹۶). برای

^۱- Global warming potential

محاسبه پتانسیل گرمایش جهانی، در مرحله اول از نتایج محاسبه انرژی در قسمت قبل برای روش‌های مختلف آبیاری و کشت در هر یک از عملیات زراعی، استفاده شد. سپس با به‌کارگیری ضرایب تولید گازهای CO_2 ، N_2O و CH_4 به‌ترتیب معادل ۱، ۳۱۰ و ۲۱ کیلوگرم CO_2 ، کل گازهای گلخانه‌ای به‌صورت معادل CO_2 محاسبه شدند (NGAF, ۲۰۱۱).

مقدار GWP در چهار مقیاس محاسبه گردید (سلطانی و همکاران، ۲۰۱۳):

۱- واحد سطح: مقدار GWP بر حسب کیلوگرم معادل CO_2 در واحد سطح (هکتار).

۲- واحد وزن: از تقسیم مقدار GWP بر حسب کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار بر مقدار تولید محصول برنج (شلتوک و کاه و کلش) بر حسب تن در هکتار، پتانسیل گرمای جهانی برای تولید هر تن محصول برنج یا به عبارتی معدل وزنی به‌دست آمد.

۳- واحد انرژی ورودی: از تقسیم مقدار GWP بر حسب کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار بر مقدار انرژی ورودی (گیگاژول در هکتار)، معادل گرمایشی جهانی بر حسب کیلوگرم معادل CO_2 بر گیگاژول انرژی مصرفی محاسبه شد.

۴- واحد انرژی خروجی: از تقسیم مقدار GWP بر حسب کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار بر مقدار انرژی خروجی (گیگاژول در هکتار)، معادل گرمایشی جهانی بر حسب کیلوگرم معادل CO_2 بر گیگاژول انرژی تولیدی محاسبه شد.

نتایج و بحث

نوع نهاده‌های مصرفی به همراه مقادیر میانگین مصرف هر یک از آن‌ها برای تولید برنج در سطح یک هکتار برای تیمارهای مختلف آبیاری و کشت، در جدول (۳) ارائه شده است. با توجه به نتایج، مقدار کودهای مصرفی در طول دوره کشت برای کشت نشایی و خشکه-بذری به‌ترتیب، ۲۶۰/۴ و ۲۷۰/۸ کیلوگرم در هکتار کود

نیتروژن، ۱۵۶/۲۵ و ۲۰۸/۳ کیلوگرم در هکتار کود فسفر و ۲۰۸/۳ و ۱۹۷/۹ کیلوگرم در هکتار کود پتاسیم بود. نتایج مطالعات ماهاجان و همکاران (۲۰۱۲) نشان داد که نیاز به کود نیتروژن برای کشت مستقیم بذر برنج بیشتر از کشت نشایی برنج است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، بیشترین و کمترین میزان آب مصرفی در سیستم‌های مختلف کشت به ترتیب برای سیستم غرقاب دائم و قطره-ای بود که کمترین حجم آب مصرفی مربوط به تیمار آبیاری قطره‌ای خشکه‌بذری (۶۳۸۸/۹ متر مکعب در هکتار) و بیشترین حجم آب مصرفی مربوط به آبیاری غرقاب دائم خشکه‌بذری (۱۲۷۸۴/۷ متر مکعب در هکتار) به دلیل دوره رشد طولانی‌تر بذر برنج در داخل مزرعه و تعداد دفعات بیشتر آبیاری و همچنین حجم زیاد آب مصرفی در سیستم غرقابی بود. برای سیستم‌های آبیاری غرقاب دائم و متناوب، روش کشت نشایی غیرگلخراپی به علت عدم مصرف آب برای گلخراپی زمین و همچنین کم بودن مدت زمان وجود نشا در مزرعه نسبت به خشکه‌بذری، میزان آب مصرفی کمتر از روش نشاگلخراپ و خشکه‌بذری بود. نتایج ماهاجان و همکاران (۲۰۰۹) نشان داد که با افزایش مدت زمان وجود نشا در مزرعه، بهره‌وری آب آبیاری کاهش می‌یابد. طولانی بودن دوره رشد منجر به افزایش تعداد آبیاری و در نتیجه کاهش کارایی استفاده از آب آبیاری می‌شود.

برای سیستم‌های آبیاری بارانی و قطره‌ای، به-دلیل راندمان بیشتر این سیستم‌ها، میزان آب مصرفی در طول دوره رشد کمتر از سیستم‌های غرقابی بود و برای سیستم کشت نشاگلخراپ به‌علت مصرف آب برای گلخراپی، حجم آب مصرفی بیشتر است. چاهان و اوپنا (۲۰۱۲) گزارش کردند که گلخراپی در سیستم غرقابی برنج نشایی تا ۳۰ درصد از کل آب مورد نیاز برنج را مصرف می‌کند. همچنین، صرفه‌جویی در آب ورودی به میزان ۳۵-۵۷ درصد برای کشت مستقیم بذر برنج کاشته شده در خاک غیرگلخراپ گزارش شده است (سینگ و همکاران، ۲۰۰۲؛ شارما و همکاران، ۲۰۰۲). بوشان و

همکاران (۲۰۰۷) به بررسی کشت مستقیم بذر برنج و کشت نشا گلخراپ در خاک لوم سیلتي پرداختند. آنها برای هر دو روش استقرار، از قوانین زمان بندی آبیاری یکسان استفاده کردند. آبیاری برای دو هفته اول پس از کاشت بذر یا نشاکاری به صورت روزانه بود و به دنبال آن آبیاری پس از ایجاد ترک های مویین صورت می گرفت. با توجه به نتایج، ۲۰ درصد کاهش آب آبیاری برای کشت مستقیم بذر برنج در مقایسه با کشت نشایی در هر دو سال مشاهده شد. همچنین، نتایج جات و همکاران (۲۰۰۹) نشان داد که میزان ورودی آب (آبیاری به همراه بارندگی) در کشت مستقیم بذر برنج ۹ تا ۲۴ درصد کمتر از کشت نشایی برنج در خاک گلخراپ شده است.

انرژی های ورودی و خروجی در تولید شلتوک برنج

مقدار میانگین و درصد انرژی مصرفی نهاده ها و تولید ستاده ها در تولید شلتوک برنج و همچنین به تفکیک تیمارهای مختلف تولید شلتوک برنج برای سطح یک هکتار در جداول (۴)، (۵) و (۶) ارائه شده است. بررسی انرژی ورودی سیستم های مختلف آبیاری نشان داد که میزان انرژی ورودی تیمار نشا گلخراپ بیشتر از نشا غیرگلخراپ و خشکه بذری بود که مربوط به مصرف بیشتر نهاده ادوات و ماشین آلات در مرحله آماده سازی زمین بود. بیشترین میزان انرژی ورودی مربوط به سیستم آبیاری قطره ای و برای کشت نشا گلخراپ بود که مقدار آن ۳۶۳۶۶/۲ مگاژول در هکتار است. میزان کاربری ادوات و ماشین آلات و در نتیجه انرژی ناشی از آن در تیمار نشا گلخراپ بیشتر از تیمارهای دیگر بود که دلیل آن مربوط به کار بیشتر ادوات برای آماده سازی زمین های گلخراپ بود.

در بررسی انرژی ستاده تیمارها برای تولید برنج، نتایج نشان داد که در سطح یک هکتار، به طور متوسط میزان محصول خروجی و در نتیجه میزان انرژی خروجی برای تیمارهای نشایی بیشتر از تیمارهای خشکه-بذری بود. بیشترین میزان انرژی ستاده مربوط به سیستم

نشا گلخراپ قطره ای (۲۴۹۹۷۱/۱) مگاژول بر هکتار) بود. نتایج مطالعات یوان و پنگ (۲۰۱۷) روی کشت برنج به دو روش معمول کشاورزان و روش کم نهاده در چین نشان داد که انرژی ورودی، انرژی ستاه و عملکرد دانه برنج در روش معمول کشاورزان و روش کم نهاده به ترتیب ۳۴۵۴۴/۴ و ۲۵۴۴۱/۵ مگاژول بر هکتار، ۲۶۶۷۴۴/۹ و ۲۳۴۳۹۳ مگاژول در هکتار و ۹۱۷۱/۳ و ۸۴۴۹/۹ کیلوگرم در هکتار بود. همچنین، مطالعات مانی و پاتل (۲۰۱۲) در هند نشان داد که میزان انرژی مصرفی در کشت شالیزار توسط کشاورزان دسته های کوچک، متوسط و بزرگ مزرعه به ترتیب ۳۲۴۱۷/۷، ۳۶۴۷۱/۶۱ و ۳۶۷۴۲/۸۵ مگاژول در هکتار و میزان انرژی ستاده به ترتیب ۱۷۳۱۲۰، ۱۶۷۲۹۰ و ۱۴۵۸۱۳ مگاژول در هکتار بوده است.

جدول ۳- مقدار میانگین مصرف نهاده‌ها در تولید شلتوک برنج در سطح هکتار برای تیمارهای مختلف آبیاری و کشت

تیمارها	آبیاری بارانی			آبیاری غرقاب دائم			آبیاری غرقاب متناوب			آبیاری قطره‌ای		
	خشکه	نشا	نشا	خشکه	نشا	نشا	خشکه	نشا	نشا	خشکه	نشا	نشا
	بذری	غیر گلخواب	گلخواب	بذری	غیر گلخواب	گلخواب	بذری	غیر گلخواب	گلخواب	بذری	غیر گلخواب	گلخواب
نهاده‌ها												
نیروی کارگری (h)	۵۲۵/۳	۷۹۰/۱	۸۱۳/۶	۵۸۰/۷	۸۳۰/۲	۷۸۶/۷	۵۸۳/۶	۸۳۳/۹	۷۹۲/۸۳	۵۱۱/۷	۷۶۳/۳۴	۷۸۸/۹۲
ادوات و ماشین‌آلات (h)	۱۲۴/۴	۱۲۳/۲۴	۲۶۵/۰۲	۱۹۸/۲	۱۹۳/۲	۲۷۰/۰۱	۱۹۵/۷	۱۹۲/۱	۲۶۸/۷۶	۱۲۴/۲۴	۱۲۳/۱	۲۶۸
سوخت دیزل (l)	۱۲۳/۱	۱۱۲/۵۳	۱۳۸/۴	۱۳۶/۹	۱۲۶/۳	۱۳۸/۴۸	۱۳۶/۸	۱۲۶/۲	۱۳۸/۴۶	۱۲۳/۱	۱۱۲/۵۳	۱۳۸/۴۲
حمل و نقل (km)	۵	۴/۵	۵/۵	۵/۵	۵	۵/۵	۵/۵	۵	۵/۵	۵	۴/۵	۵/۵
بذر (kg)	۶۰	۱۰۰	۱۰۰	۶۰	۱۰۰	۱۰۰	۶۰	۱۰۰	۱۰۰	۶۰	۱۰۰	۱۰۰
سموم شیمیایی (kg)												
علف‌کش‌ها	۳/۵۸	۱/۱۴	۱/۱۴	۳/۵۸	۱/۱۴	۱/۱۴	۳/۵۸	۱/۱۴	۱/۱۴	۳/۵۸	۱/۱۴	۱/۱۴
قارچ‌کش‌ها	۰/۵۲	۰/۵۲	۰/۵۲	۰/۵۲	۰/۵۲	۰/۵۲	۰/۵۲	۰/۵۲	۰/۵۲	۰/۵۲	۰/۵۲	۰/۵۲
حشره‌کش‌ها	۴/۴۹	۶۶/۹۹	۶۶/۹۹	۴/۴۹	۶۶/۹۹	۶۶/۹۹	۴/۴۹	۶۶/۹۹	۶۶/۹۹	۴/۴۹	۶۶/۹۹	۶۶/۹۹
کودهای شیمیایی (kg)												
نیتروژن (N)	۲۷۰/۸	۲۶۰/۴	۲۶۰/۴	۲۷۰/۸	۲۶۰/۴	۲۶۰/۴	۲۷۰/۸	۲۶۰/۴	۲۶۰/۴	۲۷۰/۸	۲۶۰/۴	۲۶۰/۴
فسفر (P ₂ O ₅)	۲۰۸/۳	۱۵۶/۲۵	۱۵۶/۲۵	۲۰۸/۳	۱۵۶/۲۵	۱۵۶/۲۵	۲۰۸/۳	۱۵۶/۲۵	۱۵۶/۲۵	۲۰۸/۳	۱۵۶/۲۵	۱۵۶/۲۵
پتاسیم (K ₂ O)	۱۹۷/۹	۲۰۸/۳	۲۰۸/۳	۱۹۷/۹	۲۰۸/۳	۲۰۸/۳	۱۹۷/۹	۲۰۸/۳	۲۰۸/۳	۱۹۷/۹	۲۰۸/۳	۲۰۸/۳
ریزمغذی	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵
آب آبیاری (m ³)	۷۳۲۹/۱۷	۷۴۵۸/۳	۹۸۵۴/۲	۱۲۷۸۴/۷	۱۱۹۳۷/۵	۱۲۴۷۲/۲	۱۰۹۵۸/۳	۱۰۳۰۵/۶	۱۱۵۶۲/۵	۶۳۸۸/۹	۶۷۱۵/۲۸	۹۱۷۳/۶

جدول ۴- مقدار میانگین و درصد انرژی نهاده‌ها و ستاده‌ها در تولید شلتوک برنج بر حسب مگاژول در هکتار برای تیمارهای مختلف آبیاری

به روش خشکه‌بذری							
آبیاری بارانی		آبیاری غرقاب دائم		آبیاری غرقاب متناوب		آبیاری قطره‌ای	
میانگین	درصد	میانگین	درصد	میانگین	درصد	میانگین	درصد
ورودی							
۱۰۲۹/۶	۳/۷	۱۱۳۸/۱	۳/۶۲	۱۱۴۳/۹	۳/۸۲	۱۰۰۲/۹	۳/۵۱
۱۹۳۱/۳	۶/۹۳	۳۵۱۰/۷	۱۱/۱۶	۳۵۰۴/۷	۱۱/۷۲	۱۹۳۱	۶/۷۵
۴۶۷۷/۸	۱۶/۷۸	۵۲۰۲/۲	۱۶/۵۴	۵۱۹۹/۷	۱۷/۳۸	۴۶۷۸/۴	۱۶/۳۵
۲۳۴/۷	۰/۸۱	۲۴۶/۴	۰/۷۸	۲۴۶/۴	۰/۸۲	۲۳۴/۷	۰/۷۸
۸۸۲	۳/۱۶	۸۸۲	۲/۸	۸۸۲	۲/۹۵	۸۸۲	۳/۰۸
سموم شیمیایی							
۴۶۷/۷	۱/۶۸	۴۶۷/۷	۱/۴۹	۴۶۷/۷	۱/۵۶	۴۶۷/۷	۱/۶۳
۳۸/۷	۰/۱۴	۳۸/۷	۰/۱۲	۳۸/۷	۰/۱۳	۳۸/۷	۰/۱۴
۴۶۹/۹۱	۱/۶۹	۴۶۹/۹۱	۱/۴۹	۴۶۹/۹۱	۱/۵۷	۴۶۹/۹۱	۱/۶۴
کودهای شیمیایی							
۷۵۴۹/۷۵	۲۷/۰۹	۷۵۴۹/۷۵	۲۴	۷۵۴۹/۷۵	۲۵/۳۴	۷۵۴۹/۷۵	۲۶/۳۹
۱۰۶۳/۷۵	۳/۸۲	۱۰۶۳/۷۵	۳/۳۸	۱۰۶۳/۷۵	۳/۵۶	۱۰۶۳/۷۵	۳/۷۲
۶۳۶/۵	۲/۲۸	۶۳۶/۵	۲/۰۲	۶۳۶/۵	۲/۱۳	۶۳۶/۵	۲/۲۲
۱۳/۸	۰/۰۵	-	-	-	-	-	-
۱۵۱۲/۵	۵/۴۳	۲۱۹۳/۱	۶/۹۷	۱۸۰۲/۴	۶/۰۳	۳۱۴۶	۱۱
۷۳۷۳/۷	۲۶/۴۵	۸۰۵۴/۴	۲۵/۶۱	۶۹۰۳/۷	۲۳/۰۸	۶۵۱۶/۷	۲۲/۷۸
۲۷۸۷۱/۸	۱۰۰	۳۱۴۵۳/۳	۱۰۰	۲۹۹۰۹/۱	۱۰۰	۲۸۶۰۷/۹	۱۰۰
ستاده‌ها							
۹۹۲۱۲/۹	۷۰/۵۴	۱۲۹۷۱۱/۲	۶۵/۳۲	۱۱۹۷۲۰/۸	۶۵/۸۲	۱۱۹۲۶۱/۳	۶۵/۹۶
۴۱۴۴۳/۷	۲۹/۴۶	۶۸۸۵۹/۷	۳۴/۶۸	۶۲۱۷۳/۲	۳۴/۱۸	۶۱۵۵۶/۷	۳۴/۰۴
۱۴۰۶۵۶/۶	۱۰۰	۱۹۸۵۷۰/۹	۱۰۰	۱۸۱۸۹۴	۱۰۰	۱۸۰۸۱۸	۱۰۰

جدول ۵- مقدار میانگین و درصد انرژی نهاده‌ها و ستاده‌ها در تولید شلتوک برنج بر حسب مگاژول در هکتار برای تیمارهای مختلف آبیاری

به روش نشا غیر گل‌خراب							
آبیاری بارانی		آبیاری غرقاب دائم		آبیاری غرقاب متناوب		آبیاری قطره‌ای	
میانگین	درصد	میانگین	درصد	میانگین	درصد	میانگین	درصد
ورودی							
۱۵۴۸/۶	۵/۲۹	۱۶۲۷/۲	۵/۱۲	۱۶۳۴/۵	۵/۳۸	۱۴۹۶/۱	۵/۰۳
۱۷۷۷/۹	۶/۰۷	۳۳۴۸/۱	۱۰/۵۳	۳۳۴۵/۵	۱۱/۰۱	۱۷۷۷/۵	۵/۹۸
۴۲۷۶/۳	۱۴/۶	۴۷۹۹/۴	۱۵/۰۹	۴۷۹۶/۹	۱۵/۷۸	۴۲۷۶/۳	۱۴/۳۸
۲۰۰/۴	۰/۶۸	۲۲۲/۲	۰/۷	۲۲۲/۲	۰/۷۳	۲۰۰/۴	۰/۶۷
۱۴۷۰	۵/۰۲	۱۴۷۰	۴/۶۲	۱۴۷۰	۴/۸۴	۱۴۷۰	۴/۹۴
سموم شیمیایی							
۱۳۰/۶	۰/۴۵	۱۳۰/۶	۰/۴۱	۱۳۰/۶	۰/۴۳	۱۳۰/۶	۰/۴۴
۳۸/۷	۰/۱۳	۳۸/۷	۰/۱۲	۳۸/۷	۰/۱۳	۳۸/۷	۰/۱۳
۱۹۵۱/۲	۶/۶۶	۱۹۵۱/۲	۶/۱۳	۱۹۵۱/۲	۶/۴۲	۱۹۵۱/۲	۶/۵۶
کودهای شیمیایی							
۷۲۵۹/۴	۲۴/۷۹	۷۲۵۹/۴	۲۲/۸۲	۷۲۵۹/۴	۲۳/۸۸	۷۲۵۹/۴	۲۴/۴۲
۷۹۷/۸	۲/۷۲	۷۹۷/۸	۲/۵۱	۷۹۷/۸	۲/۶۲	۷۹۷/۸	۲/۶۸
۶۷۰	۲/۲۹	۶۷۰	۲/۱۱	۶۷۰	۲/۲	۶۷۰	۲/۲۵
۱۳/۸	۰/۰۵	-	-	-	-	-	-
۱۵۴۵/۶	۵/۲۸	۱۹۷۱/۳	۶/۲	۱۵۸۹/۸	۵/۲۳	۲۸۱۳/۲	۹/۴۶
۷۶۰۷/۵	۲۵/۹۷	۷۵۲۰/۶	۲۳/۶۴	۶۴۹۲/۵	۲۱/۳۶	۶۸۴۹/۶	۲۳/۰۴
۲۹۲۸۷/۷	۱۰۰	۳۱۸۰۶/۴	۱۰۰	۳۰۳۹۹	۱۰۰	۲۹۷۳۰/۸	۱۰۰
ستاده‌ها							
۱۱۱۴۵۷/۵	۶۲/۵۹	۹۶۳۳۶/۲	۴۸/۲۵	۱۰۳۶۸۲/۵	۵۱/۵۵	۱۲۵۶۷۴/۲	۵۷/۴۸
۶۶۶۰۵/۲	۳۷/۴۱	۱۰۳۲۲۱	۵۱/۷۵	۹۷۴۵۰/۲	۴۸/۴۵	۹۲۹۵۹/۴	۴۲/۵۲
۱۷۸۰۶۲/۷	۱۰۰	۱۹۹۴۵۷/۲	۱۰۰	۲۰۱۱۳۳/۷	۱۰۰	۲۱۸۶۳۳/۵	۱۰۰

جدول ۶- مقدار میانگین و درصد انرژی نهاده‌ها و ستاده‌ها در تولید شلتوک برنج بر حسب مگاژول در هکتار برای تیمارهای مختلف آبیاری

به روش نشا گلخواب									
آبیاری بارانی		آبیاری غرقاب دائم		آبیاری غرقاب متناوب		آبیاری قطره‌ای			
میانگین	درصد	میانگین	درصد	میانگین	درصد	میانگین	درصد		
نهاده‌ها	ورودی								
نیروی کارگری	۱۵۹۴/۶	۴/۴۱	۱۵۴۲	۴/۵۲	۱۵۵۳/۹	۴/۶۸	۱۵۴۶/۳	۴/۲۵	
ادوات و ماشین‌آلات	۵۰۶۳/۲	۱۴/۰۲	۵۰۷۵/۱	۱۴/۹	۵۰۷۲/۱	۱۵/۳	۵۰۷۰/۲	۱۳/۹۴	
سوخت دیزل	۵۲۵۹/۲	۱۴/۵۶	۵۲۶۲/۴	۱۵/۴۴	۵۲۶۱/۷	۱۵/۹	۵۲۵۹/۸	۱۴/۴۶	
حمل و نقل	۲۴۳/۹	۰/۶۷	۲۴۳/۹	۰/۷۱	۲۴۳/۹	۰/۷۳	۲۴۳/۹	۰/۶۷	
بذر	۱۴۷۰	۴/۰۷	۱۴۷۰	۴/۳۱	۱۴۷۰	۴/۴۳	۱۴۷۰	۴/۰۴	
سموم شیمیایی	۱۳۰/۶	۰/۳۶	۱۳۰/۶	۰/۳۸	۱۳۰/۶	۰/۳۹	۱۳۰/۶	۰/۳۶	
علف‌کش‌ها	۳۸/۷	۰/۱۱	۳۸/۷	۰/۱۱	۳۸/۷	۰/۱۲	۳۸/۷	۰/۱۱	
قارچ‌کش‌ها	۱۹۵۱/۲	۵/۴	۱۹۵۱/۲	۵/۷۲	۱۹۵۱/۲	۵/۹	۱۹۵۱/۲	۵/۳۷	
حشره‌کش‌ها	۷۲۵۹/۴	۲۰/۱	۷۲۵۹/۴	۲۱/۳	۷۲۵۹/۴	۲۱/۹	۷۲۵۹/۴	۱۹/۹۶	
کودهای شیمیایی	۷۹۷/۸	۲/۲۱	۷۹۷/۸	۲/۳۴	۷۹۷/۸	۲/۴۱	۷۹۷/۸	۲/۱۹	
نیتروژن (N)	۶۷۰	۱/۸۵	۶۷۰	۱/۹۷	۶۷۰	۲/۰۲	۶۷۰	۱/۸۴	
فسفر (P ₂ O ₅)	۱۳/۸	۰/۰۴	۱۳/۸	—	—	—	—	—	
پتاسیم (K ₂ O)	۱۵۷۷/۷	۴/۳۷	۱۷۸۹/۸	۵/۲۵	۱۴۳۶/۹	۴/۳۳	۲۵۷۱/۲	۷/۰۷	
ریزمغذی	۱۰۰۵۱/۲	۲۷/۸۳	۷۸۵۷/۵	۲۳/۰۵	۷۲۸۴/۴	۲۱/۹۵	۹۳۵۷/۱	۲۵/۷۳	
الکتریسته	۳۶۱۲۱/۳۵	۱۰۰	۳۴۰۸۸/۳	۱۰۰	۳۳۱۷۰/۵	۱۰۰	۳۶۳۶۶/۱۶	۱۰۰	
آب آبیاری	کل انرژی نهاده‌ها								
ستاده‌ها	کاه	۱۰۱۶۸۵/۸	۵۰/۱۱	۱۲۹۵۵۸/۳	۵۲/۲۶	۱۱۳۹۸۳/۷	۵۰/۸۸	۱۴۰۸۶۳/۸	۵۶/۳۵
شلتوک برنج	۱۰۱۲۵۵/۱	۴۹/۸۹	۱۱۸۳۵۵/۱	۴۷/۷۴	۱۱۰۰۶۲/۸	۴۹/۱۲	۱۰۹۱۰۷/۳	۴۳/۶۵	
کل انرژی ستاده‌ها	۲۰۲۹۴۰/۹	۱۰۰	۲۴۷۹۱۳/۴	۱۰۰	۲۲۴۰۴۶/۵	۱۰۰	۲۴۹۹۷۱/۱	۱۰۰	

داد که نهاده آب آبیاری و کودهای شیمیایی درصد بیشتری از انرژی ورودی را در سیستم تولید برنج دارند. با توجه به مطالعات پیشگام و همکاران (۲۰۱۱) میزان مصرف انرژی در تولید برنج در گیلان ۳۹۳۳۳ مگاژول بر هکتار بود که ۴۶ درصد آن مربوط سوخت دیزل و ۳۶ درصد مربوط به کودهای شیمیایی بوده است. نتایج مطالعات واکیل و همکاران (۲۰۱۸) روی برنج در نیجریه نشان داد که کل انرژی مصرفی ۳۶۳۹۷/۸۵ مگاژول در هکتار بود که بیشترین سهم انرژی مصرفی مربوط به آب آبیاری (۴۸/۵۱ درصد) و سوخت (۲۳/۵۸ درصد) بود.

پس از نهاده‌های آب آبیاری و کودهای شیمیایی، انرژی مصرفی نهاده سوخت دیزل در سطح بالاتری نسبت به نهاده‌های دیگر قرار داشت. نهاده‌های ادوات و ماشین‌آلات، الکتریسته، نیروی کارگری، بذر و سموم شیمیایی نیز در رده‌های بعدی مصرف‌کننده‌های انرژی در سیستم‌های آبیاری قرار گرفتند.

شاخص‌های کارایی انرژی، بهره‌وری انرژی، انرژی ویژه و عملکرد انرژی خالص به تفکیک تولید

با توجه به نتایج، بیشترین سهم انرژی مصرفی در سیستم‌های مختلف آبیاری و کشت متعلق به نهاده‌های آب آبیاری و کودهای شیمیایی بود. بیشترین میزان انرژی کودهای شیمیایی مربوط به کود نیتروژن به مقدار ۷۵۴۹/۷۵ و ۷۲۵۹/۴ مگاژول در هکتار به ترتیب برای کشت خشکه‌بذری و کشت نشایی بود. در مطالعه اسکندری چراتی و همکاران (۲۰۱۱) نیز مقدار انرژی کود نیتروژن در کشت برنج با ۶۹۶۹ مگاژول در هکتار بیشتر از کود فسفر (۲۸۶/۳ مگاژول در هکتار) و کود پتاسیم (۳۵۵ مگاژول در هکتار) بود. همچنین، در مطالعه منصوری و همکاران (۲۰۱۲) مقدار انرژی کود نیتروژن با ۱۱۵۱۴ مگاژول در هکتار بیشتر از کود فسفر (۱۰۱۴/۵ مگاژول در هکتار) و کود پتاسیم (۳۷۶/۵ مگاژول در هکتار) گزارش گردید. بوکاری و همکاران (۲۰۰۵) نیز بیان داشتند که انرژی ورودی در کشت برنج ۱۲۴۰۰ مگاژول در هکتار بوده که سهم عمده انرژی ورودی، مربوط به کودهای شیمیایی (۷۷۰۰ مگاژول در هکتار) بود. مطالعه چودری و همکاران (۲۰۱۷) در هند نیز نشان

بساوالینگایا و همکاران (۲۰۲۰) روی شاخص‌های انرژی در سیستم‌های کشت نشایی و بذر مستقیم برنج در هند نشان داد که بیشترین میزان کارایی انرژی (۷/۳)، بهره‌وری انرژی (۰/۳) کیلوگرم بر مگاژول و سودآوری انرژی (۶/۳) به دلیل کاهش بیشتر ورودی انرژی تحت سیستم کشت مستقیم بذر برنج بود.

تجزیه واریانس شاخص‌های انرژی تولید برنج

نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین اثرات تیمارهای مختلف بر شاخص‌های انرژی تولید برنج در جداول (۸) و (۹) نشان داده شدند. نتایج تجزیه واریانس روش آبیاری و کشت نشان داد که انرژی کل نهاده‌ها و ستاده‌ها از نظر روش آبیاری و روش کاشت در سطح ۱٪ اختلاف معنی‌دار داشتند. نتایج تجزیه واریانس کارایی انرژی و بهره‌وری انرژی نشان داد که روش آبیاری و روش کاشت در سطح ۱٪ اختلاف معنی‌دار داشتند اما اثر متقابل روش کاشت در آبیاری معنی‌دار نشد. مقایسه میانگین روش آبیاری و کشت نشان داد که بیشترین انرژی کل نهاده به‌ترتیب برای روش آبیاری غرقاب دائم و روش کشت نشا گلخراب بود و مقادیر کارایی انرژی و بهره‌وری انرژی در روش کشت نشا گلخراب و نشا غیرگلخراب و برای روش‌های آبیاری غرقاب دائم، غرقاب متناوب و قطره‌ای اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند.

پتانسیل گرمایش جهانی حاصل از تولید شلتوک برنج

میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای بر حسب کیلوگرم معادل CO₂ در هکتار منتشر شده به جو در واحد سطح، وزن، انرژی ورودی و انرژی خروجی ناشی از فعالیت‌های مختلف برای تیمارهای مختلف آبیاری و کشت در جدول (۱۰) نشان داده شد. با توجه به نتایج، برای تمام سیستم‌های آبیاری، کشت نشا گلخراب برنج به خاطر کاربرد بیشتر ماشین‌آلات برای آماده‌سازی زمین، بیشترین سهم را در GWP داشت. مقایسه مقادیر GWP

شلتوک برنج برای سیستم‌های مختلف آبیاری و کشت در جدول (۷) آورده شده است. با توجه به نتایج به دست آمده، کارایی انرژی برای سیستم‌های آبیاری تحت فشار در روش نشا غیرگلخراب و برای سیستم‌های آبیاری غرقابی در روش نشا گلخراب بیشتر بوده که بیشترین شاخص کارایی انرژی برای سیستم قطره‌ای با روش کشت نشا غیرگلخراب (۷/۳۵) به دست آمد. بهره‌وری انرژی برای سیستم‌های مختلف بین ۰/۲۴-۰/۱ کیلوگرم بر مگاژول محاسبه شد که بیشترین بهره‌وری انرژی برای سیستم غرقاب دائم در روش کشت نشا گلخراب (۰/۲۴) کیلوگرم بر مگاژول) با توجه به عملکرد بیشتر این تیمار به دست آمد. با توجه به عملکرد کم تیمارهای خشکه-بذری، مقادیر انرژی ویژه این تیمارها بیشتر بود که بیشترین مقدار برای سیستم آبیاری بارانی (۱۰/۲) مگاژول بر کیلوگرم) و کم‌ترین مقدار برای سیستم غرقاب دائم (۴/۲۹) مگاژول بر کیلوگرم) بود. انرژی ویژه کمتر در روش کشت نشایی نسبت به روش کشت خشکه‌بذری نشان داد که انرژی استفاده شده برای تولید یک واحد دانه در روش نشایی کمتر از روش خشکه‌بذری است. خالص انرژی نیز که بیان‌کننده میزان خالص انرژی به‌دست آمده از تیمارها بود، در تیمارهای آبیاری بارانی نسبت به تیمارهای دیگر کمتر بود. نتایج مطالعات مانی و پاتل (۲۰۱۲) روی شاخص‌های انرژی مزارع کوچک، متوسط و بزرگ مقیاس برنج نشایی در هند نشان داد که مقادیر نسبت انرژی به ترتیب ۵/۳۶، ۴/۶۱ و ۳/۹۹، انرژی ویژه ۴/۵۵، ۵/۲۵ و ۶/۳۳ مگاژول بر کیلوگرم، بهره‌وری انرژی ۰/۲۲، ۰/۱۹ و ۰/۱۶ کیلوگرم بر مگاژول و انرژی خالص به ترتیب ۱۴۰۸۳۵/۲، ۱۳۰۹۹۴/۸ و ۱۰۹۲۸۲/۹ مگاژول بر هکتار بود. مطالعات واکیل و همکاران (۲۰۱۸) روی شاخص‌های انرژی برنج نشایی نشان داد که نسبت انرژی ۲/۴۷، انرژی ویژه ۳۱/۳۸ مگاژول بر کیلوگرم، بهره‌وری انرژی ۰/۱۴۷ کیلوگرم بر مگاژول، بهره‌وری آب ۰/۱۰۳ کیلوگرم بر متر مکعب و انرژی خالص ۵۳۵۹۸/۷۱ مگاژول در هکتار بوده است. همچنین، مطالعات

بر اساس واحد سطح (در هکتار) نشان می‌دهد که تولید یک هکتار برنج نشا گلخراپ با سیستم قطره‌ای بیشترین سهم را (۲۲۱۷/۵۲) کیلوگرم معادل CO₂ در هکتار) در GWP نسبت به سایر کشت‌های بررسی شده در این مطالعه داشت. دستان و همکاران (۱۳۹۵) با هدف تخمین ردپای کربن و گرمایش جهانی در نظام‌های تولید رایج، بهبودیافته و حفاظتی برنج بیان کردند که میانگین GWP در سه نظام کاشت برابر ۲۸۰۳/۲۵ کیلوگرم معادل CO₂ در هکتار بوده است. نتایج مطالعات پاتاک و واسمن (۲۰۰۷) در هند نشان داد که پتانسیل گرمایش جهانی برای محصول برنج بین ۲۷۶۶-۴۰۵۴ کیلوگرم معادل CO₂ در هکتار بوده است. همچنین، سونی و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که برنج نشا گلخراپ بیشترین میزان گازهای گلخانه‌ای (۱۱۱۲ کیلوگرم CO₂ در هکتار) را در مقایسه با دیگر محصولات تولید کرده است. نتایج مطالعات بساوالینگایا و همکاران (۲۰۲۰) روی انتشار گازهای گلخانه‌ای مزارع برنج در سیستم‌های تولیدی کشت نشایی و بذر مستقیم برنج در هند نشان داد که کاهش قابل توجهی در انتشار کل گازهای گلخانه‌ای در کشت خشکه‌بذری (۵۷۴/۱ کیلوگرم CO₂ در هکتار) در مقابل سیستم کشت نشایی (۳۹۵۴/۸ کیلوگرم CO₂ در هکتار) وجود دارد. با توجه به نتایج، بیشترین سهم در میزان GWP در کشت برنج مربوط به استفاده از کود نیتروژن، سوخت و ادوات بود. GWP حاصل از تولید، حمل‌ونقل و نگهداری ادوات و ماشین‌آلات در کشت نشا گلخراپ برنج نسبت به روش نشا غیرگلخراپ و خشکه-بذری بیشتر بود. پاتاک (۲۰۱۵) گزارش داد که در روش غرقاب دائم، کودهای نیتروژن و ماشین‌آلات موجب انتشار بیشتر گازهای گلخانه‌ای مزارع نشا گلخراپ می-شوند. همچنین، گلخراپی و غرقاب دائم مزارع نشا گلخراپ برنج باعث افزایش انتشار متان می‌شود. در مقابل، شرایط کشت هوازی موجب کاهش انتشار متان می‌شود.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، مقدار GWP در واحد سطح در روش کشت نشا غیرگلخراپ و خشکه-بذری کمتر از روش کشت نشا گلخراپ است. نتایج به‌دست‌آمده برای مقدار GWP در واحد وزن نشان می-دهد که برای سیستم‌های مختلف آبیاری (به‌جز روش آبیاری غرقاب دائم)، روش کشت نشا غیرگلخراپ به ازای تولید هر تن عملکرد برنج، GWP کمتری داشته‌اند. نتایج GWP در واحد انرژی ورودی نشان می‌دهد که مقدار GWP در سیستم‌های مختلف آبیاری برای روش کشت نشا غیرگلخراپ کمتر از روش‌های کشت نشا گلخراپ و خشکه‌بذری است. همچنین، با توجه به مقادیر GWP در واحد انرژی خروجی، مقدار GWP برای سیستم‌های مختلف آبیاری (به‌جز روش آبیاری غرقاب دائم)، برای روش کشت نشا غیرگلخراپ کمتر است.

تجزیه واریانس پتانسیل گرمایش جهانی برنج

نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین اثرات تیمارهای مختلف بر پتانسیل گرمایش جهانی برنج در جداول (۱۱) و (۱۲) نشان داده شدند. بر اساس نتایج تجزیه واریانس GWP در واحد سطح، روش آبیاری در سطح ۵٪ و روش کاشت و اثر متقابل روش کاشت*آبیاری در سطح ۱٪ معنی‌دار شد. نتایج تجزیه واریانس GWP در واحد وزن و انرژی خروجی نشان داد که روش آبیاری، روش کاشت و اثر متقابل روش کاشت*آبیاری در سطح یک درصد معنی‌دار شد. همچنین، نتایج تجزیه واریانس GWP در واحد انرژی ورودی نشان داد که روش آبیاری و روش کاشت در سطح ۵٪ معنی‌دار شد اما اثر متقابل روش کاشت*آبیاری معنی‌دار نشد. مقایسه میانگین روش کاشت نشان داد که کمترین مقدار GWP مربوط به روش کشت نشا غیرگلخراپ بود و مقایسه میانگین روش آبیاری نشان داد که کمترین مقدار GWP در واحد وزن و انرژی خروجی برای سیستم قطره‌ای و در واحد سطح و انرژی ورودی برای سیستم بارانی به دست آمد.

جدول ۷- میانگین شاخص های کارایی انرژی، بهره وری انرژی (کیلوگرم بر مگاژول)، انرژی ویژه (مگاژول بر کیلوگرم) و عملکرد انرژی خالص (مگاژول بر هکتار) برای شیوه های مختلف آبیاری و کشت

نهادها	آبیاری بارانی			آبیاری غرقاب دائم			آبیاری غرقاب متناوب			آبیاری قطره ای	
	خشکه	نشا	نشا	خشکه	نشا	نشا	خشکه	نشا	نشا	خشکه	نشا
	بذری	غیر گلخراپ	گلخراپ	بذری	غیر گلخراپ	گلخراپ	بذری	غیر گلخراپ	گلخراپ	بذری	غیر گلخراپ
کل انرژی نهاده ها	۲۷۸۷۱/۸	۲۹۲۸۷/۷	۳۶۱۲۱/۳۵	۳۱۴۵۳/۳	۳۱۸۰۶/۴	۳۴۰۸۸/۳	۲۹۹۰۹/۱	۳۰۳۹۹	۳۳۱۷۰/۵	۲۸۶۰۷/۹	۳۶۳۶۶/۲
کل انرژی ستاده ها	۱۴۰۶۵۶/۶	۱۷۸۰۶۲/۷	۲۰۲۹۴۰/۹	۱۹۸۵۷۰/۹	۱۹۹۴۵۷/۲	۲۴۷۹۱۳/۴	۱۸۱۸۹۴	۲۰۱۱۳۲/۷	۲۲۴۰۴۶/۶	۱۸۰۸۱۸	۲۴۹۹۷۱/۱
کارایی انرژی	۵/۰۵	۶/۰۸	۵/۶۲	۶/۳۱	۶/۲۷	۷/۲۷	۶/۰۸	۶/۶۲	۶/۷۶	۶/۳۲	۶/۸۷
بهره وری انرژی	۰/۱	۰/۱۵	۰/۱۹	۰/۱۵	۰/۲۲	۰/۲۴	۰/۱۴	۰/۲۲	۰/۲۳	۰/۱۵	۰/۲
انرژی ویژه	۱۰/۲	۶/۴۷	۵/۲۵	۶/۷۲	۴/۵۳	۴/۲۹	۷/۱۴	۴/۵۹	۴/۴۴	۶/۸۵	۴/۹۲
عملکرد انرژی خالص	۱۱۲۷۸۴/۸	۱۴۸۷۷۵	۱۶۶۸۱۹/۵	۱۶۷۱۱۷/۷	۱۶۷۶۵۰/۸	۲۱۳۸۲۵/۱	۱۵۱۹۸۴/۹	۱۷۰۷۳۳/۷	۱۹۰۸۷۶/۱	۱۵۲۳۱۰/۱	۱۸۸۹۰۲/۷

جدول ۸- تجزیه واریانس شاخص های انرژی تولید برنج در سطح هکتار

منابع تغییر	درجه آزادی	کل نهاده ها	کاه	شلتوک برنج	کل ستاده ها	کارایی انرژی	بهره وری انرژی	انرژی ویژه	انرژی خالص
تکرار	۲	۱۹۳۲۷ ^{NS}	۱۵۳۴۳۰۵۸۰۸ ^{**}	۱۷۵۲۰۶۲۲ ^{NS}	۱۵۴۱۸۸۱۵۱۱ [*]	۱/۰۸۳ ^{NS}	۰/۰۰۰۰۸ ^{NS}	۰/۵۱۷ ^{NS}	۱۵۳۰۶۳۲۸۴۴ ^{**}
روش آبیاری	۳	۳۵۱۷۵۷۲ ^{**}	۹۵۵۹۹۶۷۷ ^{**}	۱۱۹۷۰۹۷۸۵۵ ^{**}	۳۵۳۱۷۳۱۹۵۰ ^{**}	۲/۷۷۴ ^{**}	۰/۰۰۵۰۶ ^{**}	۸/۷۰۴ ^{**}	۳۳۸۵۷۰۸۲۰۱ ^{**}
خطای اصلی	۶	۳۶۸۷۸	۱۴۶۶۴۵۸۲۳	۶۳۰۹۸۱۰۳	۲۹۶۲۳۸۷۹۵	۰/۸۱۷	۰/۰۰۰۳۸	۰/۵۴	۲۹۷۹۵۹۱۷۳
روش کاشت	۲	۱۰۴۳۸۹۶۵۵ ^{**}	۴۶۰۹۷۹۵۰۴ ^{NS}	۸۰۰۲۲۰۴۰۱۴ ^{**}	۹۳۸۳۹۶۳۱۳ ^{**}	۱/۷۸۳ ^{**}	۰/۰۲۱۹ ^{**}	۳۲/۳۹۶ ^{**}	۷۵۹۵۴۷۱۸۴۴ ^{**}
روش کاشت*آبیاری	۶	۷۴۰۲۴۶۰ ^{**}	۴۴۹۲۱۷۸۰۱ [*]	۷۸۵۲۳۸۷۶ ^{NS}	۲۹۶۶۹۴۴۷۳ ^{NS}	۰/۳۹۱ ^{NS}	۰/۰۰۰۳۵ ^{NS}	۱/۳۹۷ ^{NS}	۲۷۶۵۳۳۸۲۶ ^{NS}
خطای فرعی	۱۶	۳۵۵۹۶	۱۲۸۱۷۷۵۶۹۵	۶۱۸۸۵۹۷۸	۲۵۳۹۸۰۵۱۰	۰/۲۶۵	۰/۰۰۰۲۶	۰/۵۰۵	۲۵۳۷۹۹۲۸۲
ضریب تغییرات	-	۰/۵۹	۹/۷	۹/۱	۷/۸	۲/۰۶	۰/۸	۱/۸	۹/۳

NS، * و ** به ترتیب غیر معنی داری و معنی داری در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪

جدول ۹- مقایسه میانگین اثر روش آبیاری و روش کاشت بر شاخص های انرژی در تولید برنج

صفات	کل نهاده ها	کاه	شلتوک برنج	کل ستاده ها	کارایی انرژی	بهره وری انرژی	انرژی ویژه	انرژی خالص
خشکه بذری	۲۹۴۶۰ ^c	۱۱۶۹۷۷ ^b	۵۸۵۰۸ ^c	۱۷۵۴۸۵ ^c	۵/۹۳ ^b	۰/۱۳۴ ^b	۷/۷۳ ^a	۱۴۶۰۲۴ ^c
روش کاشت	۳۰۳۹۹ ^b	۱۰۹۲۶۳ ^{ab}	۹۰۰۵۹ ^b	۱۹۹۳۲۲ ^b	۶/۵۸ ^a	۰/۲۰۱ ^a	۵/۰۷ ^b	۱۶۹۰۲۲ ^b
نشا گلخراپ	۳۴۹۳۶ ^a	۱۲۱۵۲۳ ^a	۱۰۹۶۹۵ ^a	۳۳۱۲۱۸ ^a	۶/۶۳ ^a	۰/۲۱۳ ^a	۴/۷۳ ^b	۱۹۶۲۸۱ ^a
بارانی	۳۱۰۹۳ ^c	۱۰۴۱۱۹ ^c	۶۹۷۶۸ ^c	۱۷۳۸۸۷ ^b	۵/۵۸ ^b	۰/۱۴۸ ^b	۷/۳ ^a	۱۴۲۷۹۳ ^c
روش آبیاری	۳۲۴۴۹ ^a	۱۱۸۵۰۲ ^{ab}	۹۶۸۱۲ ^a	۲۱۵۳۱۴ ^a	۶/۶۱ ^a	۰/۲۰۱ ^a	۵/۱۸ ^b	۱۸۲۸۶۵ ^a
غرقاب متناوب	۳۱۱۵۰ ^c	۱۱۲۴۶۳ ^{bc}	۸۹۸۹۵ ^{ab}	۲۰۲۳۵۸ ^a	۶/۴۸ ^a	۰/۱۹۵ ^a	۵/۳۹ ^b	۱۷۱۲۰۷ ^a
قطره ای	۳۱۵۶۸ ^b	۱۲۸۶۰۰ ^a	۸۷۸۷۴ ^b	۲۱۶۴۷۴ ^a	۶/۸۴ ^a	۰/۱۸۷ ^a	۵/۴۹ ^b	۱۸۴۹۰۶ ^a

برای هر صفت، در هر ستون، اعدادی که با حروف یکسان نمایش داده شده اند اختلاف معنی داری در سطح احتمال ۵٪ آزمون LSD ندارند

جدول ۱۰- مقادیر پتانسیل گرمایش جهانی به صورت کیلوگرم معادل CO₂ در واحد سطح، وزن، انرژی ورودی و انرژی خروجی ناشی از فعالیت‌های مختلف برای تیمارهای مختلف آبیاری و کشت

نهادها	آبیاری بارانی			آبیاری غرقاب دائم			آبیاری غرقاب متناوب			آبیاری قطره‌ای		
	خشکه بذری	نشا	گلخراب	خشکه بذری	نشا	گلخراب	خشکه بذری	نشا	گلخراب	خشکه بذری	نشا	گلخراب
نهادهای زراعی:												
نیترژن (N)	۵۴۹/۷۳	۵۲۸/۵۸	۵۲۸/۵۸	۵۴۹/۷۳	۵۲۸/۵۸	۵۲۸/۵۸	۵۴۹/۷۳	۵۲۸/۵۸	۵۲۸/۵۸	۵۴۹/۷۳	۵۲۸/۵۸	۵۲۸/۵۸
فسفر (P ₂ O ₅)	۸۷/۲۳	۶۵/۴۲	۶۵/۴۲	۸۷/۲۳	۶۵/۴۲	۶۵/۴۲	۸۷/۲۳	۶۵/۴۲	۶۵/۴۲	۸۷/۲۳	۶۵/۴۲	۶۵/۴۲
پتاسیم (K ₂ O)	۵۲/۱۹	۵۴/۹۴	۵۴/۹۴	۵۲/۱۹	۵۴/۹۴	۵۴/۹۴	۵۲/۱۹	۵۴/۹۴	۵۴/۹۴	۵۲/۱۹	۵۴/۹۴	۵۴/۹۴
آفت‌کش‌ها	۱۰۰/۳۷	۲۱۷/۹۹	۲۱۷/۹۹	۱۰۰/۳۷	۲۱۷/۹۹	۲۱۷/۹۹	۱۰۰/۳۷	۲۱۷/۹۹	۲۱۷/۹۹	۱۰۰/۳۷	۲۱۷/۹۹	۲۱۷/۹۹
تولید، حمل‌ونقل و نگهداری:												
ادوات و ماشین‌آلات	۲۴۱/۵۹	۲۲۲/۴۱	۶۳۳/۳۸	۴۳۹/۱۷	۴۱۸/۸۳	۶۳۴/۸۷	۴۳۸/۴۲	۴۱۸/۵	۶۳۴/۴۹	۲۴۱/۵۶	۲۲۲/۳۶	۶۳۴/۲۵
حمل‌ونقل	۱۷/۵۳	۱۵/۶۳	۱۹/۰۲	۱۹/۲۲	۱۷/۳۳	۱۹/۰۲	۱۹/۲۲	۱۷/۳۳	۱۹/۰۲	۱۷/۵۳	۱۵/۶۳	۱۹/۰۲
سوخت:												
برای عملیات کشاورزی	۳۶۴/۸۷	۳۳۳/۵۵	۴۱۰/۲۲	۴۰۵/۷۷	۳۷۴/۳۵	۴۱۰/۴۷	۴۰۵/۵۸	۳۷۴/۱۶	۴۱۰/۴۱	۳۶۴/۹۱	۳۳۳/۵۵	۴۱۰/۲۶
برای آبیاری	۱۶۸/۸۵	۱۷۲/۵۵	۱۷۶/۱۴	۲۴۴/۸۳	۲۲۰/۰۷	۱۹۹/۸۱	۲۰۱/۲۲	۱۷۷/۴۸	۱۶۰/۴۱	۳۵۱/۲۲	۳۱۴/۰۶	۲۸۷/۰۵
GWP کل در واحد سطح	۱۵۸۲/۳۶	۱۶۱۱/۰۷	۲۱۰۵/۶۹	۱۸۹۸/۵۱	۱۸۹۷/۵۲	۲۱۳۱/۱	۱۸۵۳/۹۵	۱۸۵۴/۴	۲۰۹۱/۲۸	۱۷۶۴/۷۳	۱۷۵۲/۵۳	۲۲۱۷/۵۲
در واحد وزن	۱۴۷/۱۱	۱۱۹/۸	۱۴۰/۱۷	۱۲۶/۰۵	۱۲۸/۹	۱۱۵/۷۲	۱۳۴/۲۷	۱۲۴/۲۶	۱۲۵/۹۳	۱۲۸/۵۵	۱۰۷/۰۱	۱۱۸/۶۴
در واحد انرژی ورودی	۵۶/۷۷	۵۵/۰۱	۵۸/۲۹	۶۰/۳۶	۵۹/۶۶	۶۲/۵۲	۶۲	۶۱	۶۳/۰۵	۶۱/۷	۵۸/۹۵	۶۱
در واحد انرژی خروجی	۱۱/۲۵	۹/۰۵	۱۰/۳۸	۹/۵۶	۹/۵۱	۸/۶	۱۰/۱۹	۹/۲۳	۹/۳۳	۹/۷۶	۸/۰۲	۸/۸۷

* سوخت جهت تولید الکتریسیته یا مصرف برای پمپاژ آب

جدول ۱۱- تجزیه واریانس پتانسیل گرمایش جهانی برنج در سطح هکتار

منابع تغییر	درجه آزادی	GWP کل در واحد سطح	GWP کل در واحد وزن	GWP کل در واحد	GWP کل در واحد انرژی خروجی
تکرار	۲	۴۳۷۷۵ ^{ns}	۱۴۰/۱ ^{ns}	۱۲/۵ ^{ns}	۰/۸۱ ^{ns}
روش آبیاری	۳	۷۴۴۲۵*	۵۰۹/۳**	۸۸*	۳/۰۲**
خطای اصلی	۶	۶۹۶۶	۵۹/۱	۱۸/۴	۰/۲۵
روش کاشت	۲	۵۱۷۰۲۱**	۶۵۶/۹**	۳۵/۶*	۵/۳۱**
روش کاشت*آبیاری	۶	۳۱۲۷۵**	۱۸۹/۶**	۱/۳ ^{ns}	۰/۹۱**
خطای فرعی	۱۶	۵۴۹۶	۲۱	۱۰/۳	۰/۱۲
ضریب تغییرات	-	۶/۵	۳/۶	۶/۷	۳/۷

ns, * و ** به ترتیب غیر معنی داری و معنی داری در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪

جدول ۱۲- مقایسه میانگین اثر روش آبیاری و روش کاشت بر پتانسیل گرمایش جهانی برنج

صفات	GWP کل در واحد سطح	GWP کل در واحد وزن	GWP کل در واحد انرژی ورودی	GWP کل در واحد انرژی خروجی
خشکه بذری	۱۷۷۴ ^b	۱۳۴/۷ ^a	۶۰/۱ ^a	۱۰/۲ ^a
روش کاشت	۱۷۷۸ ^b	۱۲۰/۱ ^c	۵۸/۶ ^a	۸/۹ ^c
نشا گلخراپ	۲۱۳۶ ^a	۱۲۵/۱ ^b	۶۱/۲ ^a	۹/۲ ^b
بارانی	۱۷۶۶ ^b	۱۳۶ ^a	۵۶/۶ ^b	۱۰/۲ ^a
غرقاب دائم	۱۹۷۵ ^a	۱۲۳/۹ ^b	۶۰/۸ ^a	۹/۲ ^b
روش آبیاری	۱۹۳۳ ^a	۱۲۸/۴ ^b	۶۳ ^a	۹/۶ ^b
قطره ای	۱۹۱۱ ^a	۱۱۸/۲ ^c	۶۰/۵ ^{ab}	۸/۸ ^c

برای هر صفت، در هر ستون اعدادی که با حروف یکسان نمایش داده شده اند اختلاف معنی داری در سطح احتمال ۵٪ آزمون LSD ندارند

نتیجه گیری

این مطالعه، به ارزیابی ورودی و خروجی انرژی و پتانسیل گرمایش جهانی برنج تحت تیمارهای کشت نشا گلخراپ، نشا غیرگلخراپ و خشکه بذری برای سیستم های آبیاری بارانی، غرقاب دائم، غرقاب متناوب و قطره ای پرداخت. میانگین ورودی و خروجی انرژی برآورد شده در هر هکتار برای سیستم های مختلف آبیاری، در تیمار نشا گلخراپ بیشتر از تیمارهای دیگر بود. بیشترین میزان انرژی ورودی مربوط به سیستم آبیاری قطره ای و برای کشت نشا گلخراپ (۳۶۳۶۶/۲) مگاژول در هکتار) بود. بیشترین سهم انرژی مصرفی در سیستم های مختلف آبیاری و کشت متعلق به نهاده آب آبیاری و کودهای شیمیایی بود. پس از این دو نهاده، انرژی مصرفی نهاده سوخت دیزل در سطح بیشتری نسبت به نهاده های دیگر قرار داشت. با توجه به نتایج، میزان انرژی خروجی برای کشت نشا گلخراپ بیشتر از کشت های دیگر بود که بیشترین میزان انرژی خروجی مربوط به سیستم قطره ای و

برای کشت نشا گلخراپ، به میزان ۲۴۹۹۷۱/۱ مگاژول بر هکتار بود. شاخص کارایی انرژی برای سیستم های مختلف بین ۷/۳۵-۵/۰۵ کیلوگرم بر مگاژول بود. کارایی انرژی برای سیستم های آبیاری تحت فشار در روش نشا غیرگلخراپ و برای سیستم های آبیاری غرقابی در روش نشا گلخراپ بیشتر بود. بهره وری انرژی برای سیستم های مختلف بین ۰/۱-۰/۲۴ کیلوگرم بر مگاژول محاسبه شد که بیشترین بهره وری انرژی برای سیستم غرقاب دائم در روش کشت نشا گلخراپ (۰/۲۴ کیلوگرم بر مگاژول) با توجه به عملکرد بیشتر این تیمار به دست آمد. با توجه به نتایج مقایسه میانگین کارایی انرژی و بهره وری انرژی، تیمارهای نشا گلخراپ و نشا غیرگلخراپ اختلاف معنی داری با هم نداشتند. با توجه به عملکرد کم تیمارهای خشکه بذری مقادیر انرژی ویژه این تیمارها بیشتر بود و بیشترین مقدار برای سیستم آبیاری بارانی (۱۰/۲ مگاژول بر کیلوگرم) و کم ترین مقدار برای سیستم غرقاب دائم (۴/۲۹ مگاژول بر کیلوگرم) بود. انرژی خالص نیز در

تیمارهای بارانی نسبت به تیمارهای دیگر کمتر بود. همچنین، طبق نتایج به دست آمده برای تمام سیستم‌های آبیاری، کشت نشا گلخراپ برنج بیشترین سهم را در GWP داشت که بیشترین سهم در میزان GWP، مربوط به استفاده از کود نیتروژن، سوخت و ادوات و ماشین‌آلات بود. نتایج مقایسه میانگین پتانسیل گرمایش جهانی در واحد سطح، وزن، انرژی ورودی و انرژی خروجی نشان داد که سیستم‌های نوین آبیاری با شیوه کشت نشا غیرگلخراپ (با توجه به نهاده کمتر و عملکرد مشابه با کشت نشا گلخراپ) می‌توانند روش مناسبی برای کشت برنج برای کاهش مصرف انرژی و پتانسیل گرمایش جهانی آن باشند.

فهرست منابع

۱. الماسی، م. ۱۳۸۰. مدیریت انرژی در کشاورزی، درسنامه دانشگاه شهید چمران اهواز.
۲. پیمان، م.، ر.، رومی، و م.، علی زاده. ۱۳۸۴. تعیین انرژی مصرفی در دو روش سستی و مکانیزه برای تولید برنج (بررسی موردی در استان گیلان). تحقیقات مهندسی کشاورزی، ۶(۲۲): ۶۷-۸۰.
۳. دستان، س.، ا.، سلطانی، ق.، نورمحمدی، ح.، مدنی، و ر.، یدی. ۱۳۹۵. تخمین ردپای کربن و پتانسیل گرمایش جهانی در نظام‌های تولید برنج. فصلنامه علوم محیطی، ۱۴(۱): ۲۸-۱۹.
۴. رجبی، م.، ح.، ا.، سلطانی، ا.، زینلی، و ا.، سلطانی. ۱۳۹۱. ارزیابی مصرف انرژی در تولید گندم در گرگان. مجله پژوهش‌های تولیدات گیاهی، ۱۹(۳): ۱۷۲-۱۴۳.
۵. رضوی، س.، ج.، و ا.، ف.، میرلوحی. ۱۳۷۵. مطالعه شرایط کنونی تولید برنج در استان اصفهان. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۵۷ صفحه.
۶. رضضانی امیری، ه.، و م.، زیبایی. ۱۳۹۰. بررسی ارتباط میان انرژی نهاده‌های مصرفی و عملکرد محصولات گوجه، خیار، خربزه تحت شرایط کشت زیر پلاستیک در شهرستان فیروزآباد فارس. نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی، ۲۵(۱): ۵۸-۶۵.
۷. سجادیان، م.، ع.، علیپور جهانگیری، ج.، کامبوزیا، ز. م.، هری، و بهشتی، م.، مارنانی. ۱۳۹۲. مقایسه کارایی انرژی کشت بوم‌های برنج (*Oryza sativa* L.) در دو استان گیلان و کهگیلویه و بویر احمد. مجله کشاورزی بوم شناختی، ۳(۱): ۲۶-۱۷.
۸. کولائی، ع.، و غلامی، م.، سفیدکوهی. ۱۳۹۱. معرفی بهترین روش تعیین بارندگی مؤثر کشت برنج در شهرستان قائم‌شهر. سومین همایش ملی مدیریت جامع منابع آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.
9. Acaroglu, M. 1998. Energy from Biomass, and Applications. University of Selcuk, Graduate School of Natural and Applied Sciences. Textbook.
10. Basavalingaiah, K., Y. M., Ramesha, V., Paramesh, G. A., Rajanna, Sh., Lal Jat, S., Misra, Gaddi, H. C., Girisha, G. S., Yogesh, S., Raveesha, T. K., Roopa, K. S., Shashidhar, B., Kumar, D. O., El-Ansary, and H. O., Elansary. 2020. Energy Budgeting, Data Envelopment Analysis and Greenhouse Gas Emission from Rice Production System: A Case Study from Puddled Transplanted Rice and Direct-Seeded Rice System of Karnataka, India. Sustainability, 12, 6439, p.p 19.
11. Bhushan, L., J.K., Ladha, R.K., Gupta, S., Singh, A., Tirol-Padre, Y.S., Saharawat, M., Gathala, and H., Pathak. 2007. Saving of water and labor in a rice-wheat system with no-tillage and direct seeding technologies. *Agronomy Journal* 99: 1288-96.

12. Bockari-Gevao, S. M., W. I., Ismail, A., Yahya, and C. C., Wan. 2005. Energy consumption in lowland rice-based cropping system of Malaysia. *Songklanakarin J. Sci. Technol.* 27(4): 819-826.
13. Canakci, M., and I., Akinci. 2006. Energy use pattern analyses of greenhouse vegetable production. *Energy Conversion and Management*, 31: 1243-1256.
14. Chaudhary, V., B., Gangwar, and D., Pandey. 2006. Auditing of energy use and output of different cropping systems in India. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*. Manuscript EE 05001 Vol. 8.
15. Chaudhary, V.P., K.K., Singh, G., Pratibha, R., Bhattacharyya, M., Shamim, I., Srinivas, and A., Patel, 2017. Energy conservation and greenhouse gas mitigation under different production systems in rice cultivation. *Energy*, 130, 307-317. [CrossRef]
16. Chauhan, B. S., and J., Opeña. 2012. Effect of tillage systems and herbicides on weed emergence, weed growth, and grain yield in dry-seeded rice systems. *Field Crop Res.* 137:56-69. Doi: 10.1016/j. fcr.2012.08.016
17. Dalgaard, T., N., Halberg, and J., Fenger. 2000. Fossil energy use and emissions of greenhouse gases- three scenarios for conversion to 100% organic farming in Denmark. In: van Lerland, E., A.Q. Lansink. and E. Schmieman. (Eds.), *Proceedings of the International Conference on Sustainable Energy: New Challenges for Agriculture and Implications for Land Use*, Wageningen, the Netherlands. Chapter, 7.2.1, 11 p.
18. Deike, S., B., Pallutt, and O., Christen. 2008. Investigation on the energy efficiency of organic and integrated farming with specific emphasis on pesticide use intensity. *European Journal of Agronomy*, 28, 461-470.
19. Erdal, G., Esengun, K., Erdal, H., and O., Gunduz. 2007. Energy use and economical analysis of sugar beet production in Tokat province of Turkey. *Energy*, 32: 35-41.
20. Eskandari cherati, F. A., H., Bahrami, and A., Asakereh. 2011. Energy survey of mechanized and traditional rice production system in Mazandaran province of Iran. *African journal of Agriculture Reserch*, 11: 2565-2570.
21. Gundogmus, E. 2006. Energy use on organic farming: A comparative analysis on organic versus conventional apricot production on small holding in Turkey. *Energy Conversion and Management*, 47, 335-351.
22. Hulsbergen, K. J., B., Feil, S., Biermann, G. W., Rathke, W. D., Kalk, and W., Diepenbrock. 2001. A method of energy balancing in crop production and its application in a long- term fertilizer trial. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 86(3): 303-321.
23. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2007. Summary for policy makers. *The Physical Science Basis*, 7: 165-177.
24. Intergovernmental panel on climate (IPCC).1996. *Revised Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*.Cambridge University Press, UK.
25. Iqbal, T. 2007. Energy input and output for production of *Boro Rice* in Bangladesh. *EJEAFChe*, 6 (5): 2144-2149.
26. Islam, A. K. M. S., M. A., Rahman, R. I., Saker, M., Ahiduzzaman, and M. A., Baqui. 2001. Energy audit for rice production under power tillage and bullock farming systems in Bangladesh. *Online J. of Biol. Sci.*, 1: 873-876.
27. Jat, M.L., M.K., Gathala, J.K., Ladha, Y.S., Saharawat, A.S., Jat, V., Kumar, A.S., Sharma, and R.K., Gupta. 2009. Evaluation of precision land leveling and double zero-till systems in the rice-wheat rotation: Water use, productivity, profitability and soil physical properties. *Soil Tillage Research* 105(1): 112-121.
28. Kaltsas, A. M., A. P., Mamolos, C. A., Tsatsarelisb, G. D., Nanosc, and K. L., Kalburtji. 2007. Energy budget in organic and conventional olive groves. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 122 (2): 243-251.
29. Kitani, O. 1998. CIGR, *Handbook of agricultural engineering volume 5, Energy and Biomass Engineering*. ASAE publication. 5, p.330.
30. Mahajan, G., T.S., Baharaj, and J., Timsina. 2009. Yield and water productivity of rice as affected by time of transplanting in Punjab India. *Agric Water Manage*, 96: 525-32.

31. Mahajan, G., B.S., Chauhan, J., Timsina, P.P., Singh, and K., Singh. 2012. Crop performance and water- and nitrogen-use efficiencies in dry-seeded rice in response to irrigation and fertilizer amounts in northwest India. *Field Crops Research*, 134: 59–70.
32. Mani, I., and S. K., Patel. 2012. Energy Consumption Pattern in Production of Paddy Crop in Haryana State in India. *Agricultural Mechanization in Asia, Africa & Latin America*, 43(2): 39-42.
33. Mansoori, H., P., Rezvani Moghadam, and R. H., Moradi. 2012. Energy budget and economic analysis in conventional and organic rice production systems and organic scenarios in the transition period in Iran. *Energy*, 6: 341-350.
34. Mobtaker, H. G., A., Akram, A., Keyhani, and A., Mohammadi, 2011. Energy consumption in alfalfa production: A comparison between two irrigation systems in Iran. *African Journal of Plant Science*, 5(1): 47-51.
35. Singh, J. M. 2002. On Farm Energy Use Pattern in Different Cropping Systems in Haryana, India. MSc. thesis, International Institute of Management University of Flensburg, Germany.
36. National Greenhouse Accounts Factors. 2011. www.climatechange.gov.au, Commonwealth of Australia.
37. Ozkan, B., H., Akcaoz, and C., Fert. 2004. Energy input-output analysis in Turkish agriculture. *Renewable Energy*, 29(1): 39-51.
38. Pathak, H., and R., Wassmann. 2007. Introducing greenhouse gas mitigation as a development objective in rice-based agriculture: I. Generation of technical coefficients. *Agric. Syst*, 94: 807-825.
39. Pathak, H. 2015. Greenhouse Gas Emission from Indian Agriculture: Trends, Drivers and Mitigation Strategies. *Proc. Indian Natl. Sci. Acad.*, 81, 1133–1149. [CrossRef]
40. Pishgar-Komleh, S. H., P., Sefeedpari, and S., Rafiee. 2011. Energy and economic analysis of rice production under different farm levels in Guilan province of Iran. *Energy*, 36: 5824-5831.
41. Rathke, G. W., B. J., Wienhold, W. W., Wilhelm, and W., Diepenbrock. 2007. Tillage and rotation effect on corn soybean energy balances in eastern Nebraska. *Soil and Tillage Research*, 6: 245-261.
42. Sharma, P. K., L., Bhushan, J. K., Ladha, R. K., Naresh, R. K., Gupta, B. V., Balasubramanian, and B. A. M., Bouman. 2002. Crop-water relations in rice-wheat cropping under different tillage systems and watermanagement practices in a marginally sodic, medium-textured soil. *Water-wise rice production. International Rice Research Institute, Los Baños*, 8: 223–235.
43. Singh, A. K., B. U., Choudhury, and B. A. M., Bouman. 2002. Effects of rice establishment methods on crop performance, water use, and mineral nitrogen. *Water-wise rice production. International Rice Research Institute, Los Baños*, 8: 237–246.
44. Singh, S., S., Singh, J. P., Mittal C. J. S., Pannu, and B. S., Bhangoo. 1994. Energy inputs and crop yield relationships for rice in Punjab. *Energy*, 19(10):1061-1065.
45. Smith, P., D., Martino, Z., Cai, D., Gwary, H., Janzen, P., Kumar, B., Mccarl, S., Ogle, F., O'Mar, C., Rice, B., Scholes, O., Sirotenko, M., Howden, T., McAllister, G., Pan, V., Romanenkov, U., Schneider, and S., Towprayoon. 2007. Policy and technological constraints to implementation of greenhouse gas mitigation options in agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 118, 6-28.
46. Soltani, A., M. H., Rajabi, E., Zeinali, and E., Soltani. 2013. Energy inputs and greenhouse gases emissions in wheat production in Gorgan, Iran. *Energy*, 50: 54-61.
47. Soni, P., C., Taewichit, and V. M., Salokhe. 2013. Energy consumption and CO 2 emissions in rainfed agricultural production systems of Northeast Thailand. *Agric. Syst.*, 116, 25–36. [CrossRef]
48. Wakil, M., A., Ibrahim, A. S., Shehu Umar, and G., Bukar. 2018. Analysis of energy input-output of irrigated rice production in Jere Bowl Borno State, Nigeria. *African Journal of Agricultural Research*, 1661-1666.

49. Yaldiz, O., H. H., Ozturk, Y., Zeren, and A., Bascetincelik, 1993. Energy usage in production of field crops in Turkey. In: Vth international congress on mechanization and energy in agriculture. Izmir-Turkey, p. 527-36.
50. Yuan, S. and S., Peng. 2017. Input-output energy analysis of rice production in different crop management practices in central China. Elsevier, Energy, 141: 1124-1132.

اثر بیوپار حاصل از منابع مختلف بر عملکرد و کارایی مصرف آب گندم

حسن اصولی^۱، احمد کریمی و حسین شیرانی

دانشجوی سابق دکتری فیزیک و حفاظت خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.

osoolih@gmail.com

استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.

karimiahmad1342@yahoo.com

استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان، رفسنجان، ایران.

shirani@vru.ac.ir

دریافت: تیر ۱۴۰۰ و پذیرش: آذر ۱۴۰۰

چکیده

افزودن بقایای آلی به صورت بیوپار به خاک با هدف بهسازی آن، رهیافت جدیدی در مدیریت بقایای آلی است. در پژوهش‌های قبلی، بیشترین تمرکز محققان به مقدار بیوپار اضافه‌شده به خاک بوده است. این تحقیق با هدف بررسی ویژگی‌های بیوپارهای تهیه‌شده از منابع مختلف (کاه گندم، ورمی کمپوست و چوب درخت زردآلو) و اثرات مقادیر و اندازه ذرات آن بیوپارها بر عملکرد و کارایی مصرف آب (WUE) گندم انجام شد. در آزمایشی فاکتوریل با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار، اثر سه بیوپار مذکور در مقادیر 0.5% (R1)، 1.5% (R2) و 3% (R3) وزنی با اندازه ذرات $0.5 \leq (S_1)$ ، $0.5-1$ (S2) و $1-2$ (S3) میلی‌متر در دو سال زراعی متوالی بررسی شد. بیوپارهای مورد مطالعه فقط در سال اول تا عمق ۱۵-۰ سانتی‌متر به خاک اضافه شدند. در هر تکرار یک کرت شاهد هم در نظر گرفته شد. اثرات متقابل فاکتورهای آزمایش (به جز اثر سال در مقدار بیوپار) بر عملکرد و کارایی مصرف آب معنی‌دار بود. مقایسه میانگین عملکرد و کارایی مصرف آب در هر نوع بیوپار نشان داد که در سال اول و دوم، تیمار بیوپار کاه گندم در مقدار R3 و اندازه ذرات S2، بیشترین عملکرد به ترتیب ۵۲۰۰ و ۶۶۶۴ کیلوگرم در هکتار و کارایی مصرف آب به ترتیب $1/6$ و $2/1$ کیلوگرم بر مترمکعب را داشت. در سال اول، در تیمارهای بیوپار ورمی کمپوست، بیشترین عملکرد (۴۵۱۷ کیلوگرم در هکتار) و کارایی مصرف آب ($1/4$ کیلوگرم بر مترمکعب) در مقدار R2 با اندازه ذرات S3 مشاهده گردید. در همان سال، در بین تیمارهای بیوپار چوب درخت زردآلو، تیمار با مقدار R3 با اندازه ذرات S3 بیشترین عملکرد (۳۸۷۱ کیلوگرم در هکتار) و کارایی مصرف آب ($1/2$ کیلوگرم بر مترمکعب) را داشت. در سال دوم، در تیمار بیوپار ورمی کمپوست، بیشترین عملکرد (۶۶۱۵ کیلوگرم در هکتار) و کارایی مصرف آب ($2/04$ کیلوگرم بر مترمکعب) در مقدار R3 با اندازه ذرات S2 و در بیوپار چوب درخت زردآلو، بیشترین عملکرد (۵۲۶۳ کیلوگرم در هکتار) و کارایی مصرف آب ($1/6$ کیلوگرم بر مترمکعب) در مقدار R2 با اندازه ذرات S3 آن بیوپار مشاهده شد. در بین تمام تیمارهای مورد مطالعه، بیشترین عملکرد و کارایی مصرف آب (در هر دو سال) در بیوپار گندم با مقدار R3 و با اندازه ذرات بیوپار S2 مشاهده شد. نتایج نشان داد که علاوه بر نوع بیوپار، اثر متقابل مقدار و اندازه ذرات بیوپار، اثر تعیین‌کننده‌ای در افزایش میزان عملکرد و کارایی مصرف آب داشت.

واژه‌های کلیدی: اندازه ذرات بیوپار، خاک آهکی، بقایای آلی، ورمی کمپوست

^۱ - آدرس نویسنده مسئول: دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.

مقدمه

در مناطق خشک و نیمه خشک، کمی بارش‌های جوی و خشک‌سالی‌های پی‌درپی موجب فشار بیش‌ازحد به منابع آب در جهت تأمین آب موردنیاز کشت‌های آبی شده است. یکی از راهکارهای مدیریت میزان مصرف آب آبیاری، بالا بردن ظرفیت نگهداشت رطوبت در خاک، افزایش میزان عملکرد در واحد سطح و بالا بردن کارایی مصرف آب در محصولات کشاورزی است. گندم به‌عنوان یکی از محصولات اساسی کشاورزی، جایگاه خاصی در تغذیه مردم ایران دارد و تأمین به‌اندازه این محصول اهمیت ویژه‌ای دارد. راه‌حل عمومی برای افزایش تولید این محصول مهم، اصلاح ویژگی‌های خاک با اضافه کردن مواد آلی (بقایای گیاهی و جانوری) و یا فرم کمپوست شده آن‌ها است (سالدافو و همکاران، ۲۰۱۶). افزودن بقایای آلی به خاک به فرم بیوچار به‌منظور اصلاح ویژگی‌های آن، رهیافت جدیدی در مدیریت بقایای آلی است. افزودن بیوچار به خاک علاوه بر تثبیت کربن، اثرات مثبت آگرونومیکی و زیست‌محیطی زیادی داشته و موجب اصلاح ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک می‌شود (دوکوهکی و همکاران، ۲۰۱۹).

بیوچار یک ماده آلی غنی از کربن است که از حرارت دادن بقایای آلی در دمای ۳۰۰ تا ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد، در شرایط بدون اکسیژن یا با اکسیژن کم (گرما کافت) تولید می‌شود. در آن فرایند، بقایای گیاهان زراعی، باغی، جنگلی و پسماند گیاهان صنعتی و فضولات دامی به مواد غنی از کربن به نام بیوچار و مواد فرار تبدیل می‌شوند (ورهیژن و همکاران، ۲۰۱۹). بیوچار به دلیل قابلیت ایجاد تغییر در ویژگی‌های خاک، امروزه به‌عنوان موضوع بسیاری از تحقیقات قرار گرفته است (بایامونت و همکاران، ۲۰۱۷). بیوچار یک ماده یکنواخت نبوده و خصوصیات آن مانند مقدار کربن آلی، خاکستر، اسیدیته، قابلیت هدایت الکتریکی، مقدار کاتیون‌های قلیایی و قلیایی خاکی به ویژگی‌های مواد اولیه و شرایط گرما کافت (دمای گرما

کافت و زمان ماند) بستگی دارد (راندولف و همکاران، ۲۰۱۷ و ساتو و همکاران، ۲۰۱۹).

یکی از اهداف افزودن بیوچار به خاک افزایش عملکرد محصولات زراعی است. مطالعات نشان داده است که کارایی بیوچار در افزایش عملکرد به واکنش و بافت خاک بستگی دارد. بیشترین اثر مثبت بیوچار بر عملکرد، در خاک‌های اسیدی (۱۴٪) و خاک‌های خشتی (۱۳٪) بوده است (جفری و همکاران، ۲۰۱۱). لی و همکاران (۲۰۱۵) بعد از مطالعه یک‌ساله گزارش کردند که افزودن بیوچار کاه گندم در مقادیر ۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۶۰ تن در هکتار به خاک، با بهبود شاخص‌های رشد گندم زمستانه به‌صورت مؤثری موجب افزایش میزان عملکرد و کارایی مصرف آب شد. دیو و همکاران (۲۰۱۸) در یک مطالعه چهارساله در یک منطقه مرطوب گزارش کردند که بعد از افزودن بیوچار پسته بادام‌زمینی و دوغاب بیوگاز^۲ به خاکی با سیستم تناوب کشت گندم و ذرت تابستانه مقدار عملکرد گندم ۸/۴۶ تا ۲۳/۴۷ درصد و عملکرد ذرت ۱۵/۴۶ تا ۱۸ درصد افزایش یافت. کارتیگا و همکاران (۲۰۱۸) بیوچار تهیه شده از شلتوک برنج را در مقادیر و اندازه ذرات مختلف به خاک ماندابی ساحلی مخصوص کشت برنج اضافه کردند و گزارش کردند که بیوچار موجب بهبود ویژگی‌های خاک، رشد و عملکرد برنج شد. علی و همکاران (۲۰۱۹) بعد از افزودن بیوچار، دلیل افزایش میزان عملکرد گندم بعد از افزودن بیوچار به خاک را افزایش قابلیت دسترسی نیتروژن و فسفر و نیز افزایش کارایی مصرف نیتروژن و فسفر بیان کرده‌اند.

وجود بیش از ۴۵۹ هزار هکتار اراضی تحت کشت گندم و ۱۰ هزار هکتار باغ زردآلو در استان آذربایجان شرقی موجب شده است که در این استان کاه گندم و چوب زردآلو به مقدار زیادی تولید شود (احمدی و همکاران، ۱۳۹۹a و احمدی و همکاران، ۱۳۹۹b). استفاده از آن مواد برای تهیه بیوچار، به‌عنوان اصلاح‌کننده خاک، می‌تواند مورد توجه بخش کشاورزی قرار بگیرد. از طرفی در مطالعات

انجام شده با موضوع اثرات بیوپار بر خصوصیات خاک و عملکرد گیاه، توجه محققان به مقدار بیوپار اضافه شده به خاک معطوف بوده است و اثر متقابل مقدار و اندازه ذرات چند بیوپار مختلف بر عملکرد گندم و کارایی مصرف آب گندم به صورت مزرعه‌ای کمتر بررسی شده است. این در حالی است که اثر مقدار بیوپار بر ویژگی‌های خاک بسیار متغیر بوده و به ویژگی‌هایی مانند خصوصیات مواد اولیه برای تهیه بیوپار، ویژگی‌های شیمیایی بیوپار و ویژگی‌های فیزیکی بیوپار مانند اندازه ذرات بیوپار بستگی دارد (تریفونویچ و همکاران، ۲۰۱۸). لذا این تحقیق با هدف کلی تعیین برخی از ویژگی‌های بیوپارهای حاصل از کاه گندم، ورمی کمپوست و چوب زردآلو و نیز اثر مقادیر و اندازه ذرات بیوپارهای ذکر شده بر عملکرد و کارایی مصرف آب گندم پاییزه (کشت آبی) در یک خاک آهکی منطقه نیمه‌خشک (اطراف شهرستان تبریز) در دو سال زراعی (۱۳۹۷-۱۳۹۸ و ۱۳۹۸-۱۳۹۹) انجام شد. بررسی وجود تفاوت بین تأثیر بیوپارهای کاه گندم، ورمی کمپوست و چوب زردآلو بر عملکرد و کارایی مصرف آب، وجود یا عدم وجود اختلاف بین مقادیر و اندازه‌های ذرات بیوپارهای مورد مطالعه از نظر تأثیر بر عملکرد و کارایی مصرف آب و نیز معرفی مناسب‌ترین تیمار برای رسیدن به حداکثر عملکرد و کارایی مصرف آب در منطقه مورد مطالعه، هدف‌های اختصاصی این پژوهش است.

مواد و روش‌ها

محل اجرا و تعیین ویژگی‌های خاک

این تحقیق در مزرعه تحقیقاتی مرکز آموزش و تحقیقات کشاورزی تبریز با مختصات جغرافیایی ° ۳۷/۹۷۵۲۷۸ عرض شمالی و ° ۴۶/۵۵۱۶۶۷ طول شرقی و ارتفاع ۱۸۴۳ متر از سطح دریا اجرا گردید. بارش سالانه منطقه ۳۳۱ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه آن ۱۷/۵ درجه سانتی‌گراد است. بر اساس روش تقسیم‌بندی اقلیمی آمبرژه، اقلیم منطقه نیمه‌خشک سرد است.

قبل از افزودن بیوپار، یک نمونه خاک مرکب از محل آزمایش از عمق ۱۵-۰ سانتی‌متر تهیه شده و اسیدیته خاک در سوسپانسیون ۱ به ۱ خاک به آب مقطر و هدایت الکتریکی خاک در عصاره گل اشباع، مقدار کربنات کلسیم با روش کلسی‌متری، کربن آلی خاک با روش اکسیداسیون تر (کارتر و گریگوریچ، ۲۰۰۷)، فسفر قابل استفاده خاک با روش اولسون و پتاسیم قابل استفاده خاک با روش بیکربنات آمونیم نرمال با $pH=7$ اندازه‌گیری گردیدند (جونز، ۱۹۹۹). جرم مخصوص ظاهری خاک با روش استوانه و جرم مخصوص حقیقی خاک با پیکنومتر آب (اسمیت و مولینز، ۲۰۰۰) و بافت خاک به روش بایکاس تعیین شدند (قی و بایودر، ۱۹۸۶).

نوع بیوپار و روش تهیه آن‌ها

برای تهیه بیوپار از کاه گندم، ورمی کمپوست و چوب زردآلو استفاده گردید. مواد اولیه هوا خشک به صورت جداگانه در یک کوره از نوع دو بشکه با ظرفیت ۲۰۰ لیتر در دمای ۳۳۰ درجه سانتی‌گراد در زمان ۸ ساعت گرما کافت شدند (لی یو و همکاران، ۲۰۱۳). بیوپارهای تهیه شده با الک‌های با قطر منافذ ۲، ۱ و ۰/۵ میلی‌متری الک شده و تا زمان اضافه شدن به خاک در کیسه‌های پلی‌اتیلنی غیرقابل نفوذ در برابر هوا بسته‌بندی شدند.

تعیین ویژگی‌های بیوپار

جرم مخصوص ظاهری بیوپار در اندازه‌های مورد مطالعه، از طریق قرار دادن آن در قالب فلزی به قطر ۲۵ و ارتفاع ۷۰ میلی‌متر (ساتو و همکاران، ۲۰۱۹) و جرم مخصوص حقیقی بیوپار با پیکنومتر و نفت سفید تعیین گردید (گوپتا و همکاران، ۲۰۰۲). میزان رطوبت و خاکستر بیوپار با استفاده از روش ASTM D1762-84 تعیین گردید (آلر و همکاران، ۲۰۱۷). برای تعیین pH و EC بیوپار، از محلول با نسبت ۱:۲۰ (وزن به حجم) بیوپار به آب مقطر استفاده شد. مقادیر فسفر، کلسیم، منیزیم، پتاسیم

و سدیم در بیوپارهای با اندازه ذرات ۱۵۰ تا ۸۵۰ میکرون تعیین شدند (راجکویچ و همکاران، ۲۰۱۲).

طرح آزمایش

این تحقیق به صورت آزمایش فاکتوریل با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه فاکتور در سه تکرار و در دو سال زراعی انجام شد. فاکتور نوع بیوپار شامل بیوپارهای کاه گندم، ورمی کمپوست و چوب زردآلو و فاکتور مقدار بیوپار شامل مقادیر ۰/۵، (R₁)، ۱/۵، (R₂) و ۳ (R₃) درصد وزنی و فاکتور اندازه ذرات بیوپار شامل بیوپار با اندازه ۰/۵، (S₁)، ۱-۰/۵، (S₂) و ۲-۱ (S₃) میلی متر بود. در هر تکرار یک کرت شاهد در نظر گرفته شد (۸۴ کرت آزمایش). برای اجرای تحقیق در مزرعه، بعد از شخم زمین مورد نظر، کرت‌های آزمایشی در ابعاد ۱×۱ متر احداث شدند. برای عدم نشت آب یک کرت به کرت‌های مجاور و نیز سهولت تردد و نمونه‌برداری، بین کرت‌های هر بلوک نیم متر و بین بلوک‌های متوالی یک متر فاصله در نظر گرفته شد. قبل از اختلاط بیوپار با خاک، کرت‌ها آبیاری شده و اجازه داده شد تا رطوبت خاک به رطوبت ظرفیت زراعی برسد. در تاریخ ۲۰ ام مرداد ۱۳۹۷، تیمارها به سطح خاک کرت‌ها اضافه و با بیل تا عمق ۱۵-۰ سانتی‌متری با خاک مخلوط شدند (افزودن بیوپار به خاک فقط یک بار و در سال اول انجام شد). برای انجام عمل انکوباسیون، کرت‌های آزمایشی در روز اول هر هفته به مدت ۹۰ روز، تا زمان کشت گندم، آبیاری شدند.

در دو سال زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۸ و ۱۳۹۸-۱۳۹۹ در هر کرت بذر گندم آبی پاییزه رقم میهن (۲۵۰ کیلوگرم در هکتار)، بعد از ضدعفونی با سم قارچ‌کش تیرام با غلظت دو در هزار، به صورت ردیفی و با فاصله ردیف‌های ۲۰ سانتی‌متر به صورت دستی کشت شد (بی‌نام، ۱۳۹۴). لازم به ذکر است که در سال اول فقط در محل کشت بذرها شیار ایجاد گردید و کل خاک کرت به هم زده نشد. در سال دوم خاک کرت‌ها با بیل تا عمق ۱۵ سانتی‌متر شخم زده شدند. در هر سال ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن (۲۲۰ کیلوگرم

کود اوره) در سه تقسیط به هر کرت اضافه شد (ملکوتی و غیبی، ۱۳۷۶). اولین آبیاری دو روز قبل از کشت انجام شد. آب موردنیاز گندم در مراحل مختلف رشد به صورت ماهانه بر اساس ویژگی‌های اقلیمی منطقه و بر اساس آمار هواشناسی بین سال‌های آبی ۳۱-۱۳۳۰ تا ۹۷-۱۳۹۶ با روش پنمن-مانتیش - فائو ۵۶ با کمک روابط ۱ و ۲ تعیین گردید (علیزاده و کاملی، ۲۰۰۷).

$$ET_0 = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) \gamma \left[\frac{890}{T+273} \right]}{\Delta + \gamma (1+0.34 U_2)} U_2 (e_a - e_d) \quad (1)$$

که در آن:

ET₀ تبخیر و تعرق مرجع (mm d⁻¹)، Δ شیب منحنی فشار بخار اشباع نسبت به دما در نقطه‌ای که دمای آن T باشد (KPa °C⁻¹)، R_n تشعشع خالص در سطح پوشش گیاهی (MJ m⁻² d⁻¹)، G شار گرما به داخل خاک مزرعه (MJ m⁻² d⁻¹)، γ ضریب سایکرومتری (KPa °C⁻¹)، T دمای هوا در ارتفاع دو متری از سطح زمین (°C)، U₂ سرعت باد در ارتفاع دو متری از سطح زمین (m s⁻¹)، e_a-e_d کمبود فشار بخار در ارتفاع دو متری از سطح زمین (KPa) که e_a و e_d به ترتیب فشار بخار واقعی آب (KPa) و فشار بخار اشباع (KPa) است.

بر این اساس، نیاز آبی گندم در منطقه مورد

مطالعه ۳۷۵ میلی‌متر (۳۷۵ لیتر در هر مترمربع) در طول یک فصل زراعی به دست آمد. نیاز آبی گیاه برای مراحل مختلف گیاه از رابطه زیر محاسبه شد.

$$ET_c = K_c ET_0 \quad (2)$$

که در آن:

K_c ضریب گیاهی گندم مربوط به منطقه مورد مطالعه، ET₀ تبخیر تعرق مرجع (mm d⁻¹) است.

میزان بارش‌ها با یک باران‌سنج که در ۲۰ متری محل اجرای طرح واقع شده بود، ثبت و بعد از کسر میزان بارش‌های اتفاق افتاده بین دو آبیاری، آب موردنیاز در مراحل مختلف رشد گندم (به صورت ماهانه) در اختیار گیاه قرار گرفت. میزان آب آبیاری در هر کرت با کنتور حجمی اندازه‌گیری و کنترل شد. میزان رطوبت موجود در خاک در ابتدا و انتهای رشد با نمونه‌برداری از وسط هر کرت با کمک

مته نمونه برداری به روش وزنی تعیین شد و بعد از تبدیل به رطوبت حجمی برای تصحیح تبخیر و تعرق (رابطه ۳) استفاده شد.

میزان تبخیر و تعرق گندم در دوره رشد گیاه از رابطه زیر محاسبه گردید (لی یوسیا و همکاران، ۲۰۱۷).

$$ET = Ir + P - D - R \pm \Delta\theta \quad (3)$$

که در آن:

ET مقدار تبخیر و تعرق، P میزان بارش، D مقدار آب زهکشی شده (در این تحقیق D، برابر با صفر در نظر گرفته شد)، R مقدار روان آب (که مقدار آن صفر بود)، $\Delta\theta$ اختلاف رطوبت خاک در ابتدا و انتهای دوره رشد است.

بعد از رسیدن کامل گندم، در هر کرت با حذف حاشیه کرت‌ها، اقدام به برداشت محصول در پلاتی به ابعاد ۰/۶×۰/۶ متر نموده و عملکرد دانه گیاه تعیین شد. کارایی مصرف آب با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد.

$$WUE = \frac{Y}{ET} \quad (3)$$

که در آن:

Y: میزان عملکرد و ET: مقدار آب آبیاری (یا مقدار تبخیر و تعرق) را نشان می‌دهد (لی یوسیا و همکاران، ۲۰۱۷).

تجزیه و تحلیل آماری

برای تعیین اثر تیمارها بر ویژگی‌های مورد مطالعه، بعد از بررسی نرمال بودن داده‌ها با آزمون کولمگرو-اسمیرنوف و آزمون یکنواختی واریانس با آزمون لوون، ابتدا آنالیز واریانس یک‌طرفه در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی انجام شد و میانگین ویژگی‌های

مورد مطالعه با شاهد با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ ($P < 0.05$) مقایسه شد. برای اطلاع از اثرات اصلی و اثرات متقابل فاکتورهای مورد مطالعه، آنالیز واریانس مرکب انجام شد (در این مرحله نتایج کرت‌های شاهد دخالت داده نشد). به منظور بررسی اثر سال، برش دهی اثر متقابل نوع بیوچار و مقدار بیوچار در اندازه ذرات بیوچار در هر سال انجام شد. در صورت معنی‌دار بودن آن، برای به دست آوردن اطلاعات بیشتر، برش دهی اثر متقابل مقدار بیوچار در اندازه ذرات بیوچار در هر نوع از بیوچارهای مورد مطالعه انجام شد (سلطانی، ۱۳۹۲). مقایسه میانگین‌ها در سطح نوع بیوچار برای سال اول و دوم انجام شد. میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ ($P < 0.05$) مورد مقایسه قرار گرفتند. تجزیه واریانس داده‌ها به کمک نرم‌افزار SAS 9.1 و Statistix 9 انجام شد.

نتایج و بحث

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

خاک مورد مطالعه دارای بافت لوم شنی بود و برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، در جدول شماره ۱ آورده شده است. برای آبیاری کرت‌های آزمایشی از آب چاه استفاده شد که برخی از ویژگی‌های آن در جدول ۲ آورده شده است. خاک مورد مطالعه دارای بافت لوم شنی و غیر شور بوده (فائو، ۱۹۹۸) و در زمره خاک‌های آهکی قرار می‌گیرد (دویکر و همکاران، ۲۰۰۱).

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های خاک مورد مطالعه

کلاس بافت خاک	رس	سیلت	شن	K	P	N	CaCO ₃	ماده آلی	EC	pH	جرم مخصوص ظاهری	عمق نمونه برداری
		(%)		(mg kg ⁻¹)			(%)	(%)	(dS m ⁻¹)	-	(g cm ⁻³)	(cm)
لوم شنی	۱۳	۳۰	۵۷	۵۴۷	۱۸	۰/۰۵	۱۳/۵	۱/۱۷	۱/۶	۷/۸۵	۱/۲۷	۰-۱۵

جدول ۲- برخی از مشخصات آب مورد استفاده برای آبیاری

SAR	HCO ₃ ⁻ (mg L ⁻¹)	Na ⁺ (mg L ⁻¹)	Mg ²⁺ (mg L ⁻¹)	Ca ²⁺ (mg L ⁻¹)	SO ₄ ²⁻ (mg L ⁻¹)	CL ⁻ (mg L ⁻¹)	pH	EC (μS cm ⁻¹)
۱/۱۲	۲/۵	۴۰/۹	۳۰/۲	۵۰	۹۸/۴	۱۰۶/۵	۷/۴۳	۲۷۶

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بیوچارها

برخی از ویژگی‌های بیوچارهای مورد مطالعه در جدول ۳ و ۴ آورده شده است. نتایج این تحقیق نشان داد که در اندازه ذرات بیوچارهای مورد مطالعه، کمترین جرم مخصوص ظاهری بیوچار (0.11 gr cm^{-3}) در اندازه ذرات $0.5 \text{ mm} - 0$ مشاهده شد (جدول ۳). در هر نوع بیوچار، با افزایش اندازه ذرات، میزان جرم مخصوص ظاهری

بیوچار افزایش یافت. پایین بودن میزان جرم مخصوص ظاهری بیوچار با زیاد بودن میزان تخلخل آن ارتباط دارد. گرما کافت مواد علفی مانند کاه گندم که مقادیر بالایی همی سلولز دارند، در دماهای پایین (350°C درجه سانتی‌گراد) مقدار زیادی تخلخل ایجاد می‌نماید ولی در مواد سرشار از لیگنین مانند چوب زردآلو، پایین بودن دمای گرما کافت موجب ایجاد تخلخل زیاد در بیوچار تولیدی نمی‌شود (وبر و گیوکر، ۲۰۱۸).

جدول ۳- جرم مخصوص ظاهری بیوچارها در اندازه ذرات مورد مطالعه

بیوچار چوب زردآلو			بیوچار ورمی کمپوست			بیوچار گندم			اندازه ذرات (mm)
۱-۲	۰/۵-۱	<۰/۵	۱-۲	۰/۵-۱	<۰/۵	۱-۲	۰/۵-۱	<۰/۵	
۰/۷۸	۰/۷۴	۰/۶۰	۰/۳۹	۰/۳۴	۰/۲۵	۰/۲۱	۰/۱۸	۰/۱۱	جرم مخصوص ظاهری (g cm^{-3})

مقدار pH بیوچار یکی از ویژگی‌های بسیار مهم بیوچار هست که در کاربرد این ماده در زمین‌های کشاورزی باید مورد توجه قرار گیرد. در این تحقیق میزان pH بیوچارهای تهیه شده از کاه گندم، ورمی کمپوست و چوب زردآلو بیشتر از هفت بود. pH بیوچار تهیه شده از ورمی کمپوست به مقدار $9/67$ رسید که از pH بیوچار چوب زردآلو و pH کاه گندم به ترتیب $19/08$ و $4/9$ درصد بیشتر بود. افزایش pH بیوچار با تجزیه گروه‌های عاملی اسیدی موجود در مواد اولیه مانند کریوکسیل، هیدروکسیل و فرمیل^۳ در طول فرایند گرما کافت و وجود کاتیون‌های قلیایی و قلیایی خاکی موجود در خاکستر بیوچار ارتباط دارد (وبر و گیوکر، ۲۰۱۸). همان‌طور که در جدول ۴ آورده شده است، میزان pH بیوچار ورمی کمپوست و نیز میزان یون‌های فلزات قلیایی مانند سدیم و پتاسیم و یون‌های قلیایی خاکی مانند کلسیم در خاکستر این بیوچار، در مقایسه با دو بیوچار دیگر، بیشتر است. این مشاهده با نتایج گزارش شده در این تحقیق، میزان pH بیوچار کاه گندم ($\text{pH} = 9/22$) درصد بیشتر از pH بیوچار چوب زردآلو ($\text{pH} = 8/22$) است؛ که با نتیجه گزارش شده آلبیورکیورکیو و همکاران (۲۰۱۴) یکسان است. ایشان

گزارش کردند که pH بیوچار تهیه شده از مواد حاصل از هرس درختان زیتون، بیشتر از کاه گندم (با دمای گرما کافت 370°C درجه سانتی‌گراد) بود ولی pH کاه گندم از pH بیوچارهای تهیه شده از پوسته میوه بادام، تراشه درخت کاج و زیتون سنگی^۴ بیشتر بود. اضافه کردن بیوچار با pH بالا به خاک‌های آهکی می‌تواند جذب عناصر ریزمغذی مانند آهن، منگنز و روی را با مشکلات جدی روبرو سازد (کریمی و همکاران، ۲۰۲۰).

هدایت الکتریکی بیوچار چوب زردآلو ($0/18$) بسیار کمتر از هدایت الکتریکی بیوچارهای کاه گندم ($2/15$) و ورمی کمپوست ($1/93$) بود. این یافته ما با نتایج گزارش شده راندولف و همکاران (۲۰۱۷) یکسان است. ایشان پیشنهاد کردند که بیوچارهای تهیه شده در دمای پایین به دلیل داشتن شوری کمتر، برای افزودن به خاک‌های مناطق خشک مناسب‌تر هستند.

یکی از اهداف تولید بیوچار، تولید مواد با میزان کربن بالا است که این امر به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مواد خام مورد استفاده برای تولید بیوچار، بستگی دارد (لهمان و همکاران، ۲۰۰۶). بررسی مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که میزان کربن آلی بیوچار بسته به نوع مواد

^۴ -Olive stone^۳ -Formyle

حاصل شده میزان کربن بالایی خواهد داشت. در این تحقیق میزان کربن آلی بیوچار چوب زردآلو ۵۱/۶٪ بود که از میزان کربن آلی بیوچارهای کاه گندم و ورمی کمپوست به ترتیب ۲۳/۵٪ و ۱۲/۲٪ بیشتر بود. البته نتایج تحقیق آلیورکیورکیو و همکاران (۲۰۱۴) نشان داده است که مقدار کربن آلی بیوچار تهیه شده به نوع درخت نیز بستگی دارد.

اولیه بین ۲۹/۵ تا ۸۵/۶ درصد وزنی متغیر است (تان و همکاران، ۲۰۱۷). در این تحقیق، میزان کربن آلی در بیوچارهای مورد مطالعه ۴۵/۳ تا ۵۱/۶ درصد وزنی بود که با مطالعات قبلی مطابقت داشت (جدول ۴). تان و همکاران (۲۰۱۷) نتیجه‌گیری کردند که اگر مواد با لیگنین بالا در دمای کم (۳۰۰ درجه سانتی‌گراد) گرما کافت شوند، بیوچار

جدول ۴- مشخصات بیوچارهای مورد استفاده در این آزمایش

ویژگی‌ها	واحد	بیوچار گندم	بیوچار ورمی کمپوست	بیوچار چوب زردآلو
جرم مخصوص حقیقی	(gr cm ⁻³)	۱/۰۹۹	۱/۲۱۴	۱/۱۱۵
pH (1:20)	-	۹/۲۲	۹/۶۷	۸/۱۲
EC (1:20)	(dS m ⁻¹)	۲/۱۵	۱/۹۳	۰/۱۸
خاکستر	(%)	۱۵/۶	۳۸/۹	۵/۲
رطوبت	(%)	۳/۱۶	۱/۲	۲/۵۷
کربن آلی (C)	(%)	۴۸/۹	۴۵/۳	۵۱/۶
نیتروژن کل	(%)	۰/۶۳	۰/۶	۰/۷۱
هیدروژن (H)	(%)	۳/۱۹	۳/۲۶	۳/۵۴
کلسیم	(g kg ⁻¹)	۴/۸	۹/۸	۴
فسفر	(g kg ⁻¹)	۱/۴	۶/۶	۰/۶
پتاسیم	(g kg ⁻¹)	۱۲/۵	۲۳/۷	۸/۹
منیزیم	(g kg ⁻¹)	۰/۶	۱/۳	۰/۶
سدیم	(g kg ⁻¹)	۴/۲	۵/۳	۱/۹
H/C	(mol mol ⁻¹)	۰/۷۸۳	۰/۸۶۴	۰/۸۲۱

مطالعه به خاک لوم شنی، عملکرد و کارایی مصرف آب گندم را به صورت معنی‌داری ($P < 0.01$) تحت تأثیر قرار داد (جدول ۵).

عملکرد دانه و کارایی مصرف آب گندم اضافه کردن بیوچارهای کاه گندم، ورمی کمپوست و چوب زردآلو در مقادیر و اندازه ذرات مورد

جدول ۵- تجزیه واریانس یک‌طرفه عملکرد و کارایی مصرف آب

منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد (Kg ha ⁻¹)	کارایی مصرف آب (Kg m ⁻³)
میانگین مربعات			
بلوک	۲	۱۰۴۱۲۲	۰/۰۰۹۹۳
تیمار	۲۷	۱۳۱۱۶۳۳**	۰/۱۲۵۱۷**
خطا	۵۴	۱۱۲۹۳۱	۰/۰۱۰۷۸
ضریب تغییرات	-	۶/۶۵	۶/۶۶

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ ($P < 0.01$)

۱-۲)، افزایش معنی‌دار عملکرد و کارایی مصرف آب در مقایسه با تیمار شاهد را سبب نشدند، درحالی‌که در همان مقدار از بیوچارهای کاه گندم و چوب زردآلو، با کوچک‌تر شدن اندازه ذرات بیوچار، افزایش عملکرد و کارایی مصرف آب نسبت به تیمار شاهد اتفاق افتاد. چنین می‌توان نتیجه گرفت که با کوچک‌تر شدن اندازه ذرات بیوچار، به

نتایج نشان داد که در تمام تیمارهای بیوچار ورمی کمپوست عملکرد در مقایسه با شاهد افزایش یافت. در بیوچارهای کاه گندم و هیزم زردآلو افزایش معنی‌دار عملکرد و کارایی مصرف آب در مقایسه با تیمار شاهد، به مقدار و اندازه ذرات بیوچار بستگی داشت. در کمترین مقدار آن بیوچارها (۵/۰٪) با اندازه ذرات درشت (mm

دلیل افزایش سطح ویژه و نیز افزایش قدرت نگهداشت آب، می‌توان انتظار داشت که مقادیر کمتر بیوپار (۰/۵٪) با اندازه ذرات کوچک (۰/۵ میلی‌متر) همانند مقادیر زیاد بیوپار (۱/۵٪ و ۳٪) موجب افزایش عملکرد و کارایی مصرف آب شود (لی‌یاو و توماس (۲۰۱۹)).

تجزیه واریانس مرکب میزان عملکرد و کارایی مصرف آب نشان داد که با تغییر نوع، مقدار، اندازه ذرات بیوپار و زمان و نیز اثرات متقابل مرتبه اول، مرتبه دوم (به‌جز اثر سال در مقدار بیوپار) و مرتبه سوم فاکتورهای مورد مطالعه بر عملکرد و کارایی مصرف آب گندم معنی‌دار بود (جدول ۶).

جدول ۶- نتایج تجزیه واریانس مرکب عملکرد و کارایی مصرف آب گندم

منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد (kg ha^{-1})	کارایی مصرف آب (kg m^{-3})
میانگین مربعات			
سال (year)	۱	۶۲۹۴۱۷۰۶/۶۹**	۵/۹۹۷۳۳۸۸۹**
بلوک (سال)	۴	۱۱۳۶۸۶/۶۵ ^{ns}	۰/۰۱۱۳۱۶۰۵ ^{ns}
نوع بیوپار (BT)	۲	۵۳۹۱۸۳۵/۷۸**	۰/۵۱۱۳۵۶۱۷**
مقدار بیوپار (BR)	۲	۴۱۴۰۶۵۷/۰۴**	۰/۳۹۵۲۱۱۷۳**
اندازه ذرات بیوپار (BS)	۲	۶۴۵۴۹۲/۶۳**	۰/۰۶۳۰۰۰۶۳**
BT×BR	۴	۱۱۸۴۱۹۳/۱۱**	۰/۱۱۲۸۱۷۲۸**
BT×BS	۴	۵۹۵۸۸۱/۲۱**	۰/۰۵۵۴۵۸۹۵**
BR×BS	۴	۱۲۶۲۰۵۷/۵۸**	۰/۱۱۸۸۶۴۵۱**
BT×BR×BS	۸	۴۷۲۰۱۴/۰۹**	۰/۰۴۵۰۳۱۱۷**
year×BT	۲	۱۳۹۸۸۳/۰۴ ^{ns}	۰/۰۱۳۳۱۲۹۶ ^{ns}
year×BR	۲	۵۴۹۷۳۶/۹۷**	۰/۰۵۲۵۷۲۲۲**
year×BS	۲	۶۱۹۱۵۸/۵۴**	۰/۰۶۱۳۶۸۵۲**
year×BT×BR	۴	۳۱۰۴۸۰/۶۸*	۰/۰۲۹۶۹۶۳*
year×BT×BS	۴	۱۲۹۶۳۵۳/۱۷**	۰/۱۲۵۴۲۸۷**
year×BR×BS	۴	۳۸۵۴۲۷/۸۸**	۰/۰۳۶۰۷۶۸۵**
year×BT×BR×BS	۸	۴۱۰۴۰۰/۷**	۰/۰۳۹۲۳۷۰۴**
خطا	۱۰۴	۹۶۸۴۸	۰/۰۰۹۲۶۴۱۳
ضریب تغییرات	-	۶/۶۹	۶/۹۸

** و * معنی‌دار در سطح احتمال به ترتیب ۱٪ ($P<0.01$) و ۵٪ ($P<0.05$)، ^{ns}: غیر معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ ($P<0.05$)

به‌صورت معنی‌داری ($P<0.01$) تغییر داد و آن اثر، در سال دوم نیز وجود داشت (جدول ۸). دلیل آن ریشه در زمان طولانی موردنیاز برای تأثیر متقابل مخلوط خاک و بیوپار دارد. ولی برخی از اثرات بر ویژگی‌هایی مانند خاکدانه سازی و اصلاح ساختمان خاک نیاز به زمان بیشتری دارد. این در حالی است که اثر بیوپار بر برخی از ویژگی‌های خاک مانند کاهش جرم مخصوص ظاهری بلافاصله بعد از اضافه کردن بیوپار به خاک بروز می‌نماید. به نظر می‌رسد که یکی از دلایل افزایش عملکرد در سال دوم (به‌ویژه در تیمارهای بیوپار چوب زردآلو) بهبود شرایط فیزیکی خاک مانند ساختمان خاک بوده باشد (ژانگ و همکاران، ۲۰۲۰).

چنانچه نتایج نشان داد، اثر بیوپار بر ویژگی‌های مورد مطالعه به زمان سپری شده از افزودن بیوپار به خاک بستگی دارد. با گذر زمان (در سال دوم)، عملکرد گندم و کارایی مصرف آب افزایش یافت (جدول ۷)؛ اما نتایج نشان داد که اثر بیوپارهای مورد مطالعه به مقدار و اندازه ذرات بیوپار بستگی داشت. در سال اول، اثر مقدار بیوپار و اندازه ذرات بیوپار چوب زردآلو عملکرد و کارایی مصرف آب را به‌صورت معنی‌دار تغییر نداد و در سال دوم آن اثر معنی‌دار بود (جدول ۸). این در حالی بود که اثر مقدار بیوپار در اندازه ذرات بیوپارهای کاه گندم و ورمی کمپوست در سال اول، عملکرد و کارایی مصرف آب را

جدول ۷- تجزیه واریانس اثر متقابل نوع بیوپار در مقدار بیوپار در اندازه ذرات بیوپار در هر سال بر عملکرد و کارایی مصرف آب گندم در

هر سال		سال
عملکرد (kg ha ⁻¹)	کارایی مصرف آب (kg m ⁻³)	
میانگین مربعات	میانگین مربعات	
۷۹۹۳۳۷**	۰/۰۷۶۱۵۱**	اول
۱۱۳۰۲۵۸**	۰/۱۰۷۷۴۰**	دوم

** : معنی دار در سطح احتمال ۱٪ (P<0.01)

جدول ۸- اثر متقابل نوع بیوپار در مقدار بیوپار در اندازه ذرات بیوپار بر عملکرد گندم در سطح نوع بیوپار در سال اول و دوم

نوع بیوپار	عملکرد (kg ha ⁻¹)		کارایی مصرف آب (kg m ⁻³)	
	سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم
	میانگین مربعات		میانگین مربعات	
بیوپار کاه گندم	۱۰۷۷۵۰۰**	۱۷۶۰۷۷۱**	۰/۱۰۳۰۷۶**	۰/۱۶۷۸۴۸**
بیوپار ورمی کمپوست	۶۰۴۱۶۶**	۹۵۰۷۴۲**	۰/۰۵۷۵۶۵**	۰/۰۹۰۹۰۹**
بیوپار چوب زردآلو	۱۳۷۱۵۷ ^{ns}	۳۵۸۰۲۸**	۰/۰۱۳۰۸۴ ^{ns}	۰/۳۳۹۹۵**

** : معنی دار در سطح احتمال ۱٪ (P<0.01)، ns : غیر معنی دار در سطح احتمال ۱٪ (P<0.01)

بیوپارهای تهیه شده از کاه گندم، ورمی کمپوست و چوب زردآلو به صورت یکسان عملکرد و کارایی مصرف آب را افزایش ندادند. بیوپار کاه گندم موجب بیشترین عملکرد و کارایی مصرف آب گندم شد و بیوپارهای ورمی کمپوست و چوب زردآلو در رتبه دوم و سوم قرار داشتند. علیرغم بیشتر بودن میزان فسفر، کلسیم، منیزیم و پتاسیم بیوپار ورمی کمپوست (جدول ۴)، این بیوپار نتوانست در سال اول بیشتر از بیوپار کاه گندم میزان عملکرد گندم را افزایش دهد (جدول ۹). یکی از دلایل آن می تواند بالا بودن pH بیوپار ورمی کمپوست نسبت به دو بیوپار دیگر باشد که ممکن است در خاک آهکی، مشکلاتی را برای جذب عناصر غذایی خصوصاً عناصر ریزمغذی برای گیاهان کشت شده به وجود آورد. دلیل دیگر

آن تأثیر بیشتر بیوپار گندم در کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک، مقاومت فروروی خاک و توسعه بیشتر ریشه گیاه کشت شده عنوان کرد (احمد و همکاران، ۲۰۱۷) که به دلیل کم بودن جرم مخصوص ظاهری آن بیوپار (اثر رقت) اتفاق می افتد (جدول ۲). در این تحقیق بیوپار کاه گندم، در تمام اندازه های مورد مطالعه، دارای کمترین جرم مخصوص ظاهری در مقایسه با بیوپار ورمی کمپوست و چوب زردآلو با اندازه ذرات مساوی بودند (جدول ۳). در سال دوم، تفاوت معنی دار در افزایش عملکرد و کارایی مصرف آب کاه گندم و ورمی کمپوست از بین رفت. به نظر می رسد تراکم مجدد خاک در اثر آبیاری غرقابی و تراکم خود به خودی خاک، اثر دلیل دوم کمتر شد (شیرانی و همکاران، ۱۳۸۹).

جدول ۹- مقایسه میانگین عملکرد و کارایی مصرف در بیوپارهای مورد مطالعه

نوع بیوپار	عملکرد (kg ha ⁻¹)		کارایی مصرف آب (kg m ⁻³)	
	سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم
کاه گندم	۴۱۶۰/۳ A	۱/۲۸۵ A	۵۲۹۶/۱ A	۱/۶۳۵۹ A
ورمی کمپوست	۳۹۱۵/۱ B	۱/۲۰۹ B	۵۲۵۱/۱ A	۱/۶۲۱۹ A
چوب زردآلو	۳۴۸۸/۹ C	۱/۰۷۹ C	۴۷۵۷/۱ B	۱/۴۶۹۶ B

مقایسه میانگین عملکرد و کارایی مصرف آب در سطح نوع بیوپارهای مورد مطالعه به تفکیک سال نشان داد که در سال اول و دوم در تیمارهای بیوپار کاه گندم ورمی

کمپوست، بیشترین عملکرد و کارایی مصرف آب در بیشترین مقدار این بیوپار (۳٪) و اندازه ذرات متوسط (۱-۵ mm) مشاهده شد که با سایر سطوح مقدار و اندازه

ذرات مورد مطالعه در این نوع بیوچار تفاوت معنی‌داری داشت (شکل ۱ الف)، (ب)، (ج) و (د)). در هر دوسال، کمترین عملکرد در مقدار کم این بیوچارها مشاهده شد و تغییر در اندازه ذرات بیوچار کاه گندم موجب تغییر معنی‌دار عملکرد و کارایی مصرف آب در آن مقدار بیوچار نشد؛ ولی با افزایش مقدار بیوچار، غالباً عملکرد و کارایی مصرف آب افزایش معنی‌داری یافت. علی‌رغم این‌که تحقیق ورهیزن و همکاران (۲۰۱۹) نشان داده است که ذرات کوچک‌تر بیوچار میزان نگهداشت آب در خاک را افزایش می‌دهند، ولی این امر منجر به افزایش میزان عملکرد گندم در ذرات کوچک‌تر این بیوچارها نشد. مطالعات نشان داده است که واکنش گیاهان مختلف به اندازه ذرات بیوچار می‌تواند متفاوت باشد. لیاو و توماس (۲۰۱۹) گزارش کردند که در مطالعه ایشان گیاه چچم^۵ در بیوچار با اندازه کوچک (۰/۵-۰/۰۶ میلی‌متر) بهتر رشد کرد درحالی‌که گیاه گاو پنبه^۶ در بیوچار با اندازه ذرات درشت (۲-۵ mm) رشد خوبی داشت.

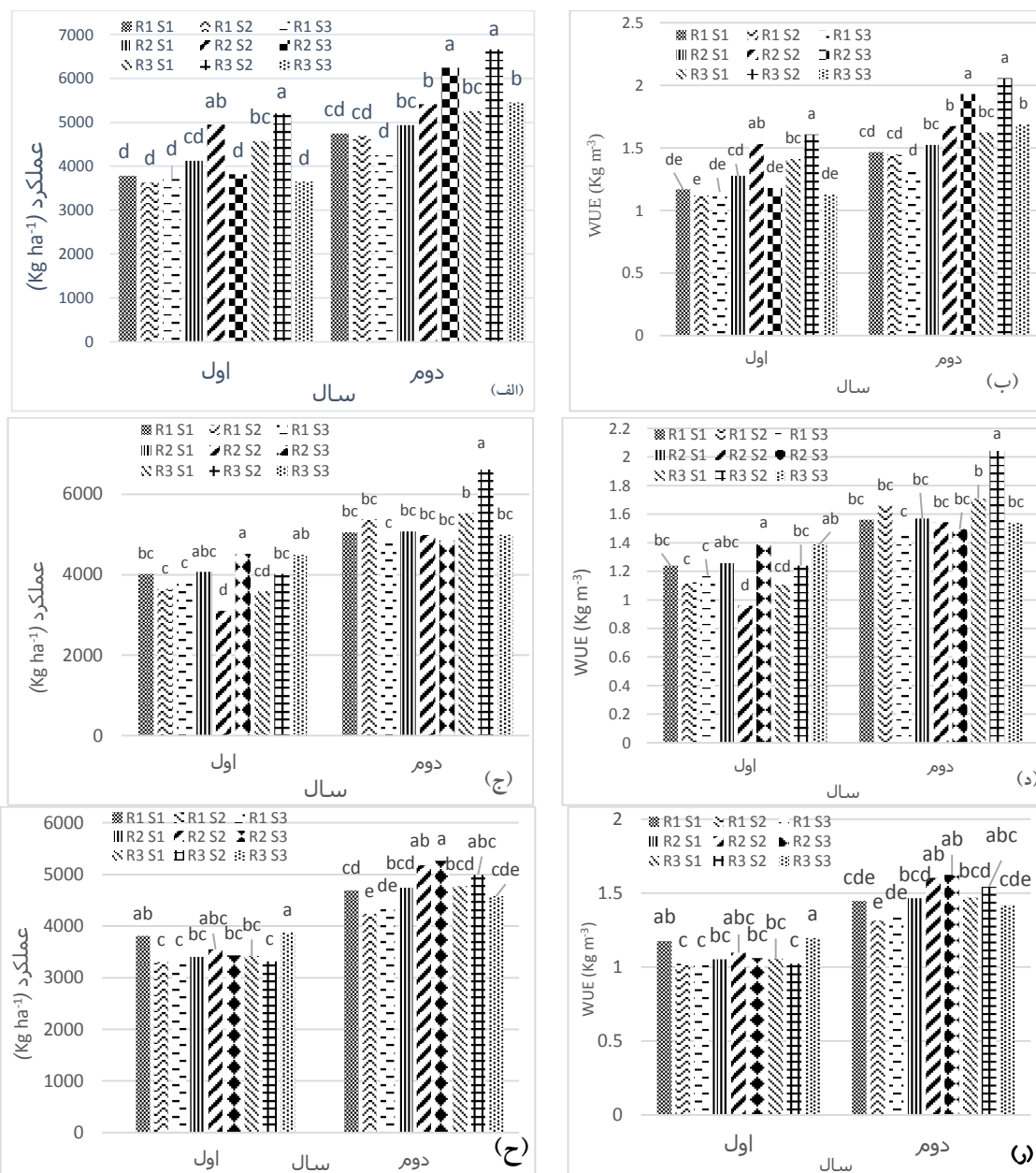
در بیوچارهای مورد مطالعه تغییر در اندازه ذرات بیوچارهای کاه گندم (شکل ۱ الف) و (ب)) و ورمی کمپوست (شکل ۱ ج) و (د)) صرفاً در بیشترین مقدار بیوچارهای مورد مطالعه (۳٪) موجب تفاوت معنی‌دار در عملکرد و کارایی مصرف آب گندم شد. ولی در بیوچار چوب زردآلو در تمام مقادیر آن بیوچار تغییر در اندازه ذرات موجب تفاوت معنی‌دار عملکرد و کارایی مصرف آب شد (شکل ۱ ح) و (ر)). تفاوت عملکرد در مقادیر یکسان یک نوع بیوچار با اندازه ذرات متفاوت را می‌توان با ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی متفاوت یک بیوچار در اندازه ذرات متفاوت مرتبط دانست. اندازه ذرات بیوچار با سطح ویژه آن‌ها ارتباط مستقیمی دارد و با کاهش اندازه ذرات بیوچار سطح ویژه بیوچار بیشتر می‌شود که این موضوع قابلیت دسترسی آب توسط گیاه را کم می‌کند (لیاو و توماس، ۲۰۱۹). پان‌گیو و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کرده‌اند که در بین بیوچارهای تهیه‌شده از مواد

مختلف، بیوچار تهیه‌شده از چوب انگور که کمترین سطح ویژه را داشت، بیشترین هدایت روزنه‌ای (کمترین تنش آبی) را در آفتابگردان کشت‌شده در شرایط تنش آبی سبب شد. بیشتر بودن عملکرد گندم آبی در ذرات متوسط (1-2 mm) بیشتر از ۰/۵-۱ میلی‌متر) و درشت (۱-۲ mm) بیشتر از ذرات کوچک‌تر (۰/۵) بیوچارهای مورد مطالعه با نتایج پژوهش‌های انجام‌شده مطابقت دارد.

مقایسه چندگانه میانگین عملکرد و کارایی مصرف آب نشان داد که بیشترین عملکرد در بیوچار گندم با مقدار ۳٪ و اندازه ذرات بیوچار ۰/۵-۱ mm مشاهده شد که تیمار ذکرشده با بیوچار گندم در مقدار ۱/۵٪ و اندازه ذرات ۱-۲ mm و بیوچار ورمی کمپوست با مقدار ۳٪ و اندازه ذرات ۰/۵-۱ mm تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۱۰). لی‌یو و همکاران (۲۰۱۳) در مطالعه خود، نتیجه مغایری را با یافته این تحقیق گزارش کردند. در تحقیق ایشان بیوچار تهیه‌شده از کاه گندم و چوب که به مقدار ۶٪ و ۲٪ به خاک با pH قلیایی اضافه‌شده بودند، اثری بر میزان عملکرد گندم نداشتند و یا آن را کاهش دادند. در تحقیق اشاره شده، تیمارهای مورد مطالعه در خاک با pH خنثی، موجب افزایش عملکرد گندم شد. بررسی ۲۳ تحقیق انجام‌شده با موضوع اثر بیوچار روی کارایی مصرف آب توسط جانو و همکاران (۲۰۲۰) هم نشان داد که بیوچار با افزایش ۱۸/۸٪ کارایی مصرف آب (WUE)، اثر معنی‌دار مثبتی در این زمینه دارد و بافت خاک تأثیری بر اثربخشی بیوچار بر WUE نداشت، درحالی‌که pH خاک در این زمینه مؤثر بود. ایشان برای تشریح این پدیده، مکانیسم افزودن ماده قلیا به خاک قلیا را بکار برده‌اند و نتیجه‌گیری کردند که با افزایش میزان کربن موجود در بیوچار، به دلیل آزاد شدن کربن زیاد از بیوچار، میزان عملکرد و کارایی مصرف آب چندان افزایش پیدا نمی‌کند. به همین علت هم بیوچارهای تهیه‌شده از چوب در مقایسه با بیوچار تهیه‌شده از مواد علفی، WUE را کمتر افزایش می‌دهند. در این راستا، چنانچه یافته‌های این تحقیق نشان داد بیوچار تهیه

نسبت بیوچار چوب زردآلو بر افزایش WUE بیشتر بود (جدول ۸).

شده از کاه گندم دارای کربن آلی کمتری نسبت به دو بیوچار دیگر بود (جدول ۴) و اثربخشی بیوچار کاه گندم



شکل ۱- مقایسه عملکرد و کارایی مصرف آب بین تیمارهای بیوچارهای کاه گندم (الف) و (ب)، ورمی کمپوست (ج) و (د) و چوب زردآلو (ح) و (ز)

جدول ۱۰- مقایسه میانگین اثر مقدار در اندازه ذرات بیوجار بر عملکرد دانه و کارایی مصرف آب در سطح هر نوع بیوجار و نیز مقایسه میانگین اثر نوع در مقدار در اندازه ذرات بیوجار به تفکیک سال

نوع بیوجار	مقدار بیوجار	اندازه بیوجار	عملکرد (kg ha ⁻¹)	کارایی مصرف آب (kg m ⁻³)	عملکرد (kg ha ⁻¹)	کارایی مصرف آب (kg m ⁻³)	سال دوم	سال اول	شاهد
			۳۸۸۱/۷	۱/۲	۴۳۴۲/۷	۱/۳۸			
بیوجار کاه گندم	R ₁	S ₁	3783.7(ns) efghi	1.17(ns) efghi	4746.3(ns) efghi	1.4667(ns) efghi			
		S ₂	3634.3(ns) fghij	1.12(ns) fghij	4692.7(ns) fghi	1.45(ns) fghi			
		S ₃	3711.7(ns) efghij	1.1467(ns) efghij	4257(ns) i	1.3133(ns) i			
	R ₂	S ₁	4125(ns) cde	1.2767(ns) cde	4934.3(ns) cdefg	1.5233(ns) cdefg			
		S ₂	4950.7(*) ab	1.53(*) ab	5414.7(*) bc	1.6733(*) bc			
		S ₃	3816.3(ns) efghi	1.18(ns) efghi	6248(*) a	1.93(*) a			
	R ₃	S ₁	4569.7(ns) bc	1.41(ns) bc	5255.3(*) bcde	1.6233(*) bcde			
		S ₂	5200.7(*) a	1.6067(*) a	6664.3(*) a	2.0567(*) a			
		S ₃	3651(ns) fghij	1.1267(ns) fghij	5452.7(*) bc	1.6867(*) bc			
بیوجار ورمی کمپوست	R ₁	S ₁	4019.3(ns) efg	1.24(ns) efg	5052.7(ns) bcdefg	1.56(ns) bcdefg			
		S ₂	3645.7(ns) fghij	1.1233(ns) fghij	5370.7(*) bcd	1.66(*) bcd			
		S ₃	3784.3(ns) efghi	1.17(ns) efghi	4786(ns) efghi	1.4767(ns) efghi			
	R ₂	S ₁	4068.7(ns) def	1.2567(ns) def	5077.3(ns) bcdefg	1.57(ns) bcdefg			
		S ₂	3099.7(*) k	0.96(*) k	4988(ns) bcdefg	1.5433(ns) bcdefg			
		S ₃	4517.7(ns) bcd	1.3967(ns) bcd	4851(ns) defgh	1.4967(ns) defgh			
	R ₃	S ₁	3584.3(ns) ghij	1.1067(ns) ghij	5527.3(*) b	1.7067(*) b			
		S ₂	4019.7(ns) efg	1.24(ns) efg	6615.7(*) a	2.0433(*) a			
		S ₃	4497(ns) bcd	1.39(ns) bcd	4991.3(ns) bcdefg	1.54(ns) bcdefg			
	R ₁	S ₁	3807(ns) efghi	1.1767(ns) efghi	4688.3(ns) fghi	1.4467(ns) fghi			
		S ₂	3302(ns) jk	1.0233(ns) jk	4241.3(ns) i	1.3133(ns) i			
		S ₃	3301.7(ns) jk	1.02(ns) jk	4354.7(ns) hi	1.3433(ns) hi			
بیوجار چوب زردآلو	R ₂	S ₁	3405.3(ns) ijk	1.0533(ns) ijk	4743.7(ns) efghi	1.4667(ns) efghi			
		S ₂	3546.3(ns) hijk	1.0967(ns) hijk	5179.7(ns) bcdef	1.6033(ns) bcdef			
		S ₃	3429.7(ns) hijk	1.06(ns) hijk	5263.7(*) bcde	1.6233(*) bcde			
	R ₃	S ₁	3419.3(ns) hijk	1.0567(ns) hijk	4770.3(ns) efghi	1.47(ns) efghi			
		S ₂	3317.3(ns) jk	1.0233(ns) jk	4992(ns) bcdefg	1.5433(ns) bcdefg			
		S ₃	3871.7(ns) efgh	1.1967(ns) efgh	4580(ns) ghi	1.4167(ns) ghi			

(*) و (ns): به ترتیب تفاوت معنی‌دار و عدم تفاوت معنی‌دار میانگین عملکرد و کارایی مصرف آب بین تیمارها و شاهد در سطح احتمال ۵٪ (P<0.05).

حروف کوچک: مقایسه چندگانه میانگین عملکرد و کارایی مصرف آب تیمارهای مورد مطالعه برای هر سال با آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ (P<0.05).

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک تفاوت آماری معنی‌داری ندارند.

نتیجه‌گیری

مورد مطالعه بر میزان عملکرد و کارایی مصرف آب گندم، بسته به نوع بیوجار، مقدار بیوجار اضافه‌شده به خاک، اندازه ذرات بیوجار و زمان متفاوت بود. در هر دو سال، بیشترین عملکرد گندم در بیوجار کاه گندم در مقادیر ۳٪ و اندازه ذرات ۱-۵/۰ میلی‌متر حاصل شد. در سال اول، در تیمارهای بیوجار چوب زردآلو میزان عملکرد و کارایی مصرف آب تفاوتی نداشتند ولی در سال دوم اثر آن‌ها بر عملکرد و کارایی مصرف معنی‌دار بود. نتایج این تحقیق نشان داد که انتخاب صحیح بیوجار، نقش مهمی در افزایش عملکرد و کارایی مصرف آب گندم دارد. پیشنهاد می‌شود برای رسیدن به نتایج آگرونومیکی مطلوب، اثر اندازه ذرات بیوجار بر قابلیت دسترسی عناصر غذایی برای گیاهان در شرایط مزرعه‌ای مورد بررسی قرار گیرد.

نتایج این مطالعه نشان داد که ویژگی‌های بیوجار به ویژگی‌های مواد اولیه و نیز اندازه ذرات بیوجار بستگی دارد. اندازه ذرات بیوجار بر جرم مخصوص ظاهری بیوجار تأثیر داشت و با بیشتر شدن اندازه ذرات بیوجار، جرم مخصوص ظاهری بیوجار افزایش یافت. علاوه بر اندازه ذرات بیوجار، نوع بیوجار هم بر جرم مخصوص ظاهری بیوجار مؤثر بود. بیوجار تهیه شده از کاه گندم جرم مخصوص ظاهری کمتری داشت. میزان شوری و اسیدیته بیوجار تهیه شده از چوب زردآلو کمتر از دو بیوجار تهیه شده از کاه گندم و ورمی کمپوست بود درحالی‌که بیوجار چوب زردآلو دارای کربن آلی بیشتری بود. تأثیر بیوجارهای

فهرست منابع

۱. احمدی، ک.، عبادزاده، ح.، حاتمی، ف.، عبدشاه، ه.، و کاظمیان، آ. ۱۳۹۹. آمار نامه کشاورزی سال ۱۳۹۸. جلد اول: محصولات زراعی. وزارت جهاد کشاورزی، ۹۷ صفحه.
۲. احمدی، ک.، عبادزاده، ح.، حاتمی، ف.، حسین پور، ر.، و عبدشاه، ه. ۱۳۹۹. ب. آمار نامه کشاورزی سال ۱۳۹۸. جلد سوم: محصولات باغی. وزارت جهاد کشاورزی، ۱۶۳ صفحه.
۳. بی‌نام. ۱۳۹۴. کاشت گندم در مناطق سرد «ویژه گندم دیم و آبی». موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، معاونت آموزش ترویج، نشر آموزش کشاورزی، ۳۹ صفحه.
۴. سلطانی، ا. ۱۳۹۲. کاربرد نرم‌افزار SAS در تجزیه‌های آماری (برای رشته‌های کشاورزی). انتشارات جهاد دانشگاهی، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۰۰ صفحه.
۵. شیرانی، ح.، حاج عباسی، م.، افیونی، م.، و همت، ع. ۱۳۸۹. تأثیر سیستم‌های خاک‌ورزی و کود آلی بر مقاومت فروروی خاک تحت کشت ذرت. مجله علوم آب و خاک، ۱۴ (۵۱): ۱۴۱-۱۵۵.
۶. ملکوتی، م.، و غیبی، م. ۱۳۷۶. تعیین حد بحرانی عناصر غذایی محصولات استراتژیک و توصیه کودی در کشور. موسسه تحقیقات خاک و آب، ۴۰ صفحه.
7. Ahmed, A., Gariepy, Y., and Raghavan, V. 2017. Influence of wood-derived biochar on the compactibility and strength of silt loam soil. *International Agrophysics*, 31(2): 149.
8. Alburquerque, J.A., Calero, J.M., Barrón, V., Torrent, J., Del Campillo, M C., Gallardo, A. and Villar, R. 2014. Effects of biochars produced from different feedstocks on soil properties and sunflower growth. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 177(1): 16-25.
9. Ali, K., Wang, X., Riaz, M., Islam, B., Khan, Z.H., Shah, F., Munsif, F., and Haq, S.I.U. 2019. Biochar: an eco-friendly approach to improve wheat yield and associated soil properties on sustainable basis. *Pakistan Journal of Botany*, 51(4): 1255-1261.
10. Alizadeh, A., and Kamali, G.H. 2007. Crops water requirements in IRAN. Emam Reza University, Mashhad. 227 pp.
11. Aller, D., Bakshi, S., and Laird, D.A. 2017. Modified method for proximate analysis of biochars. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 124: 335-342.
12. Baiamonte, G., Pasquale, C.D., Marsala, V., Cimò, G., Moragues-Saitua, G.L., Arias, G.A., and Bengoetxea, G.N. 2017. Effects of biochar and wood ash on soil hydraulic properties: A field experiment involving contrasting temperate soils. *Geoderma*, 305:144-152.
13. Carter, M.R., and Gregorich, E.G. 2007. Soil sampling and methods of analysis. CRC press.1240 pp.
14. Dokoochaki, H., Miguez, F.E., Laird, D., and Dumortier, J. 2019. Where should we apply biochar? *Environmental Research Letters*, 14(4): 044005.
15. Du, Z., Xiao, Y., Qi, X., Liu, Y., Fan, X., and Li, Z. 2018. Peanut-shell biochar and biogas slurry improve soil properties in the North China Plain: a four-year field study. *Scientific reports*, 8(1): 1-9.
16. Duiker, S.W., Flanagan, D.C., and Lal, R. 2001. Erodibility and infiltration characteristics of five major soils of southwest Spain. *Catena*, 45(2): 103-121.
17. FAO. 1988. Salt-affected soils and their management. FAO soils bulletin 39. Rome. Italy.
18. Gao, Y., Shao, G., Lu, J., Zhang, K., Wu, S. and Wang, Z. 2020. Effects of biochar application on crop water use efficiency depend on experimental conditions: A meta-analysis. *Field Crops Research*, 249: 107763.
19. Gee, G.W., and Bauder, J.W. 1986. Particle-size analysis1. *Methods of soil analysis: Part 1—Physical and mineralogical methods*.

20. Gupta, M., Yang, J., and Roy, C. 2002. Density of softwood bark and softwood char: procedural calibration and measurement by water soaking and kerosene immersion method. *Fuel*, 81(10): 1379-1384.
21. He, X., Geng, Z., She, D., Zhang, B., and Gao, H. 2011. Implications of production and agricultural utilization of biochar and its international dynamic. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 27(2): 1-7.
22. Jeffery, S., Verheijen, F., Van der Velde, M., and Bastos, A. 2011. A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 144: 175–187.
23. Jones J.B. 1999. *Soil analysis handbook of reference methods*. CRC Press, 382 pp.
24. Kartika, K., Lakitan, B., Wijaya, A., Kadir, S., Widuri, L. I., Siaga, E., and Meihana, M. (2018). Effects of particle size and application rate of rice-husk biochar on chemical properties of tropical wetland soil, rice growth and yield. *Australian Journal of Crop Science*, 12(5): 817–826.
25. Karimi, A., Moezzi, A., Chorom, M., and Enayatzamir, N. 2020. Application of biochar changed the status of nutrients and biological activity in a calcareous soil. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 20(2): 450-459.
26. Lehmann, J., Gaunt, J., and Rondon, M. 2006. Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems—a review. *Mitigation and adaptation strategies for global change*, 11(2): 403-427.
27. Liao, W., and Thomas, S.C. 2019. Biochar particle size and post-pyrolysis mechanical processing affect soil pH, water retention capacity, and plant performance. *Soil Systems*, 3(1): 14.
28. Li, Z., Qi, X., Fan, X., Wu, H., Du, Z., Li, P., and Lü, M. 2015. Influences of biochars on growth, yield, water use efficiency and root morphology of winter wheat. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 31(12): 119-124
29. Liu, X., Liu, M.D., Gao, Z.G. and Yang, D. 2013. Effect of different biochars on yield and yield components of wheat on different soils. *Advanced Materials Research*, 726: 2665-2669.
30. Lusiba, S., Odhiambo, J., and Ogola, J. 2017. Effect of biochar and phosphorus fertilizer application on soil fertility: soil physical and chemical properties. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 63(4): 477-490.
31. Paneque, M., José, M., Franco-Navarro, J.D., Colmenero-Flores, J.M., and Knicker, H. 2016. Effect of biochar amendment on morphology, productivity and water relations of sunflower plants under non-irrigation conditions. *Catena*, 147: 280-287.
32. Rajkovich, S., Enders, A., Hanley, K., Hyland, C., Zimmerman, A.R., and Lehmann, J. 2012. Corn growth and nitrogen nutrition after additions of biochars with varying properties to a temperate soil. *Biology and Fertility of Soils*, 48(3): 271-284.
33. Randolph, P., Bansode, R.R., Hassan, O.A., Rehrah, D.J., Ravella, R., Reddy, M.R., Watts, D.W., Novak J.M., and Ahmedna, M. 2017. Effect of biochars produced from solid organic municipal waste on soil quality parameters. *Journal of environmental management*, 192: 271-280.
34. Sato, M.K., de Lima, H.V., Costa, A.N., Rodrigues, S., Pedroso, A.J.S., and de Freitas Maia, C.M.B. 2019. Biochar from Acai agroindustry waste: Study of pyrolysis conditions. *Waste Management*, 96: 158-167.
35. Salgado, I.R., Rodriguez, P.P., Armesto, A.G., Novoa-Munoz, J.C., Arias-Estevez M., and Fernandez-Calvino, D. 2016. Cu retention in an acid soil amended with perlite winery waste. *Environmental Science and Pollution Research*, 23: 3789–3798.
36. Smith, K.A. 2000. *Soil and environmental analysis: physical methods*, revised, and expanded. CRC Press. 651 pp.
37. Tan, Z., Lin, C.S., Ji, X., and Rainey, T.J. 2017. Returning biochar to fields: A review. *Applied Soil Ecology*, 116: 1-11.

38. Trifunovic, B., Gonzales, H. B., Ravi, S., Sharratt, B.S., and Mohanty, S. K. 2018. Dynamic effects of biochar concentration and particle size on hydraulic properties of sand. *Land Degradation and Development*, 29(4): 884-893.
39. Verheijen, F. G., Zhuravel, A., Silva, F. C., Amaro, A., Ben-Hur, M., and Keizer, J. J. 2019. The influence of biochar particle size and concentration on bulk density and maximum water holding capacity of sandy vs sandy loam soil in a column experiment. *Geoderma*, 347:194-202.
40. Weber, K., and Quicker, P. 2018. Properties of biochar. *Fuel*, 217: 240-261.
41. Yuan, J.H., Xu, R.K., and Zhang, H. 2011. The forms of alkalis in the biochar produced from crop residues at different temperatures. *Bioresource technology*, 102(3): 3488-3497.
42. Zhang, Q., Song, Y., Wu, Z., Yan, X., Gunina, A., Kuzyakov, Y., and Xiong, Z. 2020. Effects of six-year biochar amendment on soil aggregation, crop growth, and nitrogen and phosphorus use efficiencies in a rice-wheat rotation. *Journal of Cleaner Production*, 242, 118435.

تاثیر کم آبیاری تنظیم شده با آب مغناطیسی بر خواص کمی، کیفی و بهره‌وری آب نخودفرنگی

امیرحسین یداللهی^۱، مجتبی خوش‌روش^۱ و محمدعلی غلامی سفیدکوهی

دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

amir.hyr@gmail.com

دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

khoshhravesh_m24@yahoo.com; m.khoshhravesh@sanru.ac.ir

دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

magholamis@yahoo.com

دریافت: مهر ۱۴۰۰ و پذیرش: آذر ۱۴۰۰

چکیده

هدف از این پژوهش تاثیر کم آبیاری تنظیم شده با آب مغناطیسی بر خصوصیات کمی و کیفی نخودفرنگی (*Pisum sativum L.*) می‌باشد. پژوهش حاضر در مزرعه‌ای واقع در روستای آغوزین شهر استان بابل استان مازندران انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمار شاهد شامل آبیاری کامل در تمام مراحل رشد گیاه و با آب معمولی (غیر مغناطیسی) بود. فاکتور اصلی شامل نوع آب (آب غیر مغناطیسی (W1) و آب مغناطیسی (W2)) و فاکتور فرعی شامل سطح آبیاری ($I1 = 100\%$ ، $I2 = 80\%$ و $I3 = 60\%$) آب مورد نیاز گیاه بود. برای آبیاری از سیستم آبیاری قطره‌ای با لوله‌های تیپ استفاده شد. نتایج نشان داد که اثر نوع آب آبیاری و سطح آبیاری و همچنین اثر متقابل آن‌ها بر پارامترهای غلاف در بوته، دانه در غلاف، عملکرد دانه و بهره‌وری مصرف آب در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. بیشترین میزان غلاف در بوته، دانه در غلاف و عملکرد دانه در تیمار W2I1 به ترتیب به میزان $13/2$ عدد، $7/5$ عدد و $8/472$ تن در هکتار و بیشترین میزان بهره‌وری مصرف آب در تیمار W2I3 به میزان $3/7$ کیلوگرم بر متر مکعب مشاهده شد. آبیاری با آب مغناطیسی به‌طور متوسط باعث افزایش عملکرد دانه و بهره‌وری مصرف آب به ترتیب به میزان $8/6\%$ و $8/7\%$ نسبت به تیمار آب غیر مغناطیسی شد. همچنین اثر نوع آب آبیاری و سطح آبیاری تاثیر معنی‌داری در سطح احتمال 1% بر روغن، عملکرد پروتئین، عملکرد پروتئین و زمان جوانه‌زنی داشت اما بر روی زمان رسیدن اثر معنی‌داری نداشت. افزایش 20% سطح آبیاری از I3 به I2 و از I2 به I1 در تیمار آب غیر مغناطیسی به ترتیب باعث افزایش $14/5\%$ و 18% و در تیمار آب مغناطیسی باعث افزایش $14/2\%$ و $13/6\%$ عملکرد دانه شد. سریعترین زمان جوانه‌زنی نیز مربوط به تیمار W2I2 با $10/3$ روز بعد از کاشت رخ داد. به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که آبیاری با آب مغناطیسی می‌تواند یک راه کار مناسب برای افزایش عملکرد، بهبود خصوصیات کیفی و افزایش بهره‌وری مصرف آب گیاه نخودفرنگی باشد.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، صرفه‌جویی آب، عملکرد روغن

^۱ - آدرس نویسنده مسئول: گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

مقدمه

با توجه به رشد جمعیت و کمبود منابع آبی، تأمین امنیت غذایی یکی از مشکلات اساسی کشورهای در حال توسعه به‌ویژه ایران به شمار می‌رود. همچنین عدم وجود دانش کافی و فرهنگ مناسب در اکثر کشاورزان ایران و برداشت بی‌رویه از ذخایر آب زیرزمینی، موجب بحران شدید کمبود آب شده‌است. در شرایطی که محدودیت استفاده از منابع آبی وجود دارد، استفاده از روش کم‌آبیاری و بالا بردن راندمان مصرف آب امری ضروری به شمار می‌آید. استراتژی مدیریت کم‌آبیاری، به معنی کاربرد آب کمتر از نیاز آبی محصول به منظور به حداکثر رساندن عملکرد گیاه و مهم‌تر از آن رسیدن به سود حداکثر با توجه به میزان آب در دسترس است (رودنیک و همکاران، ۲۰۱۷). یکی از انواع این روش‌ها، کم‌آبیاری تنظیم شده^۲ (RDI) است. کم‌آبیاری تنظیم شده یک روش مدیریتی است که با اعمال تنش‌های رطوبتی در سطوح مختلف آبیاری و در زمان‌های مشخص از دوره رشد بتوان عملکرد محصول را حفظ کرد و به حداکثر استفاده از مصرف آب رسید؛ در این روش رشد گیاه در مراحل زایشی و رویشی کنترل می‌شود (سپا سخاو و همکاران، ۱۳۸۵). در این روش، میزان آبیاری گیاهان در زمان‌های مشخص از دوره رشد که به تنش رطوبتی حساسیت کمتری دارند، کاهش می‌یابد و گیاه تحت کم آبیاری قرار می‌گیرد. میزان تنش آبی باید به اندازه‌ای باشد که تلفات کاهش عملکرد ناچیز باشد و کم‌آبیاری نباید در مواقعی که گیاه به تنش خشکی حساسیت بالایی دارد اعمال شود. هدف از این روش افزایش کارایی مصرف آب، حفظ رشد زایشی و رویشی است. در صورت مدیریت صحیح، به‌ویژه در مناطقی که کمبود (محدودیت) بیشتری از آب وجود دارد، فواید زیادی را به همراه خواهد داشت (روهنده و همکاران، ۱۳۹۴).

از روش‌های نوینی که مقدار کل آب مصرفی

برای آبیاری را کاهش می‌دهد، استفاده از فن‌آوری آب مغناطیسی است که عملکرد محصول در واحد حجم آب مصرفی را افزایش می‌دهد. آب مغناطیسی، آبی است که از یک میدان مغناطیسی که طبق محاسبات معینی ایجاد شده، عبور کرده و در نتیجه باعث تغییر و بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی آن می‌شود (خوش‌روش و کیانی، ۱۳۹۴)؛ به عبارت دیگر عبور آب از یک میدان مغناطیسی سبب تغییر در سختی، وزن مخصوص، گرانی، شوری، هدایت الکتریکی، کشش سطحی، قابلیت حل نمک‌ها، تغییر ساختار خوشه‌ای، زنجیره پیوند هیدروژنی مولکول‌ها، افزایش اثرات دوقطبی مولکول‌های آب، تغییر در ضریب شکست نور، اسیدیته آب، زاویه تماس آب با دیواره، میزان ترکندگی و قدرت حل‌کنندگی آب می‌شود (ایمانی و نیکبخت، ۱۳۹۴؛ حیدرپور و همکاران، ۱۳۹۵).

قدمی فیروزآبادی و همکاران (۱۳۹۴) با بررسی اثر کم آبیاری تنظیم‌شده و کم آبیاری ناقص ریشه بر عملکرد، فلورسانس کلروفیل و پارامترهای رشد آفتابگردان با تیمارهای آبیاری کامل^۳ (FI)، کم‌آبیاری تنظیم شده در دو سطح ۷۵ و ۵۵ درصد و آبیاری ناقص ریشه (PRD^۲) در دو سطح ۷۵ و ۵۵ درصد ظرفیت زراعی در یافتند که تیمارهای آبیاری اثر متفاوت و معنی‌داری بر وزن خشک ساقه، شاخص سطح برگ، عملکرد دانه و کارایی فتوسنتز داشتند و تیمار آبیاری کامل بیشترین عملکرد را با ۵۱۴۸ کیلوگرم در هکتار داشت که با تیمار PRD ۷۵ تفاوت معنی‌داری نداشت. تیمار FI ۷۵ بیشترین شاخص سطح برگ را دارا بود که با تیمارهای PRD ۷۵، DI ۷۵ و PRD ۵۵ تفاوت معنی‌داری نداشت. مهربانی گوهری و اسدی (۱۳۹۶) با بررسی عملکرد گوجه‌فرنگی تحت تأثیر کم‌آبیاری تنظیم‌شده و آبیاری ناقص ریشه، آزمایشی را در قالب طرح کامل تصادفی با سه تکرار در جیرفت انجام دادند. تیمارها شامل آبیاری کامل، کم آبیاری تنظیم شده و آبیاری ناقص ریشه

^۱ - Partial Rootzone Drying

^۲ - Regulated Deficit Irrigation

^۳ - Full Irrigation

در دو سطح ۷۵ و ۵۵ درصد بود. نتایج آن‌ها نشان داد که تیمار آبیاری کامل دارای بیشترین عملکرد محصول (۶۵/۲۰۲ تن در هکتار) بود. همچنین وزن میوه و عملکرد در آبیاری ناقص ریشه در سطح ۷۵ درصد به ترتیب برابر ۷/۱۶۹ گرم و ۵۹/۱۹۵ تن در هکتار به دست آمد و بیشترین کارایی مصرف آب مربوط به تیمار کم آبیاری ناقص ریشه با سطح ۷۵ درصد بود. عملکرد کم آبیاری تنظیم شده در سطح ۷۵ درصد نسبت به کم آبیاری ناقص ریشه ۱/۱۶ درصد کاهش یافت. گرگینی شبانکاره و خراسانی نژاد (۱۳۹۶) گزارش کردند که اعمال کم آبیاری بر روی گیاه نعنا فلفلی منجر به کاهش ارتفاع و وزن تر و خشک بوته شد.

ماهشوار و گریول (۲۰۰۹) تأثیر میدان مغناطیسی را به صورت سه تیمار آب شور (۳۰۰۰ میلی گرم در لیتر)، آبیاری معمولی (۵۰۰ میلی گرم در لیتر) و آب بازیافتی (۱۵۰۰ میلی گرم در لیتر)، روی عملکرد گیاهان لوبیا، کرفس و نخود در شرایط گلخانه‌ای مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که آب مغناطیسی نسبت به آب غیر مغناطیسی در تیمار آب بازیافتی و آب شور، باعث افزایش محصول کرفس به میزان ۱۲ و ۲۳ درصد و افزایش بهره‌وری آب به میزان ۱۲ و ۲۴ درصد شد. در لوبیا نیز افزایش عملکرد محصول و بهره‌وری آب بدون تأثیر معنی‌دار در هر سه تیمار آب مغناطیسی مشاهده شد. عبدالقدوس و هوزاین (۲۰۱۰) گزارش کردند که آبیاری با آب مغناطیسی سبب جذب بیشتر و راحت‌تر آب از خاک شده که در نتیجه جذب مواد غذایی از خاک بیشتر و بهتر صورت خواهد گرفت که موجب افزایش رشد و عملکرد کمی و کیفی گیاه خواهد شد.

رستگار و همکاران (۱۳۹۴) اثر آب مغناطیسی بر جوانه‌زنی و خصوصیات رشد اولیه بذر گوجه‌فرنگی را به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاکی از این بود که آب مغناطیسی توانست افزایش چشم‌گیری بر سرعت و درصد جوانه‌زنی، وزن تر گیاهچه، رشد رویشی و ترکیبات

شیمیایی مانند کلروفیل نسبت به تیمار شاهد ایجاد کند. همچنین جوانه‌زنی در بذر شاهد ۹۳ درصد بوده اما در بذر آبیاری شده با آب مغناطیسی ۹۴/۶ درصد بوده است. سورندران و همکاران (۲۰۱۶) اثرات آب مغناطیسی بر گیاه نخود گاوی را مورد بررسی قرار دادند. تیمارهای آزمایش شامل نوع آب (مغناطیس و غیرمغناطیس) و کیفیت آب (آب نرمال و آب سخت ۱۵۰، ۳۰۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ ppm) بود. نتایج نشان داد که تیمار آب مغناطیسی باعث بهبود در رشد گیاه و مولفه‌های عملکرد شد. حداکثر عملکرد در آب مغناطیسی برای آب نرمال و شور به ترتیب به میزان ۲۵/۸ و ۱۷ درصد افزایش نسبت به تیمار غیر مغناطیسی داشت. شاهین و همکاران (۲۰۱۶) تأثیر آبیاری با آب مغناطیسی را بر پارامترهای رشد و بهره‌وری عملکرد خیار بررسی کردند و نشان دادند که تیمارهای مغناطیسی در مقایسه با تیمار شاهد، درصد جوانه‌زنی، ارتفاع بوته، عملکرد و درصد ماده خشک برگ خیار را افزایش بخشید. قدمی فیروزآبادی و همکاران (۱۳۹۵) اثر آبیاری با آب مغناطیسی بر عملکرد دانه و بیوماس گیاه سویا رقم DPX را در شرایط کم آبیاری و شوری آب مورد بررسی قرار دادند و گزارش کردند که آب مغناطیسی مقدار عملکرد دانه، بیوماس، ارتفاع گیاه، درصد روغن و درصد پروتئین در تمامی تیمارهای خشکی و شوری را به طور معنی‌داری افزایش داد. بیشترین میزان عملکرد دانه برابر ۵/۵ تن در هکتار از تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی مربوط به تیمار آب مغناطیسی بود. عابدین‌پور و روحانی (۱۳۹۸) به بررسی اثر شوری و آب مغناطیسی بر عملکرد و کارایی مصرف آب گیاه زیره سبز پرداختند و نشان دادند که آبیاری با آب مغناطیسی سبب افزایش عملکرد نسبت به تیمار غیرمغناطیسی شد. همچنین آب مغناطیس شده سبب افزایش کارایی مصرف آب به میزان ۱۷/۴، ۱۰/۳، ۶/۵ و ۸/۸ درصد به ترتیب در تیمارهای آب شور ۱۰، ۸، ۶ و ۵ دسی‌زیمنس بر متر شده بود. بابالو و همکاران (۲۰۱۸) اثر آبیاری با آب مغناطیسی بر پارامترهای رشد و ترکیبات شیمیایی برنج را مورد بررسی قرار دادند

و گزارش کردند که آبیاری با آب مغناطیسی باعث افزایش پروتئین کل می‌شود. مهدی حسن و همکاران (۲۰۱۹) اثر آب مغناطیسی بر رشد و وضعیت فیزیولوژیکی گز روغنی را مورد بررسی قرار دادند. این آزمایش در گلخانه و با تیمارهای نوع آب (غیرمغناطیسی و آب مغناطیسی) و رژیم آبیاری شامل ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه (به‌عنوان شاهد)، ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه (به‌عنوان تنش خشکی متوسط) و ۲۰ درصد ظرفیت مزرعه (به‌عنوان تنش خشکی شدید) انجام شد. نتایج نشان داد که تنش خشکی کاهش قابل توجهی در ارتفاع بوته، سطح برگ، محتوای نسبی آب، کلروفیل و محتوای یون، تعرق، هدایت روزنه‌ای و راندان مصرف آب ایجاد کرد. همچنین تیمارهای آبیاری با آب مغناطیسی باعث کاهش تجمع یون‌ها از جمله سدیم شد و توانست اثرات ناشی از تنش خشکی را در این گیاه کاهش دهد.

نخودفرنگی با نام عمومی Pea و نام علمی *Pisum sativum* L. متعلق به خانواده بقولات^۵ است. گیاهان این خانواده از دسته میوه‌های غلاف‌دار بوده و تثبیت نیتروژن از ویژگی‌های این گیاهان است (عباس‌پور شاهمرس، ۱۳۹۵). نخودفرنگی در میان حبوبات به‌عنوان یک منبع مغذی حاوی پروتئین شناخته شده، به‌راحتی برای مدت طولانی انبار می‌شود و توسط انسان و دام می‌تواند به‌عنوان غذای فرآوری شده، پخته شده و در بعضی مناطق به‌صورت خام مصرف شود. با توجه به مشکلاتی همچون

کمبود منابع آب و تأمین امنیت غذایی در کشور، پژوهش‌های مختلفی برای افزایش بهره‌وری آب و بالا بردن کیفیت غذا در ایران انجام شده است. برخی از این پژوهش‌ها شامل کم آبیاری و آبیاری با آب مغناطیسی است که راه‌کار مغناطیس نمودن آب می‌تواند به‌عنوان یک گزینه مناسب برای افزایش عملکرد کمی و کیفی محصول مورد استفاده قرار گیرد. با توجه به بررسی منابع انجام شده، تاکنون پژوهشی در مورد اثر توأم کم آبیاری تنظیم شده و آب مغناطیسی بر عملکرد کمی و کیفی گیاه نخودفرنگی انجام نشده است. هدف از این پژوهش بررسی اثر سطوح مختلف آب مغناطیسی بر عملکرد کمی و کیفی و بهره‌وری آب گیاه نخودفرنگی است.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در مزرعه‌ای به مساحت ۱۳۶ مترمربع واقع در روستای آغوزین شهرستان بابل واقع در استان مازندران انجام شد. اقلیم منطقه بر اساس روش لیتین اسکي که یکی از دقیق‌ترین روش‌ها برای محاسبه اقلیم است، معتدل نیمه‌مرطوب است (داودی و همکاران، ۱۳۹۳). جدول ۱ اطلاعات هواشناسی منطقه را در طول دوره رشد گیاه نشان می‌دهد.

جدول ۱- اطلاعات هواشناسی منطقه در طول دوره رشد گیاه

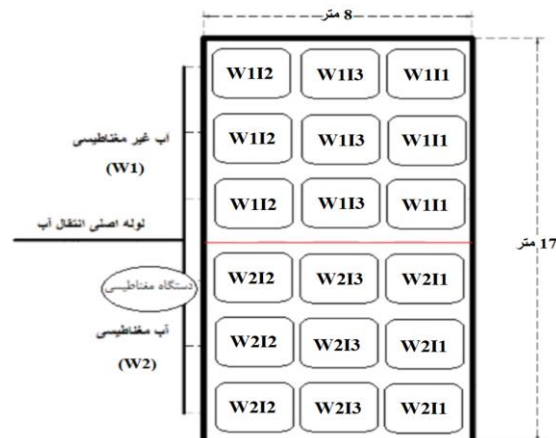
ماه	متوسط دما (C)	متوسط رطوبت نسبی (%)	بارندگی (mm)	تبخیر (mm)
آبان	۱۶/۵	۷۹	۶۲/۱	۵۷/۵
آذر	۹/۲	۸۴	۱۱۷/۴	۱۸/۴
دی	۷/۸	۸۰	۷۵/۳	۲۴/۲
بهمن	۹/۶	۸۱	۴۶/۶	۲۱
اسفند	۹	۸۰	۶۵/۳	۲۷/۶
فروردین	۱۵/۹	۷۶	۱۱/۷	۹۰/۷

در مزرعه مورد مطالعه، گیاه نخود فرنگی هلندی رقم Wolf Rossen seeds استفاده شد که رقمی دانه

درشت، پفکی و زودرس به شمار می‌آید. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی

^۵- Leguminosae

فاصله کشت روی ردیف ۲۰ سانتی متر و فاصله ردیف‌ها از هم ۵۰ سانتی متر در نظر گرفته شد. همچنین مساحت هر کرت چهار مترمربع (۲×۲ متر) تعیین شد و کرت‌ها با فاصله یک متر از یکدیگر جهت جلوگیری از ورود آب کرت‌های مجاور، قرار داشتند. شکل ۱ جانمایی تیمارها در مزرعه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱- جانمایی تیمارها در مزرعه مورد مطالعه

با سه تکرار (R) اجرا شد. تیمار شاهد شامل آبیاری کامل (FI) در تمام مراحل رشد گیاه و با آب معمولی (غیر مغناطیسی) بود. فاکتور اصلی شامل نوع آب (آب غیر مغناطیسی (W1) و آب مغناطیسی (W2)) و فاکتور فرعی شامل سطح آبیاری در سه سطح (۱۰۰ درصد FI (I1)، ۸۰ درصد FI (I2) و ۶۰ درصد FI (I3)) بود. در این طرح

۴۰ و ۸۰-۶۰ سانتی متری از سطح زمین توسط دستگاه رطوبت‌سنج Sentek مدل Diviner اندازه‌گیری شد. به منظور واسنجی دستگاه رطوبت‌سنج Sentek، با تهیه ۲۳ نمونه از نواحی و اعماق مختلف زمین در فواصل زمانی متفاوت پس از آبیاری، مقدار رطوبت در آزمایشگاه اندازه‌گیری و معادله واسنجی دستگاه استخراج شد. خصوصیات فیزیکی خاک مزرعه مورد مطالعه در جدول ۲ ارائه شده است.

برای آبیاری از سیستم آبیاری قطره‌ای با لوله‌های تیپ استفاده شد. دور آبیاری پنج روز در نظر گرفته شد و نیاز آبی در هر نوبت بر اساس پایش رطوبت خاک و رسیدن به مقدار ظرفیت زراعی صورت گرفت. پس از اندازه‌گیری رطوبت خاک در هر نوبت، آبیاری براساس نوع هر تیمار تا ۱۰۰ درصد، ۸۰ درصد و ۶۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی زمین انجام شد. قبل از هر نوبت آبیاری، رطوبت خاک در عمق‌های ۰-۲۰، ۲۰-۴۰، ۴۰-۶۰

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی خاک محل مورد آزمایش

عمق (سانتی‌متر)	درصد ذرات خاک			بافت خاک	FC	PWP	جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب)
	رس	سیلت	شن				
۰-۲۰	۱۷	۳۹	۴۴	لوم	۳۶/۵۷	۲۰	۱/۳۸
۲۰-۴۰	۲۰	۳۶	۴۴	لوم	۳۵/۸۸	۲۰	۱/۳۸
۴۰-۶۰	۲۴	۳۲	۴۴	لوم	۳۵	۱۸/۲	۱/۴
۶۰-۸۰	۲۴	۳۰	۴۶	لوم	۳۴/۵۴	۱۶/۹۲	۱/۴۱

آبیاری با آب مغناطیسی در تمام طول دوره رشد گیاه اعمال شد. به منظور مغناطیس کردن آب آبیاری از روش ترکیبی آهنربای دائمی و جریان الکتریسیته استفاده شد (شکل ۲). در حالت آهنربای دائمی، مگنت‌هایی در

کم‌آبیاری تنظیم شده از زمان چهار برگگی شدن و استقرار کامل گیاه آغاز و تا شروع مرحله گل‌دهی گیاه ادامه پیدا کرد و بعد از شروع مرحله گل‌دهی، آبیاری به صورت کامل صورت گرفت. لازم به ذکر است که

خروجی منبع آب و به وسیله بست‌های محکمی به دور لوله پلی اتیلن نصب شدند و با ایجاد یک میدان مغناطیسی

قوی سبب تغییر در خواص فیزیکی آب آبیاری شد.



شکل ۲- دستگاه مغناطیس (الف) و الکترومغناطیس (ب) نصب شده بر روی لوله

در حالت جریان الکتریسیته، رشته سیم پیچ شده به دور لوله پلی اتیلن قرار گرفت. دو سر سیم به خروجی‌های یک میکروپروسسور متصل شده و با وصل شدن ورودی میکروپروسسور به برق جریان متغیر که توسط میکروپروسسور ایجاد شده وارد سیم پیچ می‌شود و با عبور جریان الکتریسیته از سیم، یک میدان مغناطیسی قوی متناسب با تعداد دور سیم پیچ ایجاد می‌شود. با عبور جریان آب و به علت قطبی بودن آب، آنیون‌ها و کاتیون‌های آب بر اثر اعمال نیروی القایی به یکدیگر نزدیک شده و به هم می‌چسبند.

به منظور بررسی صفات کمی و کیفی، نمونه برداری از وسط هر کرت به مساحت یک مترمربع (۱×۱) انجام شد. پارامترهایی که در این پژوهش اندازه‌گیری شدند، شامل خصوصیات کمی گیاه (عملکرد دانه،

زیست توده، تعداد دانه در غلاف، تعداد غلاف در بوته)، خصوصیات کیفی (پروتئین و روغن)، تعیین زمان زودرسی و بهره‌وری مصرف آب می‌باشند. برای تحلیل آماری داده‌ها از نرم افزار SAS (نسخه 9.4) استفاده شد و مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون LSD مورد مقایسه قرار گرفتند.

نتایج و بحث

نتایج مربوط به تجزیه واریانس داده‌های به دست آمده از پارامترهای عملکرد و بهره‌وری مصرف آب نشان داد که اثر نوع آب آبیاری تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد روی غلاف در بوته، دانه در غلاف، عملکرد دانه و بهره‌وری مصرف آب داشت. اثر سطح آبیاری هم توانست تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر روی پارامترهای مذکور بگذارد. همچنین اثر متقابل نوع

آب آبیاری و سطوح آبیاری اثر معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد بر غلاف در بوته، دانه در غلاف، عملکرد دانه و بهره‌وری مصرف آب داشت.

جدول ۳ مقایسه میانگین اثر نوع آب آبیاری و سطوح مختلف آبیاری بر عملکرد و بهره‌وری مصرف آب را نشان می‌دهد. بیشترین میانگین میزان غلاف در بوته، دانه در غلاف و عملکرد دانه مربوط به سطح آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی است و بیشترین میانگین میزان بهره‌وری مصرف آب مربوط به سطح آبیاری ۶۰ درصد نیاز آبی است. لو و همکاران (۲۰۱۹) نیز نشان دادند که کم‌آبیاری تنظیم‌شده باعث کاهش عملکرد گوجه‌فرنگی شد اما کیفیت میوه بهبود یافت. RDI باعث کاهش عملکرد گوجه‌فرنگی با اختلاف میانگین ۱۸/۶۱ تن در هکتار، افزایش کارایی مصرف آب با اختلاف ۲/۳۳ کیلوگرم در

مترمکعب شد. همچنین RDI توانست مقدار ویتامین C را در گوجه‌فرنگی افزایش دهد.

میانگین میزان غلاف در بوته، دانه در غلاف، عملکرد دانه و بهره‌وری مصرف آب در تیمارهای آب مغناطیسی نسبت به تیمارهای آب غیر مغناطیسی بیشتر است و بین تیمارهای آب مغناطیسی و آب غیر مغناطیسی و همچنین بین سطوح مختلف آبیاری اختلاف معنی‌دار وجود دارد. نتایج این بخش از پژوهش با یافته‌های نیکبخت و همکاران (۲۰۱۴) مطابقت دارد. آن‌ها نشان دادند که گیاه ذرت تحت تیمار آب مغناطیسی، ۹/۵ درصد سطح برگ، ۱۰/۶۸ درصد محتوای کلروفیل برگ، ۸/۳ درصد وزن تر و ۹ درصد بهره‌وری مصرف آب را نسبت به تیمار آب معمولی افزایش داد.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر نوع آب آبیاری و سطوح مختلف آبیاری بر عملکرد و بهره‌وری مصرف آب

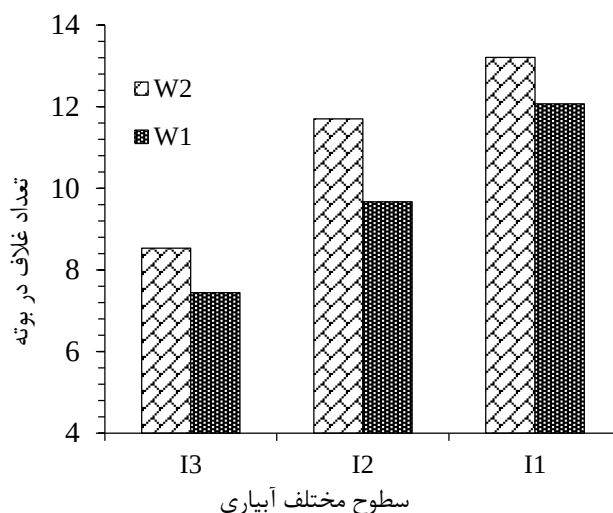
فاکتور	غلاف در بوته تعداد	دانه در غلاف تعداد	عملکرد دانه t ha ⁻¹	بهره‌وری مصرف آب Kg m ⁻³
نوع آب آبیاری	مغناطیسی	۱۱/۱۵a	۶/۴۹a	۷/۴۸a
	غیر مغناطیسی	۹/۷۳b	۵/۷۵b	۶/۹۰b
سطوح مختلف آبیاری	۱۰۰	۱۲/۶۴a	۷/۳۳a	۸/۲۴a
	۸۰	۱۰/۶۸b	۶/۲۸b	۷/۱۲b
	۶۰	۷/۹۹c	۴/۷۶c	۶/۲۲c

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون براساس آزمون LSD در سطح پنج درصد دارای تفاوت معنی‌دار نیست

تعداد غلاف در بوته

شکل ۳ روند تغییرات غلاف در بوته در تیمارهای مختلف را نشان می‌دهد. بیشترین و کمترین تعداد غلاف در بوته در تیمارهای W1I3 و W2I1 به ترتیب به تعداد ۱۳/۲ و ۷/۴ مشاهده شد. در تیمار آبیاری مغناطیسی، با افزایش ۲۰ درصدی سطوح آبیاری از ۶۰ به ۸۰ درصد و از ۸۰ به ۱۰۰ درصد، تعداد غلاف در بوته به ترتیب ۳۷/۱ و ۱۲/۸ درصد رشد داشته و در تیمار آبیاری غیرمغناطیسی با افزایش سطح آبیاری از ۶۰ به ۸۰ درصد و از ۸۰ به ۱۰۰ درصد، تعداد غلاف در بوته به ترتیب ۲۹/۸ و ۲۴/۸ درصد افزایش یافت. تریپاتی و باستیا (۲۰۱۲) نشان دادند که اعمال کم‌آبیاری در گیاه کنجد، باعث کاهش معنی‌دار تعداد کپسول در بوته و

عملکرد دانه شد که با یافته‌های این پژوهش مطابقت دارد. تیمار آب مغناطیسی توانست در هر یک از سطوح آبیاری ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد به ترتیب باعث افزایش ۱۴/۶، ۲۱ و ۹/۴ درصدی تعداد غلاف‌ها نسبت به تیمار آب غیرمغناطیسی شود. با عبور آب از میدان مغناطیسی، پیوندهای هیدروژنی و واندروالس بین مولکول‌های آب شکسته شده و در نتیجه کشش سطحی آب کاهش و حلالیت آب افزایش می‌یابد و با افزایش قدرت حلالیت آب، باعث افزایش فتوسنتز و رشد بذرهای آبیاری شده با آب مغناطیسی شده و جذب مواد غذایی از خاک نیز بیشتر خواهد شد و در نهایت افزایش کمیت محصول را سبب می‌شود. پادلثونی و همکاران (۲۰۰۴) گزارش کردند که تعداد غلاف و عملکرد لوبیا با اعمال آب مغناطیسی افزایش یافت.

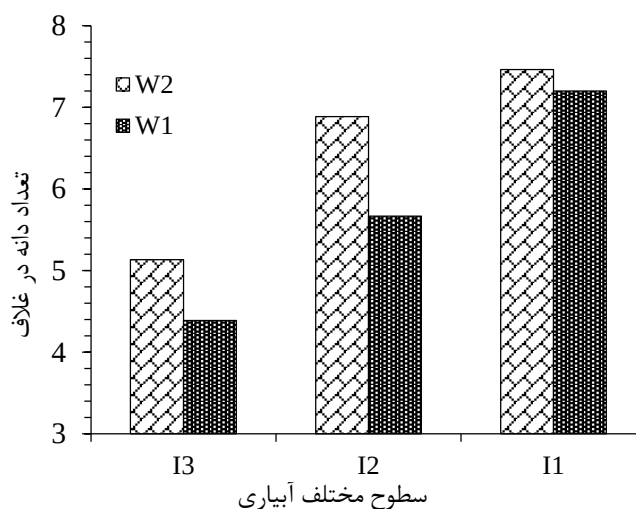


شکل ۳- روند تغییرات تعداد غلاف در بوته در تیمارهای مختلف

تعداد دانه در غلاف

بر اساس نتایج ارائه شده در شکل ۴، آب مغناطیسی توانست تعداد دانه‌ها در غلاف را نیز افزایش دهد به طوری که بیشترین تعداد دانه در تیمار W2I1 به میزان ۷/۵ عدد مشاهده شد. همچنین کمترین تعداد دانه در غلاف در تیمار W1I3 به میزان ۴/۴ عدد مشاهده شد. در تیمار آبیاری مغناطیسی با افزایش سطح آبیاری به I2 و I1، تعداد دانه در غلاف به ترتیب ۳۴/۱ و ۸/۳ درصد افزایش یافت و در تیمار آبیاری غیرمغناطیسی با افزایش

سطح آبیاری به I2 و I1 به ترتیب ۲۹ و ۲۷ درصد افزایش یافت. نتایج این بخش با یافته‌های گزارش شده از پژوهش کویاگو کروز و همکاران (۲۰۱۹) مبنی بر کاهش وزن میوه و تعداد میوه در هر خوشه گوجه گیلاسی گلخانه‌ای در اثر کم آبیاری تنظیم شده مطابقت دارد. با توجه به شکل ۴، تیمار آب مغناطیسی در هر یک از سطوح I3، I2 و I1 به ترتیب سبب افزایش ۱۶/۹، ۲۱/۵ و ۳/۶ درصدی تعداد دانه در غلاف نسبت به تیمار آب غیرمغناطیسی شده است.



شکل ۴- روند تغییرات تعداد دانه در غلاف در تیمارهای مختلف

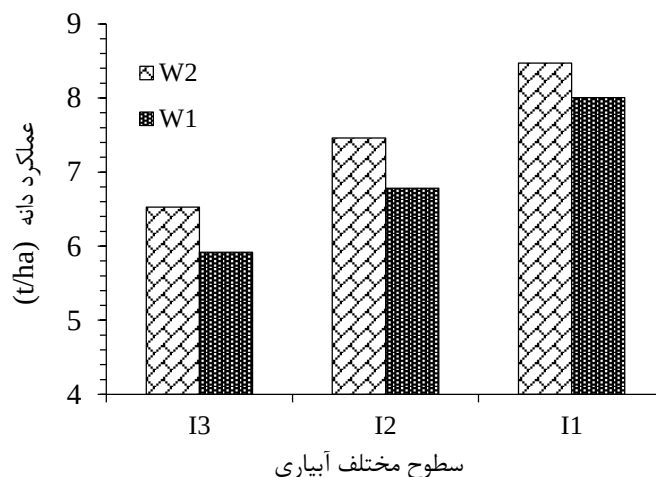
عملکرد دانه

با توجه به شکل ۵ بیشترین عملکرد دانه در هر

یک از سطوح آبیاری، مربوط به تیمار آبیاری مغناطیسی است و بیشترین و کمترین عملکرد به ترتیب در تیمارهای

درصدی عملکرد دانه شده است. آب مغناطیسی باعث عبور آسان آب و مواد از غشای سلول گیاهی می شود (الگدزی، ۲۰۰۶) که در نتیجه می تواند باعث جذب آب و افزایش عملکرد شود. قدمی فیروزآبادی و همکاران (۱۳۹۵) نیز نشان دادند که در شرایط آب مغناطیسی، مقدار عملکرد دانه، بیوماس و ارتفاع گیاه سویا رقم DPX در تمامی تیمارهای خشکی و شوری به طور معنی داری افزایش یافت.

W1I3 و W2I1 به مقدار ۸/۴۷۲ و ۵/۹۲۰ تن در هکتار مشاهده شد. تیمارهای آبیاری مغناطیسی در هر یک از سطوح آبیاری I1، I2 و I3 نسبت به تیمارهای آبیاری غیرمغناطیسی به ترتیب به میزان ۱۰/۲، ۹/۹ و ۵/۸ درصد افزایش عملکرد دانه داشته است که از لحاظ آماری معنی دار است. همچنین با افزایش ۲۰ درصدی سطح آبیاری از I3 به I2 و از I2 به I1 در تیمار آب غیر مغناطیسی به ترتیب باعث افزایش ۱۴/۵ و ۱۸ درصدی و در تیمار آب مغناطیسی باعث افزایش ۱۴/۲ و ۱۳/۶



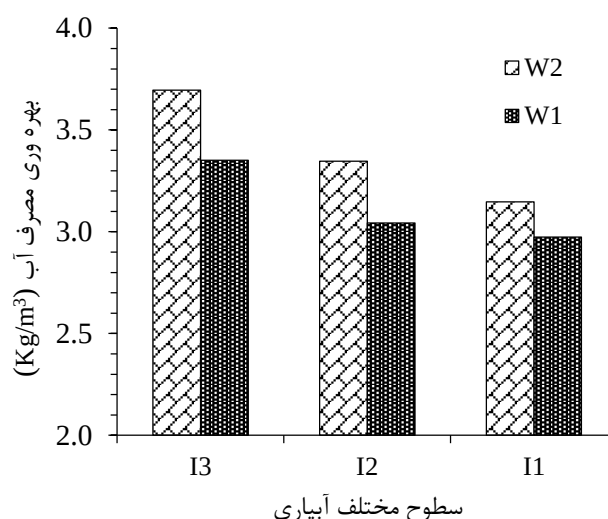
شکل ۵- روند تغییرات عملکرد دانه در تیمارهای مختلف سطوح مختلف آبیاری

۱۰/۳، ۱۰ و ۵/۹ درصدی بهره‌وری مصرف آب نسبت به تیمار آب غیرمغناطیسی شود. با توجه به شکل ۶، مقدار بهره‌وری تیمار W2I1 بیشتر از تیمار W1I2 و همچنین مقدار بهره‌وری تیمار W2I2 با تیمار W1I3 برابر شده که نشان‌دهنده اثر آب مغناطیسی بر افزایش بهره‌وری مصرف آب است. نتایج این بخش از پژوهش با یافته‌های مهرابی گوهری و اسدی (۱۳۹۶) مطابقت دارد. آن‌ها با بررسی عملکرد گوجه‌فرنگی تحت تأثیر کم‌آبیاری تنظیم‌شده نشان دادند که اعمال کم‌آبیاری در سطح ۷۵ درصد با افزایش ۱۴ درصدی کارایی مصرف آب و صرفه‌جویی ۲۵ درصدی آب یک روش مناسب برای افزایش بازده آبیاری در کشت گوجه‌فرنگی است. نیکبخت و رضایی (۱۳۹۶) نشان دادند که میانگین بهره‌وری مصرف آب در تیمار مخلوط آب و پساب مغناطیسی ۳۰ درصد بیشتر از تیمار

بهره‌وری مصرف آب

در شکل ۶ روند تغییرات بهره‌وری مصرف آب در تیمارهای مختلف ارائه شد. با توجه به افزایش عملکرد در تیمار آبیاری مغناطیسی، بهره‌وری مصرف آب نیز در این تیمار بیشتر از تیمار آبیاری غیرمغناطیسی است به طوری که بیشترین میزان بهره‌وری در تیمار W2I3 به مقدار $3/7 \text{ Kg m}^{-3}$ و کمترین میزان بهره‌وری در تیمار W1I1 به مقدار $2/97 \text{ Kg m}^{-3}$ مشاهده شد. با افزایش ۲۰ درصدی سطح آبیاری از ۶۰ به ۸۰ و از ۸۰ به ۱۰۰ درصد در آبیاری مغناطیسی به ترتیب ۹/۵ و ۶ درصد و در آبیاری غیرمغناطیسی به ترتیب ۹/۳ و ۲/۳ درصد کاهش بهره‌وری مصرف آب مشاهده شد. همچنین تیمار آب مغناطیسی توانست در هر یک از سطوح آبیاری ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی به ترتیب به طور معنی داری باعث افزایش

شاهد بود.



شکل ۶- روند تغییرات بهره‌وری مصرف آب در تیمارهای مختلف

تیمارهای آبیاری مغناطیسی و آبیاری غیرمغناطیسی و همچنین بین سطوح مختلف آبیاری اختلاف معنی‌دار وجود دارد. آب مغناطیسی با تأثیر بر متابولیسم سلول‌های مرستمی باعث افزایش جذب عناصر غذایی و بهبود فعالیت‌های فتوسنتزی و صعود کاپیلاری در مکانیسم انتقال مواد در بافت‌های زنده شده و در نتیجه باعث افزایش ارتفاع بوته و قطر ساقه خواهد شد و تا حدی اثر منفی تنش خشکی را کاهش می‌دهد (مجد و شبرنگی، ۲۰۰۹).

پژوهش جمالی و همکاران (۱۳۹۹) پیرامون تأثیر سطوح مختلف آبیاری و آب مغناطیسی بر رشد و عملکرد گیاه دارویی نعنا فلفلی نشان داد که استفاده از آب مغناطیسی در شرایط کم‌آبی باعث افزایش رشد گیاه شده و نسبت به تیمار شاهد عملکرد خشک و تر اندام هوایی نعنا فلفلی را بهبود بخشید. گاو و همکاران (۲۰۱۷) نیز با بررسی اثر آبیاری با آب مغناطیسی بر رشد پنبه نشان دادند که آبیاری با آب مغناطیسی باعث افزایش ۲۹ درصدی وزن خشک پنبه نسبت به تیمار شاهد شد.

نتایج مربوط به تجزیه واریانس داده‌های به‌دست آمده از پارامترهای وزن تر و وزن خشک نشان داد که اثر نوع آب آبیاری تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد روی وزن تر، عملکرد وزن تر، وزن خشک و عملکرد وزن خشک داشت. اثر سطح آبیاری نیز توانست تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر روی پارامترهای وزن تر، عملکرد وزن تر، وزن خشک و عملکرد وزن خشک بگذارد. همچنین اثر متقابل نوع آب آبیاری و سطوح آبیاری اثر معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد بر وزن تر، عملکرد وزن تر، وزن خشک و عملکرد وزن خشک داشت.

مقایسه میانگین اثر نوع آب آبیاری و سطوح مختلف آبیاری بر زیست‌توده در جدول ۴ ارائه شد. بیشترین میزان وزن تر، عملکرد وزن تر، وزن خشک و عملکرد وزن خشک مربوط به سطح آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی است. میانگین میزان وزن تر، عملکرد وزن تر، وزن خشک و عملکرد وزن خشک در تیمارهای آب مغناطیسی نسبت به تیمارهای آب غیر مغناطیسی بیشتر است و بین

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر نوع آب آبیاری و سطوح مختلف آبیاری بر زیست توده

فاکتور	وزن تر بوته g	عملکرد وزن تر بوته t ha ⁻¹	وزن خشک بوته g	عملکرد وزن خشک بوته t ha ⁻¹
نوع آب آبیاری	مغناطیسی	۲۷۱/۶۲a	۴۸/۸۹a	۴۴/۵۵a
	غیر مغناطیسی	۲۴۴/۰۲b	۴۳/۹۲b	۳۸/۵۳b
سطوح مختلف آبیاری	۱۰۰	۳۱۷/۳۵a	۵۷/۱۲a	۵۲/۰۷a
	۸۰	۲۵۲/۹۸b	۴۵/۵۴b	۳۹/۷۶b
	۶۰	۲۰۳/۱۲c	۳۶/۵۶c	۳۲/۷۹c

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون براساس آزمون LSD در سطح پنج درصد دارای تفاوت معنی‌دار نیست

وزن تر

بیشترین میزان وزن تر اندام هوایی گیاه در تیمار W2I1 برابر ۳۴۲/۱۶ گرم و کمترین میزان در تیمار W1I3 برابر ۲۰۰/۶۰ گرم مشاهده شد. در آبیاری مغناطیسی با افزایش ۲۰ درصدی سطح آبیاری از ۶۰ به ۸۰ درصد و ۸۰ به ۱۰۰ درصد، مقدار وزن تر گیاه به ترتیب به مقدار ۲۹/۹ و ۲۸/۱ درصد رشد داشته و در آبیاری غیرمغناطیسی با افزایش سطح آبیاری از ۶۰ به ۸۰ درصد و ۸۰ به ۱۰۰ درصد، مقدار وزن تر اندام هوایی گیاه به ترتیب ۱۹/۱ و ۲۲/۴ درصد افزایش یافت. با کم آبیاری، رشد و توسعه سلول‌های ساقه و برگ باعث محدود و کوچک شدن اندازه اندام گیاه شده و در نتیجه ارتفاع گیاه کاهش می‌یابد. کاهش مواد فتوسنتزی در دسترس اندام هوایی و کاهش جذب مواد غذایی نیز باعث کاهش ارتفاع و سطح برگ شده که در نهایت عملکرد تر و خشک اندام هوایی کاهش می‌یابد (عزیز و یوسف، ۲۰۱۰). تیمار آب مغناطیسی توانست در سطوح آبیاری ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی به‌طور معنی‌داری باعث افزایش ۱۱/۸ و ۱۶/۹ درصدی وزن تر اندام هوایی گیاه نسبت به تیمار آب غیرمغناطیسی شود. نتایج این بخش از پژوهش با یافته‌های خطاب و همکاران (۲۰۱۴) مبنی بر افزایش سطح برگ، غلاف‌های سبز و همچنین افزایش معنی‌داری ارتفاع بوته، تعداد برگ و وزن تر مطابقت دارد.

عملکرد وزن تر

با افزایش سطح آبیاری، عملکرد وزن تر اندام هوایی گیاه افزایش یافته و بیشترین عملکرد وزن تر اندام هوایی گیاه در هر یک از سطوح آبیاری مربوط به تیمار

آبیاری مغناطیسی است. بیشترین و کمترین عملکرد وزن تر اندام هوایی به ترتیب در تیمارهای W2I1 و W1I3 به مقدار ۶۱/۵۸۸ t ha⁻¹ و ۳۶/۱۰۸ t ha⁻¹ مشاهده شد. تیمارهای آبیاری مغناطیسی در هر یک از سطوح آبیاری I3، I2 و I1 نسبت به تیمارهای آبیاری غیرمغناطیسی به ترتیب به میزان ۲/۵، ۱۱/۸ و ۱۶/۹ درصد افزایش عملکرد وزن تر داشته است. با افزایش ۲۰ درصدی سطح آبیاری از I3 به I2 و I2 به I1 در تیمار آب غیر مغناطیسی به ترتیب باعث افزایش ۱۹/۱ و ۲۲/۴ درصدی و در تیمار آب مغناطیسی باعث افزایش ۲۹/۹ و ۲۸/۱ درصدی عملکرد وزن تر شده است. کاهش عملکرد وزن تر در تیمارهای کم آبیاری به دلیل کاهش وزن اندام هوایی گیاه و همچنین تطابق گیاه با شرایط تنشی با کاهش سطح سبزیگی و تنفسی خود است. با افزایش میزان آبیاری، اثرگذاری آب مغناطیسی بر عملکرد وزن تر اندام هوایی بیشتر شد. ناشیر (۲۰۰۸) با کاربرد آب مغناطیسی برای گیاه نخود نشان دادند که ارتفاع گیاه افزایش یافت که تأثیر مستقیم در افزایش عملکرد وزن تر دارد.

وزن خشک

بیشترین مقدار وزن خشک اندام هوایی گیاه در تیمار W2I1 به مقدار ۵۵/۵۹ گرم مشاهده شد. کمترین مقدار وزن خشک اندام هوایی گیاه در تیمار W1I3 به میزان ۳۱/۱۴ گرم مشاهده شد. مقدار وزن خشک اندام هوایی در تیمار آب مغناطیسی با افزایش سطح آبیاری به I2 و I1 به ترتیب ۲۶/۶ و ۲۷/۴ درصد افزایش یافت و در تیمار آب غیرمغناطیسی با افزایش سطح آبیاری به I2 و I1 به ترتیب

۱۵/۳ و ۳۵/۲ درصد افزایش یافت. تیمار آب مغناطیسی در هر یک از سطوح I3، I2 و I1 به ترتیب باعث افزایش ۱۰/۶، ۲۱/۵ و ۱۴/۵ درصدی وزن خشک اندام هوایی گیاه نسبت به تیمار آب غیرمغناطیسی شد. وزن خشک اندام هوایی از وزن تر اندام هوایی نشأت گرفته و دارای همبستگی مثبت است. اسدی و همکاران (۱۳۹۸) با بررسی تأثیر کم آبیاری تنظیم شده بر ویژگی‌های کمی رزماری نشان دادند که بیشترین شاخص سطح برگ و وزن خشک اندام هوایی (۶/۳۸۷۴ کیلوگرم در هکتار) در تیمار آبیاری کامل به دست آمد که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد.

عملکرد وزن خشک

با افزایش سطح آبیاری، عملکرد وزن خشک گیاه افزایش یافت. همچنین با اعمال آبیاری مغناطیسی، عملکرد وزن خشک اندام هوایی گیاه نیز افزایش یافت؛ به طوری که بیشترین و کمترین عملکرد وزن خشک اندام هوایی به ترتیب مربوط به تیمارهای W2I1 و W1I3 با $t \text{ ha}^{-1}$ و $۱۰/۰۰۶^1$ و $۵/۶۰۵$ است. تیمارهای آبیاری مغناطیسی در هر یک از سطوح آبیاری I3، I2 و I1 نسبت به تیمارهای آبیاری غیرمغناطیسی به ترتیب به میزان ۱۰/۶، ۲۱/۵ و ۱۴/۵ درصد افزایش عملکرد وزن خشک داشتند. با افزایش ۲۰ درصدی سطح آبیاری از I3 به I2 و I2 به I1 در تیمار آب غیر مغناطیسی، به ترتیب باعث افزایش ۱۵/۳ و ۳۵/۲ درصدی عملکرد وزن خشک و در تیمار آب مغناطیسی باعث افزایش ۲۶/۶ و ۲۷/۴ درصدی عملکرد وزن خشک شده است. نتایج مربوط به تجزیه واریانس پارامترهای کیفی و زودرسی محصول نشان داد که اثر نوع آب آبیاری تأثیر معنی داری در سطح احتمال یک درصد بر روغن، عملکرد روغن، پروتئین، عملکرد پروتئین و زمان جوانه زنی داشت اما بر روی زمان رسیدن اثر معنی داری

نداشت. اثر سطح آبیاری هم توانست تأثیر معنی داری در سطح احتمال یک درصد بر روی پارامترهای روغن، عملکرد روغن، پروتئین، عملکرد پروتئین و تأثیر معنی دار در سطح احتمال پنج درصد بر زمان جوانه زنی بگذارد اما بر روی زمان رسیدن اثر معنی داری نداشت. همچنین اثر متقابل نوع آب آبیاری و سطح آبیاری اثر معنی دار در سطح احتمال یک درصد بر روغن، عملکرد روغن و پروتئین و اثر معنی دار در سطح احتمال پنج درصد بر عملکرد پروتئین داشت اما بر زمان جوانه زنی و رسیدن اثر معنی دار نداشت. جدول ۵ مقایسه میانگین اثر نوع آب آبیاری و سطوح مختلف آبیاری بر خصوصیات کیفی و زودرسی محصول را نشان می دهد. بیشترین میزان روغن و پروتئین مربوط به تیمار آبیاری مغناطیسی است و در بین سطوح مختلف آبیاری نیز بیشترین میزان عملکرد روغن و عملکرد پروتئین مربوط به سطح آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی است. همچنین بیشترین میزان میانگین زمان جوانه زنی و زمان رسیدن به ترتیب مربوط به آبیاری غیرمغناطیسی و سطح آبیاری ۶۰ درصد نیاز آبی است. میانگین میزان روغن، عملکرد روغن، پروتئین و عملکرد پروتئین در تیمارهای آب مغناطیسی نسبت به تیمارهای آب غیر مغناطیسی بیشتر است و میانگین میزان زمان جوانه زنی و زمان رسیدن در تیمارهای آبیاری غیرمغناطیسی نسبت به آبیاری مغناطیسی بیشتر است. بین تیمارهای آبیاری مغناطیسی و آبیاری غیرمغناطیسی در همه پارامترها به غیر از پارامتر زمان رسیدن اختلاف معنی داری وجود دارد. همچنین بین سطوح مختلف آبیاری در همه پارامترها به غیر از زمان جوانه زنی و زمان رسیدن اختلاف معنی داری وجود دارد. نتایج این پژوهش با یافته های شاهین و همکاران (۲۰۱۶) و بابالو و همکاران (۲۰۱۸) مطابقت دارد.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر نوع آب آبیاری و سطوح مختلف آبیاری بر خصوصیات کیفی و زودرسی

فاکتور	روغن %	عملکرد روغن t ha ⁻¹	پروتئین %	عملکرد پروتئین t ha ⁻¹	زمان رسیدن day	زمان جوانه زنی day
نوع آب آبیاری	مغناطیس	۴/۲۵a	۲۱/۵۴a	۱/۶۱a	۱۴۶/۷۸a	۱۱/۵۶b
	غیر مغناطیس	۳/۸۶b	۱۹/۵۸b	۱/۳۵b	۱۴۷/۰۰a	۱۵/۱۱a
سطوح مختلف آبیاری	۱۰۰	۴/۱۹a	۱۹/۶۵c	۱/۶۲a	۱۴۵/۸۳a	۱۲/۸۳a
	۸۰	۴/۰۶b	۲۰/۷۶b	۱/۴۸b	۱۴۷/۰۰a	۱۲/۸۳a
	۶۰	۳/۹۱c	۲۱/۲۷a	۱/۳۳c	۱۴۷/۸۳a	۱۴/۳۳a

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون براساس آزمون LSD در سطح پنج درصد دارای تفاوت معنی‌دار نیست

روغن

با افزایش سطح آبیاری، میزان روغن در دانه‌های نخودفرنگی افزایش یافت. همچنین اعمال تیمار آبیاری مغناطیسی سبب افزایش معنی‌دار روغن در دانه شد. بیشترین درصد روغن دانه در تیمار W2I1 به مقدار ۴/۳۹ درصد و کمترین درصد روغن دانه در تیمار W1I3 به مقدار ۳/۷۳ درصد مشاهده شد. آبیاری مغناطیسی در هر یک از سطوح آبیاری I3، I2 و I1 به ترتیب باعث افزایش روغن دانه به میزان ۹/۷، ۱۰/۶ و ۱۰/۱ درصد نسبت به تیمار آبیاری غیرمغناطیسی شد. در تیمار آبیاری مغناطیسی نیز با افزایش ۲۰ درصدی سطح آبیاری از ۶۰ به ۸۰ و ۸۰ به ۱۰۰ درصد، مقدار روغن دانه به ترتیب به مقدار ۴/۴ و ۲/۹ درصد رشد داشته و در رژیم آبیاری غیرمغناطیسی با افزایش سطح ۲۰ درصدی آبیاری از ۶۰ به ۸۰ و ۸۰ به ۱۰۰، مقدار روغن دانه به ترتیب ۳/۵ و ۳/۴ درصد افزایش یافت. زارعی سیاه‌بیدی و همکاران (۱۳۹۹) با اعمال کم-آبیاری بر گیاه آفتابگردان دریافتند که تیمارهای آبیاری بر میزان روغن دانه اثر معنی‌داری داشته به‌طوری‌که بیشترین میزان روغن دانه مربوط تیمار آبیاری کامل بود.

عملکرد روغن

با اعمال تیمار آبیاری مغناطیسی در هر سطح، عملکرد روغن نیز افزایش یافت به‌طوری‌که بیشترین میزان عملکرد روغن دانه در تیمار W2I1 به مقدار ۰/۳۷۲ تن در هکتار و کمترین میزان در تیمار W1I3 به مقدار ۰/۲۲۱ تن در هکتار مشاهده شد. با افزایش ۲۰ درصدی سطح آبیاری از ۶۰ به ۸۰ درصد و ۸۰ به ۱۰۰ درصد، در آبیاری

مغناطیسی به ترتیب ۱۹/۳ و ۱۶/۹ درصد و در آبیاری غیرمغناطیسی ۱۸/۵ و ۲۲ درصد افزایش راندمان عملکرد روغن مشاهده شد. استفاده از آبیاری مغناطیسی به‌صورت میانگین سبب افزایش ۱۹/۷ درصدی عملکرد روغن دانه نسبت به تیمار آبیاری غیرمغناطیسی شد. تیمارهای آبیاری مغناطیسی در هر یک از سطوح آبیاری I3، I2 و I1 نسبت به تیمارهای آبیاری غیرمغناطیسی به ترتیب به میزان ۲۰/۹، ۲۱/۷ و ۱۶/۵ درصد افزایش عملکرد روغن دانه داشته است.

پروتئین دانه

پروتئین دانه با کاهش سطح آبیاری در کم‌آبیاری تنظیم‌شده افزایش یافت. یکی از علل افزایش پروتئین دانه، آبیاری با آب مغناطیسی است. بیشترین و کمترین درصد پروتئین دانه به ترتیب در تیمارهای W2I3 و W1I1 و به میزان ۲۲/۳۵ و ۱۸/۷۳ درصد مشاهده شد. با کاهش سطح آبیاری در تیمارهای I2 و I3 در آبیاری مغناطیسی میزان پروتئین به ترتیب ۵/۵ و ۳ درصد و در آبیاری غیرمغناطیسی به ترتیب ۵/۸ و ۱/۹ درصد افزایش یافت. تیمار آب مغناطیسی در هر یک از سطوح I3، I2 و I1 به ترتیب سبب افزایش ۱۰/۶، ۹/۵ و ۹/۸ درصدی پروتئین نسبت به تیمار آب غیرمغناطیسی شد. استفاده از آبیاری مغناطیسی به-صورت میانگین سبب افزایش ۹/۹ درصدی پروتئین دانه نسبت به تیمار آبیاری غیرمغناطیسی شد. نتایج ضرابی و همکاران (۱۳۹۶) با یافته‌های پژوهش حاضر مطابقت دارد. آن‌ها با بررسی آب مغناطیسی بر خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه ذرت تحت شرایط تنش خشکی نشان

دادند که بیشترین مقدار پروتئین کل مربوط به تیمار آب مغناطیسی و در شرایط ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه مشاهده شد. گرگینی شبانکاره و همکاران (۱۳۹۴) نشان دادند که اعمال تنش خشکی بر روی گیاه دارویی بادرنشبو از یک طرف سبب کاهش خصوصیات رشدی و از طرف دیگر سبب افزایش میزان درصد اسانس در ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه شده است.

عملکرد پروتئین دانه

عملکرد پروتئین دانه (حاصل ضرب میزان پروتئین دانه در عملکرد دانه) با بیشتر شدن سطوح آبیاری افزایش یافت و این افزایش به دلیل زیاد بودن اختلاف عملکرد دانه در اثر بیشتر شدن سطح آبیاری است. بیشترین عملکرد پروتئین دانه در تیمار W2I1 به مقدار ۱/۷۴۲ تن در هکتار و کمترین عملکرد پروتئین دانه در تیمار W1I3 به مقدار ۱/۱۹۶ تن در هکتار است. تیمارهای آبیاری مغناطیسی در هر یک از سطوح آبیاری I1، I2، I3 و I1 نسبت به تیمارهای آبیاری غیرمغناطیسی به ترتیب به میزان ۲۲، ۲۰/۴ و ۱۶/۲ درصد افزایش عملکرد پروتئین دانه داشته است که از لحاظ آماری معنی دار است. همچنین با افزایش سطح آبیاری از I3 به I2 و I2 به I1 در تیمار آب غیر مغناطیسی به ترتیب باعث افزایش ۱۲/۴ و ۱۱/۵ درصدی عملکرد پروتئین دانه و در تیمار آب مغناطیسی باعث افزایش ۱۰/۹ و ۷/۶ درصدی عملکرد پروتئین دانه شده است.

زمان جوانه زنی

آبیاری مغناطیسی توانست اثر معنی داری بر جوانه زنی گیاه بگذارد و باعث زود جوانه زدن گیاه شود اما سطح آبیاری تاثیر معنی داری بر جوانه زنی گیاه نداشت. کمترین زمان جوانه زنی مربوط به تیمار W2I2 با ۱۰/۳ روز بعد از کاشت و بیشترین زمان جوانه زنی مربوط به تیمارهای W1I1 و W2I2 با ۱۵/۳ روز بعد از کاشت است. تیمار آب مغناطیسی در هر یک از سطوح I1، I2، I3 و I1 به ترتیب

سبب کاهش ۱۳، ۳۲/۶ و ۲۸/۳ درصدی زمان جوانه زنی نسبت به تیمار آب غیرمغناطیسی شده است. به طور متوسط آبیاری مغناطیسی سبب کاهش ۳۲/۲ درصدی در زمان جوانه زنی شده است. آب مغناطیسی بسیار آسان تر از آب معمولی توسط غشای بذر جذب شده و به قسمت های درونی بذر راه یافته و علاوه بر جذب بهتر، فرایندهای متابولیکی که منجر به جوانه زنی می شود، شروع می شود (بلو و همکاران، ۱۹۹۸). زارعی و همکاران (۱۳۹۹) با عنوان تاثیر آب مغناطیسی بر رشد و جوانه زنی بذر پنج رقم گندم نشان دادند که آب مغناطیسی تاثیر معنی داری بر جوانه زنی و کلیه شاخص های رشد نسبت به تیمار شاهد داشت. واشید و ناگاراچان (۲۰۱۰) نیز نشان دادند که میدان مغناطیسی بر سرعت رشد و درصد سبز شدن دانه های آفتاب گردان تاثیر مثبتی داشت و باعث ۹ تا ۵۷ درصد افزایش در سرعت جوانه زنی شد.

زمان رسیدن دانه

سطوح مختلف آبیاری و تیمار آبیاری مغناطیسی نتوانست اثر معنی داری بر زمان رسیدن دانه بگذارد. بیشترین زمان رسیدن دانه مربوط به تیمار W2I3 با ۱۴۹ روز بعد از کاشت و کمترین زمان مربوط به تیمار W2I1 با ۱۴۵ روز بعد از کاشت است. تیمار آب مغناطیسی در سطح آبیاری ۶۰ درصد نیاز آبی سبب افزایش ۱/۶ درصدی در زمان رسیدن دانه است اما در سطوح آبیاری ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه سبب کاهش ۰/۹ و ۱/۸ درصدی در زمان رسیدن دانه است. همچنین با افزایش سطح آبیاری از I3 به I2 و I2 به I1 در تیمار آب مغناطیسی باعث کاهش ۱/۸ و ۰/۹ درصدی در زمان رسیدن محصول شده است.

نتیجه گیری

کم آبی یکی از عوامل مهم محدودکننده رشد و عملکرد گیاهان است و تأمین امنیت غذایی برای رشد روزافزون جمعیت جهان، نیازمند تخصیص منابع آب فراوان به بخش کشاورزی است؛ بنابراین بایستی از

و W1I1 و به میزان ۲۲/۳۵ و ۱۸/۷۳ درصد مشاهده شد. نتایج پژوهش حاظر نشان داد که کاربرد آب مغناطیسی توانست تأثیر مثبت و معنی داری بر عملکرد و اجزای عملکرد، خصوصیات کیفی و بهره‌وری مصرف آب گیاه نخودفرنگی داشته باشد. همچنین با اعمال آب مغناطیسی، اثرات منفی ناشی از کم‌آبی را تا حد قابل قبولی کاهش داد و باعث بهبود عملکرد کمی و کیفی گیاه نخودفرنگی شد. استفاده از آب مغناطیسی در شرایط کم‌آبی یک راه‌کار مناسب برای بالا بردن عملکرد است. براساس یافته‌های این پژوهش، تیمار W2I2 از لحاظ اقتصادی مناسب‌تر است زیرا با حفظ عملکرد در حد قابل قبول، سبب کاهش مصرف آب نیز می‌شود.

کمترین مقدار آب، بیشترین بهره‌وری لازم صورت گیرد. در این پژوهش اثر سطوح مختلف کم‌آبیاری تنظیم شده با اعمال میدان مغناطیسی بر خصوصیات کمی و کیفی گیاه نخودفرنگی بررسی شد. بیشترین و کمترین عملکرد به ترتیب در تیمارهای W2I1 و W1I3 به مقدار ۸/۴۷۲ و ۵/۹۲۰ تن در هکتار مشاهده شد. با توجه به افزایش عملکرد در تیمار آبیاری مغناطیسی، بهره‌وری مصرف آب نیز در این تیمار بیشتر از تیمار آبیاری غیرمغناطیسی است به طوری که بیشترین میزان بهره‌وری در تیمار W2I3 به مقدار 3 Kg m^{-3} و کمترین میزان بهره‌وری در تیمار W1I1 به مقدار $2/97 \text{ Kg m}^{-3}$ مشاهده شد. بیشترین و کمترین در صد پروتئین دانه به ترتیب در تیمارهای W2I3

فهرست منابع

۱. اسدی، ر.، حسن‌پور، ف.، مهربانی، م.، باقی‌زاده، ا. و کاراندیش، ف. ۱۳۹۸. ارزیابی خصوصیات کمی گیاه رزماری با استفاده از دو سیستم آبیاری قطره‌ای تحت تأثیر اعمال کم‌آبیاری. آبیاری و زهکشی ایران. ۱۳(۴): ۱۰۳۸-۱۰۲۷.
۲. ایمانی، م. و نیکبخت، ج. ۱۳۹۴. اثر دور آبیاری با آب مغناطیس بر عملکرد و بهره‌وری مصرف آب ذرت رقم ماکسیمما. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان.
۳. جمالی، ص.، انصاری، ح. و صفری‌زاده ثانی، ع. ۱۳۹۹. تأثیر سطوح مختلف آبیاری و آب مغناطیسی بر رشد و عملکرد گیاه دارویی نعنا فلفلی. پژوهش آب در کشاورزی. ۳۴(۳): ۴۴۸-۴۳۲.
۴. حیدرپور، م.، خوش‌روش، م. و مشاور، ی. ۱۳۹۵. اثر آب‌شور مغناطیسی شده بر اصلاح آب‌و خاک در آبیاری قطره‌ای. پژوهش‌های حفاظت آب‌و خاک. ۲۳(۲): ۱۹۳-۱۷۹.
۵. خوش‌روش، م. و کیانی، ع. ۱۳۹۴. اثر آب‌شور مغناطیسی شده بر نفوذپذیری و هدایت الکتریکی بافت‌های مختلف خاک. آبیاری و زهکشی ایران. ۹(۴): ۶۵۴-۶۴۶.
۶. داودی، م.، بای، ن. و ابراهیمی، ا. ۱۳۹۳. طبقه‌بندی اقلیمی استان مازندران بر اساس روش لیتین اسک. اطلاعات جغرافیایی سپهر. ۲۲(۸۸): ۱۰۵-۱۰۰.
۷. رستگار، س. و صادقی لاری، ع. ۱۳۹۴. اثر آب مغناطیسی بر جوانه‌زنی و خصوصیات رشد اولیه بذر گوجه-فرنگی. پژوهش آب در کشاورزی. ۲۹(۳): ۴۱۷-۴۰۹.
۸. روهنده، م.، قیصری، م.، لندی، ا. و غلامی، م. ۱۳۹۴. تأثیر آبیاری ناقص ریشه بر رشد و عملکرد درختان بالغ زیتون. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان.
۹. زارعی سیاه‌بیدی، ا.، رضایی زاد، ع. و دانشیان، ج. ۱۳۹۹. اثر کم‌آبیاری بر عملکرد دانه و اجزای عملکرد هیبرید-های آفتابگردان. نشریه علوم زراعی ایران. ۲۲(۱): ۱۴-۱.

۱۰. زارعی، س.، کسرایی، م. و نعمت‌اللهی، م. ۱۳۹۹. بررسی اثر آب مغناطیسی بر رشد و جوانه‌زنی بذر پنبه رقم گندم. ماشین‌های کشاورزی. ۱۰(۲): ۲۸۹-۲۹۸.
۱۱. سپاسخواه، ع.، توکلی، ع. و موسوی، ف. ۱۳۸۵. اصول و کاربرد کم آبیاری. انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. ۲۱۰ صفحه.
۱۲. ضرابی، م.، مفاخری، س.، و کاویانی، ع. ۱۳۹۶. اثر آبیاری با آب معمولی و مغناطیسی بر خصوصیات مرفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه ذرت تحت شرایط تنش خشکی. فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۹(۳۵): ۵۴-۳۹.
۱۳. عابدین‌پور، م. و روحانی، ا. ۱۳۹۸. تاثیر شوری و آب مغناطیسی بر عملکرد و کارایی مصرف آب گیاه زیره سبز (مطالعه موردی: منطقه کاشمر). تحقیقات آب و خاک ایران. ۵۰(۴): ۸۱۷-۸۰۷.
۱۴. عباس‌پور شاهمرس. ۱۳۹۵. اثرات متقابل مقادیر مختلف آهن و سیلیسیم در محلول غذایی بر روی عملکرد گیاه نخودفرنگی و فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانتو. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی دانشگاه مراغه. ۱۰۶ صفحه.
۱۵. قدمی فیروزآبادی، ع.، خوش‌روش، م.، شیرازی، پ. و زارع ابیانه، ح. ۱۳۹۵. اثر آبیاری آب مغناطیسی بر عملکرد دانه و بیوماس گیاه سویا رقم DPX در شرایط کم آبیاری و شوری آب. پژوهش آب در کشاورزی. ۳۰(۱): ۱۴۳-۱۳۱.
۱۶. قدمی فیروز آبادی، ع.، رائینی سرجاز، م.، شاهنظری، ع. و زارع ابیانه، ح. ۱۳۹۴. مدیریت مصرف آب و تغییرات رطوبت خاک در آبیاری کامل، کم آبیاری تنظیم شده و کم آبیاری ناقص ریشه (PRD) در گیاه آفتابگردان. پایان‌نامه دکتری، دانشکده مهندسی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.
۱۷. گرگینی شبانکاره، ح.، اصغری‌پور، م. ر. و فاخری، ب. ۱۳۹۴. ارزیابی تاثیر کودهای زیستی بر رشد و اسانس باردشویه تحت تیمار کم آبی. اکوفیزیولوژی گیاهی. ۲۳: ۱۹۴-۱۸۵.
۱۸. گرگینی شبانکاره، ح. و خراسانی نژاد، س. ۱۳۹۶. اثر کاربرد سطوح مختلف ورمی کمپوست بر برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی و اسانس گیاه دارویی نعنای فلفلی تحت رژیم‌های کم آبی. تولید گیاهان زراعی. ۱۰(۴): ۷۴-۵۹.
۱۹. مهرابی گوهری، م. و اسدی، ر. ۱۳۹۶. بررسی عملکرد گوجه‌فرنگی تحت تاثیر کم آبیاری تنظیم شده و آبیاری ناقص ریشه. مدیریت آب و آبیاری. ۷(۲): ۲۷۱-۲۵۷.
۲۰. نیکبخت، ج. و رضایی، ا. (۱۳۹۶). تاثیر سطوح مختلف پساب و آب مغناطیسی شده بر عملکرد و بهره‌وری آب در آبیاری ذرت و برخی خصوصیات فیزیکی خاک. تحقیقات آب و خاک ایران. ۴۸(۱): ۷۵-۶۳.
21. Abdul Qados, A. M. S. and Hozayn, M. 2010. Magnetic water technology, a novel tool to increase growth, yield and chemical constituents of lentil (*Lens esculenta*) under greenhouse condition. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science. 7(4): 457-462.
22. Algezari, H. 2006. Effect of magnetizing of water and fertilizers on the some chemical parameters of soil and growth of maize. M.Sc. Thesis, University of Baghdad, Iraq and Signaling. New-York. USA Elsevier.
23. Azooz, M.M. and M.M. Youssef. 2010. Evaluation of heat shock and salicylic acid treatments as inducers of drought stress tolerance in hassawi wheat. American Journal of Plant Physiology. 5(2): 56-70.
24. Babaloo, F., Majd, A., Arbabian, S., Sharifnia, F. and Ghanati, F. 2018, the effect of magnetized water on some characteristics of growth and chemical constituent in rice. EurAsian Journal of BioSciences. 12: 129-137.

25. Belov, G. D., N. G. Sidorevich and V.T. Golovarev. 1988. Irrigation of Farm crops with water treated with magnetic field. Soviet Agricultural Sciences, USA.
26. Coyago-Cruz, E. D. R., Melendez-Martinez, A. J., Moriana, A., Giron, I., Martin-Palomo, M. J., Galindo, A., Lopez, D. P., Torrecillas, A., Beltran, E. and Correl, M. 2019. Yield response to regulated deficit irrigation of greenhouse cherry tomatoes. *Agricultural Water Management*. 213: 212-221.
27. Gao, Y., Sun, Y., Zhang, R. and Chu, G. 2017. Effects of magnetic water irrigation on the growth, N uptake and antioxidant enzyme activities of cotton seedlings. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 7(1): 25-33.
28. Khatatb, Entsar K.A., Mona M. Abdel-Wanes, Amal Z. Hegazi and A.E. Arafa. 2014. Magnetic treatment of irrigation water for improving vegetative growth, fresh and dry yield of bean (*Phaseolus Vulgaris* L.) grown under plastic house. *Egyptian Journal of Agricultural Research*. 92(4): 1395-1411.
29. Lu, J., Shao, G., Cui, J., Wang, X. and Keabetswe, L. 2019. Yield, fruit quality and water use efficiency of tomato for processing under regulated deficit irrigation: A meta-analysis, *Agricultural Water Management*. PR China. 222: 301-312.
30. Mahadi Hasan, M., Alharby, H., Hajar, A., Hakeem, K. and Alzahrani, Y. 2019. The effect of magnetized water on the growth and physiological conditions of moringa species under drought stress. *Journal of Environmental Studies*. 28(3): 1-11.
31. Maheshwari, B. L. and Grewal, H. S. 2009. Magnetic treatment of irrigation water: its effects on vegetable crop yield and water productivity. *Agricultural Water Management*. 96(8): 1229-1236.
32. Majd, A., and Shabrangi, A. 2009. Effect of seed pretreatment by magnetic fields on seed germination and ontogeny growth of agricultural plants. *Progress in Electromagnetic Research Symposium*, Beijing, China, March 23-27.
33. Nashir, S. H. 2008. The effect of magnetic water on growth of chickpea. *Engineering and Technology*. 26(9): 16-20.
34. Nikbakht, J., Khandeh Rouyan, M., Tavakoli, A. and Tahheri, M. 2014. The effect of magnetic water deficit on yield and water use efficiency of corn. *Journal of Water Research in Agriculture*. 24(4), 551-563.
35. Podleony, J., Pietruszewski, S. and Podleona, A. 2004. Efficiency of the magnetic treatment of broad bean seeds cultivated under experimental plot conditions. *International Agro physics*. 18: 65-71.
36. Rudnick, d., Irmak, S. and Ray, C. 2017. Deficit irrigation management of corn in the high plants: 29th Annual Central Plains Irrigation Conference, Burlington, Colorado, Feb 21-22.
37. Shahrin M. M., Mashhour A. M. A. and E. S. E. Abd-Elhady. 2016. Effect of magnetized irrigation water and seeds on some water properties, growth parameter and yield productivity of cucumber plants. *Current Science International*. 5(2): 152-164.
38. Surendran, U., Sandeep, O. and Joseph, E. J. 2016. The impacts of magnetic treatment of irrigation water on plant, water and soil characteristics. *Agricultural Water Management*. 178: 21-29.
39. Tripathy, S., Bastia, D.K. 2012. Irrigation and nutrient management for yield augmentation of summer sesame (*sesamum indicum* L). *Journal of Crop and Weed*. 8(2): 53-57
40. Vashisth, A. and S. Nagarajann. 2010. Effect on germination and early growth characteristics in sunflower (*Helianthus annuus*) seeds exposed to static magnetic field. *Journal of Plant Physiology*. 167(2): 149-156.

تاثیر آبیاری قطره‌ای و غرقابی بر عملکرد و بهره‌وری آب در دو روش کشت برنج در مازندران

مهسا رحیمی پول، داود اکبری نوده^۱، رضا اسدی، علی باقری و فضل شیردل شهیمی

دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی آب، واحد قائم‌شهر، دانشگاه آزاد اسلامی، قائم‌شهر، ایران.

Mahsa.rahimi80@yahoo.com

استادیار گروه علوم و مهندسی آب، واحد قائم‌شهر، دانشگاه آزاد اسلامی، قائم‌شهر، ایران.

dakbarin@yahoo.com

گروه علوم و مهندسی آب، واحد قائم‌شهر، دانشگاه آزاد اسلامی، قائم‌شهر، ایران، استادیار سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، موسسه تحقیقات

برنج کشور- معاونت مازندران، آمل، ایران.

r_asadi1@yahoo.com

استادیار گروه علوم و مهندسی آب، واحد قائم‌شهر، دانشگاه آزاد اسلامی، قائم‌شهر، ایران.

Ali523b@yahoo.com

استادیار گروه زراعت، واحد قائم‌شهر، دانشگاه آزاد اسلامی، قائم‌شهر، ایران.

fazlshirdel@yahoo.com

دریافت: آبان ۱۴۰۰ و پذیرش: اسفند ۱۴۰۰

چکیده

با توجه به اهمیت کشت برنج، به ویژه در استان مازندران، ضروری است که برنامه‌ریزی دقیقی برای استفاده بهینه از منابع آبی موجود در استان در بخش کشاورزی صورت گیرد تا تقاضای آب برای تولید برنج کاهش یابد. به این منظور، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار با چهار تیمار (روی رقم طارم هاشمی) طی سال زراعی ۱۳۹۹ در معاونت موسسه تحقیقات برنج کشور-در آمل اجرا شد. تیمارها شامل کشت رایج با آبیاری غرقابی (T1)، کشت رایج با آبیاری قطره ای (T2)، کشت نشایی در بستر گلخراپ نشده با آبیاری قطره‌ای (T3) و کشت مستقیم بذر در بستر خشک با آبیاری قطره ای (T4) بود. نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر روش‌های کشت و آبیاری بر ارتفاع بوته، عملکرد، آب مصرفی، آب آبیاری، بهره‌وری آب مصرفی و بهره‌وری آب آبیاری موثر بوده و از نظر آماری در سطح ۱٪ و ۵٪ معنی‌دار بود. بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار عملکرد به ترتیب متعلق به تیمارهای T1 و T4 با ۴۰۷۹ و ۲۸۷۶ کیلوگرم در هکتار بود. بیش‌ترین بهره‌وری آب مصرفی متعلق به تیمار T2 با ۰/۶۱ کیلوگرم در مترمکعب بود که با کشت رایج با آبیاری غرقابی (T1) اختلاف معنی‌داری نداشت. کم‌ترین مقدار بهره‌وری آب مصرفی نیز با ۰/۴۵ کیلوگرم در مترمکعب متعلق به تیمار T4 بود. بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار بهره‌وری آب آبیاری به ترتیب متعلق به تیمارهای T2 و T1 با ۰/۶۷ و ۰/۵۲ کیلوگرم در مترمکعب بود. بر اساس نتایج حاصل از این آزمایش، تیمار کشت رایج با آبیاری قطره‌ای کاهش عملکرد قابل توجه‌ای نسبت به تیمار کشت رایج با آبیاری غرقابی نداشت و با صرفه‌جویی در مصرف آب میزان بهره‌وری آب را افزایش داد؛ ازین رو تیمار کشت رایج با آبیاری قطره‌ای به عنوان بهترین تیمار در این پژوهش شناخته شد.

واژه‌های کلیدی: بستر گلخراپ، رقم طارم هاشمی، مدیریت آبیاری

^۱- آدرس نویسنده مسئول: گروه علوم و مهندسی آب، واحد قائم‌شهر، دانشگاه آزاد اسلامی، قائم‌شهر، ایران.

مقدمه

کمبود آب در بسیاری از کشورها از جمله ایران یکی از چالش‌های اصلی دولت‌هاست. در چنین کشورهایی بیش از ۷۰ درصد منابع آب تجدیدپذیر در بخش کشاورزی استفاده می‌شود (پورغلام و همکاران، ۲۰۲۰). در ایران سهم بخش کشاورزی از آب تجدیدپذیر طی دوره‌های آماری ۷ و ۵۰ سال به ترتیب ۵۲ و ۷۱ درصد است (عباسی و همکاران، ۱۳۹۴). رشد جمعیت، تغییر در سطح زندگی و کاهش بارندگی از جمله عواملی است که باعث بهم خوردن تعادل بین عرضه و تقاضای آب می‌شود (کوهزاد و همکاران، ۲۰۲۰)، از این رو افزایش بهره‌وری برای تغذیه جمعیت در حال رشد با استفاده از شیوه‌های کارآمد مدیریت آب و فن‌آوری‌های صرفه‌جویی در مصرف آب امری ضروری است (دووادا و همکاران، ۲۰۲۰). برنج بزرگترین مصرف‌کننده آب شیرین در سراسر جهان است و به امنیت غذایی بیش از نیمی از جمعیت جهان کمک می‌کند (کریجو و همکاران، ۲۰۱۷). ایران از نظر سطح زیر کشت برنج دارای رتبه ۲۳ و از نظر عملکرد رتبه نه جهان را دارا است (فائو^۱، ۲۰۱۴). استان مازندران با ۲۱۴ هزار و ۵۲ هکتار در رتبه دوم از نظر کشت برنج در ایران قرار دارد و ۲۶ درصد از تولید برنج کشور را به خود اختصاص داده است (احمدی و همکاران، ۲۰۱۹). در آسیا، کشت نشایی برنج در زمین گلخراب شده، روش معمول کشت است (ورما و همکاران، ۲۰۱۸). در این روش، گیاهچه‌های برنج پس از رشد اولیه در خزانه به زمین اصلی منتقل شده و در خاک گل‌آب شده نشاء می‌شوند (ساندهو و همکاران، ۲۰۱۷). گلخرابی شالیزارهای برنج برای ایجاد بستر نرم خاک برای نشاءکاری آسان گیاهچه برنج، کنترل علف‌های هرز و کاهش هدر رفت آب و شستشوی عناصر غذایی انجام می‌شود اما به دلیل تخریب ساختار فیزیکی خاک، ورودی‌های انرژی و نیاز به کارگر بیشتر، انگیزه کمتری برای انجام گلخرابی وجود دارد (فنگ و همکاران، ۲۰۱۹). در سیستم کشت معمول که مبتنی بر استفاده از ارقام برنج

آبی با آبیاری غرقابی می‌باشد، بیش از ۸۰ درصد از طول دوره رشد به صورت غرقاب دائم است. غرقاب طولانی در روش کشت مرسوم، موجب بروز مشکلاتی در طول دوره رشد برنج از جمله ایجاد شرایط احیاء خاک در اثر کاهش تهویه، حساسیت گیاه به آفات و بیماری‌ها و همچنین آلودگی آب‌وخاک می‌شود (ماوو، ۲۰۰۲). با توجه به مشکلات جدی کمبود آب در زمان کشت برنج، منابع محدود و افزایش تقاضای آب برای مصارف شهری و صنعتی، استفاده از روش سنتی غرقابی دائمی برای آبیاری شالیزارها، از نظر مدیریت آب قابل توجیه به نظر نمی‌آید (پی و همکاران، ۲۰۱۳). بررسی روش‌های جایگزین تولید برنج با استفاده از آب کمتر برای امنیت غذایی از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار است، از این رو در تحقیقات جدید کشاورزی یکی از رویکردهای مهم، صرفه‌جویی در مصرف آب در سامانه‌های تولید برنج است. روش‌های آبیاری برای کاهش آب مصرفی در شالیزار وجود دارد که از آن جمله می‌توان به مدیریت‌های آبیاری غیرغرقاب در دوره‌هایی از رشد برنج اشاره نمود (بومن و تانگ، ۲۰۰۱). صداقت و همکاران (۱۳۹۳) در تحقیقی به مقایسه و بررسی امکان کاربرد روش‌های مختلف آبیاری در مقایسه با روش سنتی و ارزیابی روش‌های مختلف آبیاری پرداختند. نتایج حاصل نشان داد که ارقام گیاهی مورد استفاده و همچنین روش‌های مختلف آبیاری از نظر مصرف آب تفاوت معنی‌داری داشتند. اسدی (۱۳۹۷) براساس مطالعه‌اش در خصوص کشت برنج در اراضی شالیزاری بدون انجام عملیات گلخرابی گزارش کرد، در روش کشت نشایی بدون عملیات گلخرابی به طور متوسط ۲۵ درصد آب مصرفی در مقایسه با کشت به روش سنتی صرفه‌جویی می‌شود، از طرفی مقدار بهره‌وری آب در روش کشت نشایی بدون عملیات گلخرابی در مقایسه با روش کشت سنتی به طور متوسط معادل ۲۲ درصد افزایش می‌یابد. پن و همکاران (۲۰۱۷) نشان دادند که کاشت مستقیم برنج می‌تواند یک روش جانشین مناسب‌تر برای برنج غرقابی (با نشاءکاری) با هزینه

^۱ -FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations

تولید و کارگر کمتر و تلاش اضافی برای پرورش نشاء در خزانه باشد. حوسن و همکاران (۲۰۱۸) بیان کردند حذف عملیات گلخراپی می‌تواند هزینه‌های کار، سوخت و ورودی آب آبیاری را برای آماده‌سازی زمین برای استقرار برنج کاهش دهد. ژو و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند عملکرد در کشت مستقیم در حدود ۱۲ درصد کمتر از کشت نشایی بود. پورامیر و همکاران (۱۳۹۹) در مطالعه‌ای نتیجه گرفتند روش کاشت مستقیم برنج از طریق حذف مرحله خزانه و مراقبت از نشاءها، حذف عملیات نشاءکاری و همچنین حذف وجین دستی منجر به کاهش نیروی کار مورد نیاز برای کشت برنج می‌شود و تفاوت معنی‌داری از نظر عملکرد شلتوک با کشت نشایی ندارد. دوکوتا و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند کشت مستقیم برنج می‌تواند باعث بهبود بهره‌وری خاک، به حداقل رساندن هزینه‌ها، افزایش درآمد خانوار، افزایش عملکرد و کاهش هزینه کود و آماده‌سازی زمین شود. باستلا (۲۰۲۰) نیز بیان کرد که گلخراپی موجب شکسته شدن ساختمان خاک می‌شود؛ از این رو آب بیشتری برای آماده‌سازی زمین نیاز است. او در تحقیقش کشت مستقیم را به جای کشت در بستر گلخراپ به کشاورزان توصیه کرده است. کروزیلان و همکارانش (۲۰۱۵) آزمایشی را در موسسه تحقیقات آبیاری کشاورزی ولگوگراد^۱ روسیه به مدت دو سال (۲۰۱۳، ۲۰۱۴) برای بررسی اثر رژیم‌های مختلف آب در ترکیب با سه سطح کود معدنی تحت سیستم آبیاری قطره‌ای بر رشد و عملکرد برنج هوازی و ظرفیت صرفه‌جویی در مصرف آب انجام دادند که نتایج به دست آمده نشان داد عملکرد دانه برنج شش تن در هکتار بود، در حالی که حجم آب آبیاری مورد نیاز در دامنه ۵۳۸-۴۹۹ میلی‌متر در هکتار متغیر بود که در مقایسه با آب مصرف شده در کشت غرقابی ۸۰-۶۰ درصد کمتر بود و از این رو نتیجه گرفتند که آبیاری قطره‌ای موجب صرفه‌جویی در مصرف آب همراه با افزایش بهره‌وری در انواع برنج هوازی می‌شود. راوو و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند که آبیاری قطره‌ای نقش مهمی در

صرفه‌جویی در مصرف آب، کود، نیروی کار و افزایش راندمان مصرف آب و کود دارد. سینگ و همکاران (۲۰۱۹) طی تحقیقی روی مدیریت آب برنج تحت آبیاری قطره‌ای در هند نتیجه گرفتند که نیاز آب آبیاری برنج در روش قطره‌ای در دامنه ۱۸۳۸-۹۳۸ لیتر در کیلوگرم است، در حالی که این مقدار در آبیاری غرقابی برنج ۴۲۵۰-۵۵۰۸ لیتر در کیلوگرم بود. اهمیت مدیریت آبیاری در افزایش عملکرد محصولات زراعی، مؤید این موضوع می‌باشد که هرگونه تلاش برای بهینه‌سازی کشت برنج بدون توجه ویژه به بخش مدیریت آب موفقیت‌آمیز نخواهد بود. بررسی‌های انجام‌شده توسط محققین فوق نشان داد که تغییر روش کشت و آبیاری برنج تأثیر زیادی در مصرف آب، عملکرد و بهره‌وری آب در تولید این گیاه دارد. بر اساس نتایج این تحقیقات روش کشت سنتی بالاترین مصرف آب را داشت و با تغییر روش کشت برنج از کشت رایج به کشت مستقیم یا کشت در بستر گلخراپ نشده و استفاده از روش آبیاری قطره‌ای به جای آبیاری غرقاب دائم فرض بر این است که در مصرف آب صرفه‌جویی شود. در برخی از گزارشات در زمینه استفاده از روش کشت مستقیم برنج به کاهش عملکرد و عده‌ای هم عدم کاهش عملکرد را در این روش کشت گزارش کردند (ژو و همکاران، ۲۰۱۹؛ پورامیر و همکاران، ۱۳۹۹) و در خصوص آماده‌سازی بستر کشت در روش کشت سنتی برای کاهش مصرف آب و افزایش بهره‌وری آب، کشت در بستر غیر گلخراپ را به عنوان روشی مناسب معرفی کردند (اسدی، ۱۳۹۷؛ حوسن و همکاران، ۲۰۱۸). با توجه به اهمیت کشت برنج به‌ویژه در استان مازندران، ضروری است که برنامه‌ریزی دقیقی برای استفاده بهینه از منابع آبی موجود در استان در بخش کشاورزی به‌ویژه برنج صورت گیرد تا تقاضای آب برای تولید برنج کاهش یابد و ضمن حفظ عملکرد مطلوب، با کاهش آب مصرفی اراضی شالیزاری موجب افزایش بهره‌وری آب شود. با توجه به مشکلات کم‌آبی که مهم‌ترین عامل تهدیدکننده در تولید محصولات کشاورزی به‌ویژه برنج است (اسدی و

همکاران، ۱۳۹۵) و اهمیت بازنگری در شیوه‌های سستی مصرف آب در اراضی شالیزاری و ارائه راهکارهای مناسب، این تحقیق با هدف تعیین اثر روش‌های مختلف کشت و آبیاری بر عملکرد، آب مصرفی و بهره‌وری آب برنج انجام شد.

روش تحقیق

استان مازندران در شمال ایران با حدود ۲۳۳۲۲ کیلومتر مربع مساحت بین مختصات جغرافیایی ۳۳ درجه و ۲۳ دقیقه تا ۳۱ درجه و دو دقیقه عرض شمالی و ۲۱ درجه و ۳۲ دقیقه تا ۲۲ درجه و ۱۲ دقیقه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ واقع شده است. آزمایش در مزرعه تحقیقات معاونت موسسه تحقیقات برنج کشور (آمل) به

وسعت ۵۰۰ متر مربع در سال زراعی ۱۳۹۹ اجرا شد. عملیات کشت مزرعه‌ای در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار با چهار تیمار شامل: کشت نشایی در زمین گلخراب شده با آبیاری غرقابی (غرقاب دائم) (T1) کشت نشایی در زمین گلخراب شده با آبیاری قطره‌ای (T2)، کشت نشایی در زمین گلخراب نشده با آبیاری قطره‌ای (T3) و کشت مستقیم با آبیاری قطره‌ای (T4) انجام شد. در این آزمایش ۱۲ کرت آزمایشی به مساحت ۳۰ متر مربع تهیه شد. رقم برنج مطالعه شده، هاشمی از ارقام محلی است. نمونه‌برداری از خاک مزرعه در دو نوبت پیش از کشت و برداشت محصول از هر کرت در دو عمق ۰-۲۵ و ۵۰-۲۵ سانتی‌متر انجام شد (جدول ۱). کلاس بافت خاک مزرعه از نوع سیلتی لوم و هدایت الکتریکی ۰/۶۰۶ دسی-زیمنس بر متر بود (جدول ۱).

جدول ۱- نتایج تجزیه ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه معاونت موسسه برنج- آمل

هدایت الکتریکی	واکنش خاک	فسفر قابل دسترس	پتاسیم قابل دسترس	مواد خنثی شونده	کربن آلی	رس	سیلت	شن	کلاس بافت خاک
ds /m	pH	mg/kg	mg/kg	%	%	%	%	%	
۰/۶۰۶	۷/۶۸	۱۰	۱۸۰	۵	۱/۳۶	۲۸	۵۱	۲۱	Si-L

در تیمار کشت نشایی در بستر گلخراب شده، برای آماده‌سازی زمین ابتدا سه هفته پیش از نشاءکاری زمین را شخم زده و سپس آبیاری انجام شد. شخم دوم را با استفاده از تراکتور سبک دو هفته قبل از نشاءکاری و شخم سوم همراه با عملیات گلخرابی و تسطیح زمین انجام گرفت. بعد از آماده‌سازی زمین نقشه طرح در زمین اجراء و سپس کرت‌ها از طریق مرزهای به ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر و به پهنای ۳۰ سانتی‌متر از همدیگر جدا شدند. به‌منظور جلوگیری از تلفات ناشی از نشت جانبی، مرز کرت‌ها با پوشش نایلونی (به عمق ۳۰ سانتی‌متر) کاملاً پوشیده شد تا از تراوش جانبی جلوگیری شود. بذور را در فضای کوچکتري (خزانه) کشت نموده و ۳۰ تا ۳۵ روز پس از کاشت (نشاءها بعد از ۴-۳ برگی شدن و ارتفاع ۲۵-۲۰ سانتی‌متر) به زمین اصلی منتقل شدند و بعد از کودپاشی با

فاصله ۲۵×۲۵ سانتی‌متر در کرت‌ها به‌روش دستی و به-صورت تک بوته و یکنواخت نشاءکاری انجام شد. تاریخ کاشت و برداشت در تیمار کشت رایج با آبیاری غرقابی به ترتیب ۱۳۹۹/۰۳/۸ در و ۱۳۹۹/۰۶/۵ بود. در این تیمار آب در سطح خاک جاری و تمامی سطح زمین با لایه‌ای از آب به ارتفاع پنج سانتی‌متر غرقاب (با دور آبیاری پنج روز) بود. ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفر از منبع سوپر فسفات تریپل در مرحله آماده‌سازی زمین (پیش از نشاءکاری) در یک مرحله به صورت پایه، ۱۰۰ کیلوگرم کود پتاسیم از منبع کلرید پتاسیم و ۱۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن از منبع اوره مصرف شد. کود نیتروژن و پتاسیم در سه مرحله ۴۰ درصد در مرحله آماده‌سازی زمین، ۳۰ درصد در مرحله پنجه‌زنی (۲۰ روز بعد نشاءکاری) و ۳۰ درصد در مرحله ظهور خوشه (۴۰ روز بعد از نشاءکاری) استفاده شد. برای کنترل علف‌های هرز ضمن سم‌پاشی با سم ماچیتی با نام تجاری

بوتاگلر به میزان ۳-۲/۵ لیتر در هکتار، یک مرتبه و جین دستی نیز انجام شد. مبارزه با آفات و بیماری‌های برنج در طول مرحله داشت بر اساس دستورالعمل فنی موسسه تحقیقات برنج کشور (دو مرحله سم دیازینون گرانول ۱۰ درصد به میزان ۲۰-۱۵ کیلوگرم در هکتار برای مبارزه با کرم ساقه‌خوار نواری و یک مرحله سم وین به میزان ۴۰۰ میلی‌لیتر در هکتار برای مبارزه با بیماری بلاست) انجام شد. در تیمار کشت نشایی در بستر گلخراپ شده با آبیاری قطره‌ای تاریخ کاشت و برداشت و تمامی مراحل دیگر مانند کشت سنتی با آبیاری غرقابی بود، اما در این روش نوارهای آبیاری تیپ که با لوله‌های فرعی و قطره‌چکان‌ها (فاصله قطره‌چکان ۳۰ سانتی‌متر و دور آبیاری دو روز) تعبیه شده بودند آب را در محل رشد ریشه توزیع می‌کردند. تیمار کشت مستقیم با آبیاری قطره‌ای به صورت کشت بذر (بذر جوانه‌دار) در بستر خشک بود و در این روش کلیه مراحل تهیه خزانه و نشاءکاری حذف شد. در آماده‌سازی زمین برای بذرپاشی ابتدا سه هفته پیش از نشاءکاری زمین را به صورت خشک، شخم و روتاری زده و برای مدیریت مناسب آبیاری، با عملیات ماله‌کشی، سطح کرت به طور کامل صاف و سپس کرت‌بندی، مرزبندی و نصب نایلون روی مرزها مانند کشت سنتی انجام شد. تاریخ کاشت و برداشت ۱۳۹۹/۰۶/۱۲ و ۱۳۹۹/۰۲/۲۸ بود. مقدار بذر در کشت مستقیم ۸۰ کیلوگرم در هکتار و فاصله بین ردیف ۲۰-۲۳ سانتی‌متر و عمق کشت ۲-۱/۵ سانتی‌متر بود. ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفر از منبع سوپر فسفات تریپل، ۱۰۰ کیلوگرم کود پتاس و ۱۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن از منبع اوره مصرف شد. ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفر از منبع سوپر فسفات تریپل و ۴۰ درصد از کود اوره و پتاسیم پیش از بذرپاشی با خاک مخلوط، ۳۰ درصد در مرحله پنجه‌زنی گیاه و ۳۰ درصد در مرحله ظهور خوشه استفاده شد. مبارزه با آفات و بیماری‌ها مانند تیمار کشت رایج و برای مبارزه با علف‌های هرز و از بین بردن بذر علف هرز از سم‌پاشی با سم تریفلورالین ۴۸ درصد امولسیون با نام تجاری ترفلان (۳-۳/۵ لیتر در هکتار) و سم ماچیتی با نام

تجاری بوتاگلر (۳-۴ لیتر در هکتار) استفاده شد. در این سیستم به دلیل استفاده از آبیاری قطره‌ای، آب به وسیله لوله‌هایی که دارای قطره‌چکان بودند (دور آبیاری دو روز به مقدار چهار لیتر در ساعت) به آرامی و قطره قطره پای گیاه ریخته شد. در تیمار کشت نشایی در بستر گلخراپ نشده با آبیاری قطره‌ای برای آماده‌سازی زمین و کنترل علف هرز مشابه کشت بذر در بستر خشک (تیمار T4) عمل شد. رطوبت اولیه خاک نیز به بالاتر از حد ظرفیت زراعی رسانده شد تا هنگام نشاءکاری ریشه گیاه آسیب نبیند. مراحل اجرای طرح در مزرعه شامل کرت‌بندی، مرزبندی، نصب نایلون روی مرزها، کودپاشی، نشاءکاری، مبارزه با آفات و بیماری‌ها و تاریخ کاشت و برداشت محصول مانند روش کشت سنتی انجام شد. در همه تیمارها آب آبیاری با چاه تأمین و حجم آب آبیاری در هر کرت از کشت نشایی به طور مجزا با استفاده از کتور حجمی اندازه‌گیری شد، اما در تیمارهای آبیاری قطره‌ای، آبیاری به مقدار ۱۳۰ درصد تبخیر از تشتک کلاس A انجام شد. در تیمارهای آبیاری قطره‌ای، پنج روز پیش از برداشت محصول و در تیمار آبیاری غرقابی، ۱۰ روز پیش از برداشت، آبیاری قطع شد. برای به دست آوردن ارتفاع گیاه با استفاده از خط‌کش ارتفاع از نوک بوته تا پایین‌ترین گره اندازه‌گیری شد. حجم آب مصرفی در کرت‌های گلخراپ شده، حجم آب مصرفی در کرت‌های گلخراپ نشده، بهره‌وری آب مصرفی و بهره‌وری آب آبیاری به ترتیب از روابط (۱) (اسدی، ۱۳۹۵)، (۲) (رامولا و همکاران، ۲۰۱۶)، (۵) و (۶) (تانگ و بومن، ۲۰۰۳) محاسبه شدند.

$$WU_{sp} - WU_{sp} = V_i + P_e + V_{ip} \quad (1)$$

حجم آب مصرفی در کرت‌های گلخراپ شده (مترمکعب در هکتار)، V_i حجم آب آبیاری (مترمکعب در هکتار)، P_e بارش مؤثر (میلی‌متر) و V_{ip} حجم آب مورد نیاز برای عملیات گلخراپی (مترمکعب در هکتار) بود که ۲۰۰۰ مترمکعب در هکتار (اسدی، ۱۳۹۵) در نظر گرفته شد.

$$WU_A - WU_A = V_i + P_e \quad (2)$$

حجم آب مصرفی در کرت‌های گلخراش نشده (مترمکعب در هکتار) است. بارش مؤثر براساس روش سرویس حفاظت خاک امریکا و از رابطه (۳) محاسبه می‌شود:

$$Pe = F_d [1/253 (p)^{0.824} - 2/935] \times 10^{-4} \text{ (ETC)} \quad (3)$$

اگر عمق آبیاری در هر مرحله برابر با ۷۵ میلی‌متر در نظر گرفته شود، F_d برابر با یک است و اگر عمق آبیاری کمتر از ۷۵ میلی‌متر باشد F_d برابر است با رابطه (۴) (خالقی، ۱۳۹۴):

$$F_d = 0.133 + 0.201 \ln D_i \quad (4)$$

و اگر عمق آبیاری بیشتر از ۷۵ میلی‌متر باشد F_d برابر است با رابطه (۵) (خالقی، ۱۳۹۴):

$$F_d = 0.946 + 7/3 \times 10^{-4} - D_i \quad (5)$$

F_d ضریب وابسته به عمق آبیاری (D_i) است (جدول ۱).

جدول ۲- ضریب F_d در عمق‌های مختلف آبیاری (خالقی، ۱۳۹۴)

عمق آبیاری (mm)	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰	۶۰	۷۰	۷۵	۱۰۰	۱۲۵
ضریب F_d	۰/۵۹۶	۰/۷۳۵	۰/۸۱۶	۰/۸۷۴	۰/۹۱۹	۰/۹۵۶	۰/۹۸۷	۱	۱/۰۱۹	۱/۰۳۷

$$\text{عملکرد (کیلوگرم در هکتار)} = \frac{\text{آب مصرفی (مترمکعب در هکتار)}}{\text{بهره‌وری آب مصرفی (کیلوگرم در مترمکعب)}} \quad (6)$$

$$\text{عملکرد (کیلوگرم در هکتار)} = \frac{\text{آب آبیاری (مترمکعب در هکتار)}}{\text{بهره‌وری آب آبیاری (کیلوگرم در مترمکعب)}} \quad (7)$$

نتایج و بحث

براساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۳) سیستم‌های مختلف کشت و آبیاری برنج بر ارتفاع بوته مؤثر و از نظر آماری دارای اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد بودند ($p \leq 0.01$). با توجه به مقایسه میانگین-ها (جدول ۴) تیمارهای T_2 و T_1 به ترتیب با ارتفاع ۱۲۸/۱۳ و ۱۲۴/۷۳ سانتی‌متر در گروه a و تیمارهای T_3 و T_4 به ترتیب با ارتفاع ۱۰۷/۳۳ و ۱۰۶/۵۷ سانتی‌متر در گروه b قرار گرفتند.

منظور از عملکرد در رابطه (۶) مقدار عملکرد تولید شده به ازای هر واحد آب مصرفی است. منظور از عملکرد در رابطه (۷) مقدار عملکرد تولید شده به ازای هر واحد آب آبیاری است. سرانجام تجزیه واریانس داده‌های بدست آمده با استفاده از نرم افزار SAS و میانگین تیمارها نیز از طریق آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح پنج و یک درصد مقایسه شدند.

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر تیمارها صفتهای اندازه‌گیری برنج و مولفه‌های آبیاری

منابع تغییرات	د.ف.ت	ارتفاع (cm)	عملکرد (kg/ha)	آب آبیاری (m ³ /ha)	آب مصرفی (m ³ /ha)	بهره‌وری آب مصرفی (kg/m ³)	بهره‌وری آب آبیاری (kg/m ³)
بلوک	۲	۵/۵۴ ^{ns}	۳۷۴۴۰/۳۳*	۲۴۰/۳۳ ^{ns}	۲۴۰/۳۳ ^{ns}	۸۶/۰۷ ^{ns}	۱۰۵/۴۶ ^{ns}
تیمار	۳	۳۸۵/۶۸**	۱۱۰۴۹۲۴/۸۹**	۴۲۰۳۹۴۰/۶۷**	۳۴۳۳۲۶۳/۷۵**	۱۵۵/۸۰*	۱۳۳/۹۸*
خطای a	۶	۴/۷۶	۵۳۱۷۴/۸۹	۲۴۰/۳۳	۲۴۰/۳۳	۱۸/۵۴	۲۱/۹۶
%CV		۱/۸۷	۶/۸۱	۰/۲۶	۰/۲۳	۸/۳	۸/۰۶

تجزیه واریانس مربوط به صفات اندازه‌گیری شده * و ** اختلاف معنی‌دار در سطوح پنج و یک درصد، ns عدم معنی‌دار بودن اختلاف

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر تیمارها برای صفات مورد مطالعه

تیمار	ارتفاع	عملکرد	آب مصرفی	آب آبیاری	بهره‌وری آب مصرفی	بهره‌وری آب آبیاری
T1	۱۲۴/۷۳a	۴۰۷۹/۳۰a	۸۴۳۱/۳۳a	۷۸۶۶/۳۳a	۰/۴۸ab	۰/۵۲b
T2	۱۲۸/۱۳a	۴۰۶۲/۷۰a	۶۶۲۲/۰۰b	۶۰۵۷/۰۰b	۰/۶۱a	۰/۶۷a
T3	۱۰۷/۳۳b	۳۲۲۰/۰۰ab	۶۰۰۹/۰۰d	۵۴۴۴/۰۰c	۰/۵۴ab	۰/۵۹ab
T4	۱۰۶/۵۷b	۲۸۷۶/۷۰b	۶۴۳۱/۰۰c	۵۲۸۳/۰۰d	۰/۴۵b	۰/۵۴ab

حروف مشابه نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد آزمون دانکن می‌باشند

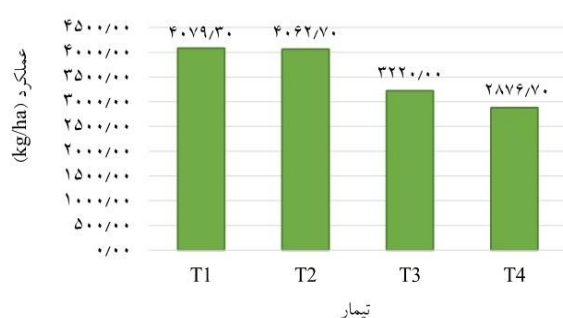
دو تیمار کشت نشایی در بستر گلخراپ شده (T1 و T2) ارتفاع بیش‌تری نسبت به تیمارهای کشت نشایی در بستر گلخراپ نشده و کشت مستقیم (T3 و T4) داشتند که شرایط بهتر استقرار، تهیه مناسب‌تر زمین و فراهمی سایر شرایط مطلوب را می‌توان دلیل بالا بودن ارتفاع بوته در تیمارهای کشت نشایی در بستر گلخراپ شده نسبت به تیمارهای کشت مستقیم و کشت نشایی در بستر گلخراپ نشده دانست. حسنی و همکاران (۱۳۹۰) آزمایشی را در مزرعه‌ای در شهر بابل به‌منظور بررسی تأثیر روش‌های مختلف کشت و تیمارهای مختلف آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج هاشمی انجام دادند که نتایج نشان داد ارتفاع در روش‌های مختلف آبیاری متفاوت بود که با نتایج این تحقیق هم‌خوانی دارد. رجبی (۱۳۹۱) در مطالعه‌ای درباره چگونگی عملکرد گیاه برنج در روش‌های مختلف آبیاری در شهرستان سپیدان نتیجه گرفت که ارتفاع بوته برنج در روش‌های مختلف آبیاری برنج دارای اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد بود که مشابه نتایج این تحقیق است. نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۳) صفات مورد مطالعه نشان داد که سیستم‌های کشت و آبیاری بر میزان عملکرد در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بودند ($p \leq 0.01$). با توجه به نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها (جدول ۴)، عملکرد در دو تیمار T1 و T2 به‌ترتیب با ۴۰۷۹/۳۰ و ۴۰۶۲/۷۰ کیلوگرم در هکتار در یک گروه آماری یعنی a قرار گرفتند. تیمار T4 با ۲۸۷۶/۷۰ کیلوگرم در هکتار در گروه b و تیمار T3 با ۳۲۲۰/۰۰ کیلوگرم در هکتار در گروه ab قرار گرفت، به‌عبارت دیگر در این آزمایش اعمال تیمارهای T3 و T4 نقش مؤثری بر میزان عملکرد دانه داشتند. یوسفیان (۱۳۸۹) گزارش کرد مقدار عملکرد برنج تحت تأثیر روش آبیاری است که در راستای

نتایج این آزمایش می‌باشد. تحقیقات اسدی (۱۳۹۵) نشان داده است که بیش‌ترین محصول زمانی به دست خواهد آمد که خاک شالیزار در شرایط غرقاب باشد که در این تحقیق نیز تیمار کشت رایج با آبیاری غرقابی دارای بالاترین عملکرد بود و تیمار T2 به‌مقدار ناچیز و تیمارهای T3 و T4 هرکدام ۲۱ و ۲۹ درصد نسبت به تیمار کشت رایج با آبیاری غرقابی کاهش عملکرد داشتند. رضانی (۱۴۰۰) در آزمایشی بر روی آبیاری قطره‌ای نواری در خشکه‌کاری برنج در لنجان اصفهان، دلیل عملکرد بیش‌تر در تیمار غرقاب دائم را به نبود تنش رطوبتی در دوره رشد گیاه نسبت داد. شاردا و همکاران (۲۰۱۷) طی تحقیقی که در هند انجام دادند نتیجه گرفتند عملکرد در آبیاری قطره‌ای (۸-۷/۳ تن در هکتار) بود که در مقایسه با غرقاب دائم (۶-۶/۶ تن در هکتار) افزایش داشت که مخالف نتایج این تحقیق است. قابل ذکر است که کاهش عملکرد موجب پایین آمدن بهره‌وری نیز می‌شود. نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) نشان داد اثر روش‌های مختلف کشت و آبیاری برنج بر میزان آب مصرفی (بارندگی + آبیاری) در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند ($p \leq 0.01$). مقایسه میانگین‌ها (جدول ۴) نشان داد تیمار T1 با حجم آب مصرفی معادل ۸۴۳۱/۳۳ مترمکعب در هکتار بیش‌ترین حجم آب مصرفی را به خود اختصاص داده و در گروه a قرار گرفته است. تیمار T2 با حجم آب مصرفی معادل ۶۶۲۲/۰۰ مترمکعب در هکتار در گروه b و T4 با حجم آب مصرفی معادل ۶۴۳۱/۰۰ مترمکعب در هکتار در گروه c جای گرفت. تیمار T3 نیز با ۶۰۰۹/۰۰ مترمکعب در هکتار کم‌ترین مقدار حجم آب مصرفی را به خود اختصاص داده و در گروه d قرار گرفته است. میزان کاهش حجم آب مصرفی در تیمارهای T2، T3 و T4

نسبت به تیمار T1 به ترتیب ۲۱، ۲۹ و ۲۴ درصد بود که علت اصلی کاهش مصرف آب در دو تیمار T3 و T4 با توجه به مدیریت یکسان آبیاری در هر دو تیمار، حذف مرحله آماده‌سازی زمین و عدم انجام عملیات گلخراپی است زیرا گلخراپی موجب شکسته شدن ساختمان خاک می‌شود (باستلا، ۲۰۲۰) و میزان مصرف آب در مرحله آماده‌سازی زمین را بالا می‌برد. در تیمار T4 مدت زمانی که گیاه در زمین اصلی قرار داشت بیشتر از تیمار T3 بود، به همین دلیل میزان مصرف آب در تیمار T4 بیشتر از T3 است. اسدی (۱۳۹۷) و بومن و همکاران (۲۰۰۷) نیز کاهش مصرف آب در کشت برنج در بستر غیرگلخراپ را تایید کردند. تفاوت حجم آب مصرفی در تیمار کشت رایج با آبیاری غرقابی در مقایسه با کشت رایج با آبیاری قطره‌ای از نظر آماری در سطح یک درصد معنی‌دار است، اما از نظر عملکرد و بهره‌وری آب مصرفی این دو تیمار اختلاف معنی‌داری باهم نداشتند. با توجه به مدیریت یکسان کشت در هر دو روش آبیاری، علت اصلی کاهش مصرف آب در کشت رایج با آبیاری قطره‌ای به حداقل رساندن تلفات آب و کاهش تبخیر بود و غرقاب دائم در پای بوته‌ها انجام نشد و آبیاری قطره‌ای گیاه براساس تبخیر از تشتک کلاس A بود. دهقانیان (۱۳۹۴) طی تحقیقی بر آبیاری قطره‌ای نواری در زراعت برنج در شیراز گزارش کرد، روش آبیاری قطره‌ای نواری، مصرف آب آبیاری برنج را ۶۴ درصد نسبت به روش آبیاری غرقابی کاهش می‌دهد که با نتایج این تحقیق هم‌خوانی دارد. کابانگون و همکاران (۲۰۰۲) طی تحقیقی در کشور مالزی گزارش کردند کشت بذر در بستر خشک دارای مصرف آب کمتر نسبت به روش کشت نشایی است که مطابق با نتایج این آزمایش است. نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد که بین روش‌های کشت و آبیاری از نظر میزان آب آبیاری در سطح یک درصد تفاوت معنی‌داری وجود داشت ($pf \leq 0.01$). با توجه به مقایسه میانگین‌ها (جدول ۴) تیمار T1 با حجم آب آبیاری ۷۸۶۶/۳۳ مترمکعب در هکتار در گروه a و تیمار T2 با ۶۰۵۷/۰۰ مترمکعب در هکتار در گروه b قرار گرفتند. تیمار

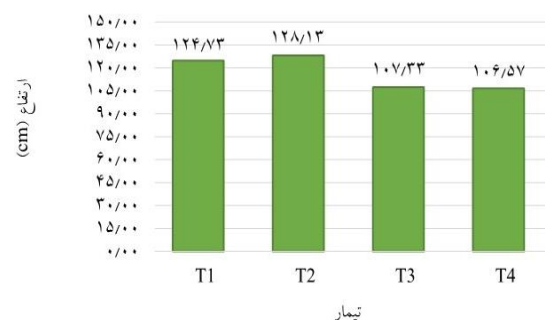
T3 با حجم آب آبیاری ۵۴۴۴/۰۰ مترمکعب در هکتار در گروه c و تیمار T4 با ۵۲۸۳/۰۰ مترمکعب در هکتار در کم‌ترین گروه یعنی d جای گرفت. تغییر روش کشت و آبیاری بر میزان حجم آب آبیاری موثر بوده و با توجه به مقایسه میانگین‌ها (جدول ۴) صفت حجم آب آبیاری در تیمارها در چهار کلاس مختلف قرار دارد. تیمار کشت رایج با آبیاری غرقابی بیش‌ترین و تیمار کشت مستقیم با آبیاری قطره‌ای کم‌ترین میزان آب آبیاری را داشتند. در روش کشت مستقیم بذر در بستر خشک (T4) به سبب استفاده از آب ناشی از بارندگی در ابتدای فصل و عدم انجام عملیات گلخراپی، مصرف کل آب آبیاری (۳۳ درصد) و همچنین مدت آماده‌سازی زمین به‌طور قابل توجهی نسبت به روش کشت رایج با آبیاری غرقابی کشت کاهش یافت. صفت بهره‌وری آب مصرفی در سیستم‌های مختلف کشت در سطح پنج درصد دارای اختلاف معنی‌دار بودند ($pf \leq 0.05$) (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها (جدول ۴) نشان داد تیمار T2 با مقدار بهره‌وری آب مصرفی معادل ۰/۶۱ کیلوگرم در مترمکعب در گروه a، تیمار T1 و T3 با ۰/۴۸ و ۰/۵۴ کیلوگرم در مترمکعب در گروه ab و تیمار T4 با ۰/۴۵ کیلوگرم در مترمکعب در گروه b قرار گرفتند. بهره‌وری آب مصرفی در تیمار کشت رایج با آبیاری قطره‌ای بیشتر از تیمار کشت رایج با آبیاری غرقابی بود و از طرفی در این تیمار ۲۷ درصد افزایش عملکرد نسبت به تیمار T1 مشاهده شد. علیزاده (۱۳۸۰) بیان کرد در آبیاری قطره‌ای بین تبخیر-تعرق و مقدار آبی که باید به زمین داده شود، در یک دوره زمانی محدود توازن برقرار می‌شود و این امر باعث می‌شود با توجه به محدود بودن میزان آب در دسترس، بهره‌وری بیشتری از آب انجام شود. رجبی (۱۳۹۱) طی آزمایشی در خصوص اثر روش‌های مختلف آبیاری در سپیدن گزارش کرد اثر روش‌های آبیاری بر راندمان مصرف آب برنج در سطح یک درصد دارای اختلاف معنی‌داری بود که مشابه نتایج این تحقیق است. نتایج حاصل از تجزیه واریانس صفات (جدول ۳) نشان داد که اثر روش کشت بر صفت بهره‌وری آب آبیاری در چهار

فرشی و همکاران (۱۳۸۲) یکی از راهکارهای افزایش بهره‌وری آب را کاهش آب مصرفی در طول دوره رشد گزارش کردند، به نحوی که عملکرد در واحد سطح کاهش نیابد و یا میزان کاهش عملکرد کمتر از میزان کاهش آب مصرفی باشد که برای رسیدن به این منظور در ابتدا باید تا حد ممکن از هدر رفت آب پیش از اینکه در اختیار گیاه قرار بگیرد، جلوگیری شود یا به عبارت دیگر با اجرای تمهیداتی راندمان مصرف آب را افزایش داد. بر اساس شکل (۱) مقایسه میانگین اثر تیمارها بر ارتفاع نشان داد که بیش‌ترین ارتفاع متعلق به تیمار T2 بود که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد با تیمار کشت رایج با آبیاری غرقابی نداشت و کم‌ترین ارتفاع متعلق به تیمار T4 بود. استفاده از روش کشت مستقیم با آبیاری قطره‌ای موجب کاهش ارتفاع به میزان ۱۸/۱۶ سانتی‌متر نسبت به روش کشت رایج با آبیاری غرقابی شد.

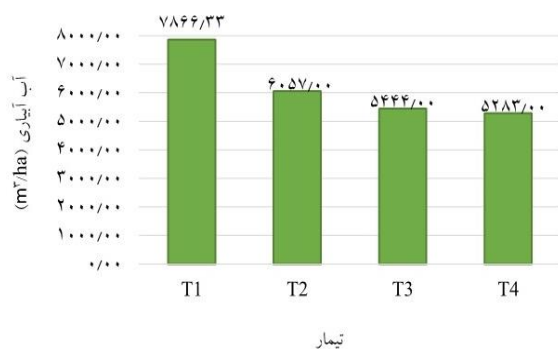


شکل ۲- مقایسه میانگین اثر تیمارها بر عملکرد

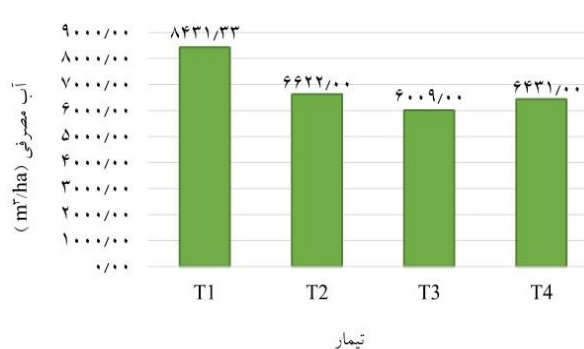
تیمار دارای اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد بودند ($0.05 \leq pf \leq 0.1$). براساس مقایسه میانگین (جدول ۴) تیمار T2 با ۰/۶۷ کیلوگرم در مترمکعب در گروه a و تیمار T1 با ۰/۵۲ کیلوگرم در مترمکعب در گروه b و تیمار T4 و به ترتیب با مقادیر ۰/۵۹ و ۰/۵۴ کیلوگرم در مترمکعب در گروه ab قرار گرفتند. امیری (۱۳۸۵) با بررسی نتایج تحقیق‌های انجام شده در زمینه مدیریت آبیاری برنج در استان گیلان، برای رقم هاشمی، مقدار بهره‌وری آب آبیاری را در دامنه ۰/۹۲-۰/۲۹ کیلوگرم بر متر مکعب محاسبه کرد که با نتایج این تحقیق هم‌خوانی دارد. صداقت و همکاران (۱۳۹۳) طی تحقیقاتشان بر روی اثر روش‌های آبیاری بر بهره‌وری آب برنج در آمل نتیجه گرفتند بین ارقام گیاهی استفاده شده و نیز روش‌های مختلف آبیاری از نظر میزان بهره‌وری آب آبیاری تفاوت معنی‌داری وجود دارد که مشابه نتایج این تحقیق است.



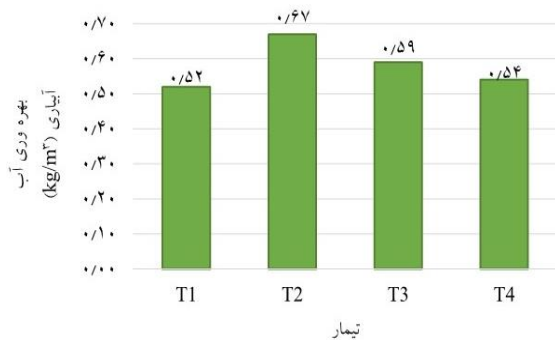
شکل ۱- مقایسه میانگین اثر تیمارها بر ارتفاع



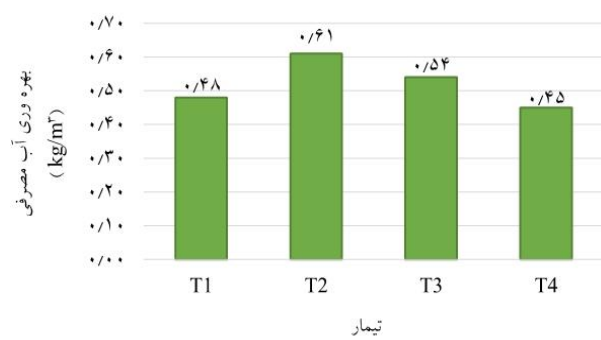
شکل ۴- مقایسه میانگین اثر تیمارها بر آب آبیاری



شکل ۳- مقایسه اثر تیمارها بر آب مصرفی



شکل ۶- مقایسه میانگین اثر تیمارها بر بهره‌وری آب آبیاری



شکل ۵- مقایسه میانگین اثر تیمارها بر بهره‌وری آب مصرفی

۶). نتایج روند مصرف و بهره‌وری آب آبیاری برنج نشان داد تغییر روش آبیاری غرقابی به قطره‌ای و تغییر روش کشت رایج به کشت نشایی در بستر غیرگلخراب و کشت مستقیم نقش بسیار مهمی در صرفه‌جویی مصرف آب و همچنین بهره‌وری آب داشتند. در این آزمایش آماربرداری از آفات انجام نشد و از نظر علف هرز، در کشت رایج به دلیل شرایط غرقابی تعداد و تنوع علف‌های هرز کمتر از روش کشت مستقیم بود و برخی گونه‌های باریک‌برگ و پهن‌برگ که با شرایط غرقاب سازگار نیستند در خشکه‌کاری برنج ظاهر شدند. دلیل بالا بودن جمعیت علف هرز در کشت مستقیم، نبود فشار آب بر علف هرز در ابتدای رشد و همزمانی ظهور علف هرز با برنج بود (کیانی و همکاران، ۱۳۹۹) اما در این آزمایش علف‌های هرز با مبارزه مکانیکی و شیمیایی به‌خوبی کنترل شدند. سینگ و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند چنانچه علف‌های هرز کنترل شوند بین دو سیستم کشت مستقیم و نشایی اختلاف معنی‌داری در عملکرد دانه وجود ندارد که مشابه با نتایج این تحقیق است. از نظر هزینه، در سه تیمار T2 و T3 و T4 استفاده از روش آبیاری قطره‌ای هزینه‌هایی برای تهیه تجهیزات آبیاری قطره‌ای به‌همراه داشت، درحالی که هزینه مربوط به آماده‌سازی زمین به‌دلیل عدم انجام عملیات گلخراشی در این تیمارها نسبت به روش آبیاری غرقابی کمتر بود. باتوجه به مطالب یاد شده می‌توان بیان کرد در تیمار T2، استفاده از روش آبیاری قطره‌ای به‌جای غرقاب دائم موجب صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای در مصرف آب شد و بالاترین میزان بهره‌وری از آب موجود را در بین تیمارها

با توجه به شکل (۲) بیش‌ترین و کم‌ترین میانگین عملکرد دانه متعلق به تیمارهای T1 و T4 به‌ترتیب با ۴۰۷۹/۳۰ و ۲۸۷۶/۷۰ کیلوگرم در هکتار بود، یعنی بیش‌ترین محصول زمانی به دست آمد که خاک شالیزار در شرایط غرقاب بود. در این تحقیق با وجود اختلاف معنی‌دار (در سطح یک درصد) در حجم آب مصرفی در تیمارهای مختلف، تفاوت آب قابل جذب برای ریشه گیاه در بعضی از تیمارها کم بوده و در نتیجه کاهش عملکرد در تیمار T2 نسبت به T1 و T3 نسبت به T1 در سطح یک درصد معنی‌دار نیست (شکل ۲)، یعنی کاهش حجم آب آبیاری از T1 به T2 و همچنین از T1 به T3 با اطمینان ۹۹ درصد منجر به کاهش عملکرد نشده است. باتوجه به شکل‌های (۳) و (۴) بیش‌ترین آب مصرفی و آب آبیاری به‌ترتیب با ۸۴۳۱/۳۳ و ۷۸۶۶/۳۳ مترمکعب در هکتار در تیمار کشت رایج با آبیاری غرقابی مشاهده شد، درحالی که با وجود مصرف آب بیش‌تر بهره‌وری پایینی داشت (شکل ۵ و ۶) و با تغییر روش کشت و آبیاری مصرف آب کاهش و بهره‌وری افزایش یافت. با توجه به نمودارهای مربوط به بهره‌وری (شکل ۵ و ۶) مشاهده می‌شود که میزان آب مصرفی در روش کشت رایج با آبیاری قطره‌ای ۶۶۲۲/۰۰ مترمکعب در هکتار بود که سبب صرفه‌جویی در حجم آب مصرفی (آبیاری + بارندگی) و حجم آب آبیاری به مقدار ۱۸۰۹/۳۳ مترمکعب در هکتار در مقایسه با کشت رایج با آبیاری غرقابی شده بود، درحالی که این تیمار بدون کاهش معنی‌دار عملکرد (شکل ۲) حداکثر بهره‌وری آب مصرفی و بهره‌وری آب آبیاری را در بین تیمارها داشت (شکل ۵ و

داشت، در حالی که موجب کاهش عملکرد ناچیزی نسبت به روش کشت رایج با آبیاری غرقابی شد، از این رو با توجه به کمبود آب در سال‌های اخیر در بخش کشاورزی و تولید برنج، استفاده از این روش جایگزین مناسبی برای روش کشت رایج با آبیاری غرقابی خواهد بود.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش اثر آبیاری قطره‌ای و غرقابی بر عملکرد و بهره‌وری آب در دو روش کشت نشایی و مستقیم برنج در یک مزرعه شالیزاری بررسی شد. سیستم‌های کشت با آبیاری غرقابی و قطره‌ای اثر معنی‌داری بر ارتفاع، آب مصرفی، آب آبیاری، بهره‌وری آب مصرفی و بهره‌وری آب آبیاری در سطح یک و پنج درصد داشتند که مقدار کاهش یا افزایش این صفات بسته به نوع کشت و روش آبیاری متفاوت بود. تغییر روش آبیاری از آبیاری غرقابی به قطره‌ای در سیستم‌های کشت نشایی در بستر گلخواب نشده و کشت مستقیم، عملکرد دانه را نسبت به تیمار کشت نشایی در بستر گلخواب با آبیاری غرقابی کاهش داد. اگرچه استفاده از روش سنتی کشت با غرقاب دائم نسبت به تیمارهای دیگر دارای عملکرد بیشتری بود و اجرای آسان‌تری داشت اما نتایج این تحقیق نشان داد که غرقاب دائم برنج ضروری نیست و فقط در شرایط وجود منابع مطمئن آب در طول دوره رشد قابل اجرا است و در صورت کمبود آب باید از روش‌های جایگزین استفاده کرد. اگر ملاک فقط حجم آب آبیاری بود تیمار کشت مستقیم با آبیاری قطره‌ای حداقل حجم آب آبیاری (۵۲۸۳/۰۰ مترمکعب در هکتار) را داشت اما با در نظر گرفتن جوانب دیگر تیمار کشت مستقیم با آبیاری قطره‌ای گزینه برتر نیست، زیرا با اینکه از

نظر حجم آب آبیاری نسبت به تیمار کشت رایج با آبیاری غرقابی کاهش قابل‌توجهی داشت، راندمان مصرف آب و عملکرد دانه در این روش پایین بود، از نظر اقتصادی نیز همانطور که اشاره شده بود استفاده از سامانه آبیاری تحت فشار هزینه‌ای را برای آماده‌سازی تجهیزات شبکه آبیاری قطره‌ای نیاز دارد، همچنین تغییر همزمان روش کشت (کشت مستقیم بذر در بستر خشک) و روش آبیاری (آبیاری قطره‌ای) برای کشاورزان مشکل است و در نتیجه این تیمار جایگزین مناسبی برای روش کشت رایج با آبیاری غرقابی نبود. تیمار کشت نشاء در بستر گلخواب نشده با آبیاری قطره‌ای با وجود حذف عملیات گلخوابی که یکی از عملیات‌های سخت در کشت برنج است، کم‌ترین مصرف آب (۶۰۰۹/۰۰ مترمکعب در هکتار) در بین تیمارهای دیگر و همچنین کاهش معنی‌دار حجم آب آبیاری نسبت به تیمار کشت رایج با آبیاری غرقابی، به دلیل کاهش زیاد عملکرد نسبت به روش کشت رایج با آبیاری غرقابی، بالا نبودن میزان بهره‌وری آب مصرفی و آب آبیاری و همچنین اضافه شدن هزینه کارگری به‌منظور نشاءکاری در بستر غیرگلخواب علاوه بر هزینه‌های مربوط به تجهیزات آبیاری تحت فشار گزینه مناسبی نبود. اگرچه هزینه مربوط به تجهیزات آبیاری قطره‌ای در تیمار کشت نشایی در بستر گلخواب نشده هم وجود داشت، مقدار مطلوب عملکرد دانه و افزایش بهره‌وری آب مصرفی و بهره‌وری آب آبیاری به‌دست آمده در این تیمار نشان داد که در بین تیمارها با در نظر گرفتن شرایط منطقه و در صورت داشتن آب مطمئن، کشت رایج با آبیاری قطره‌ای جایگزین مناسبی برای کشت رایج با آبیاری غرقابی برنج است؛ به‌گونه‌ای که انتظار می‌رود با صرفه‌جویی در مصرف آب و افزایش بهره‌وری به تولید مطلوبی می‌توان دست یافت.

فهرست منابع

۱. اسدی ر.، ۱۳۹۵. مطالعه بهره‌وری مصرف آب و کود ازته در تنش‌های مختلف رطوبتی و سیستم‌های متفاوت کشت در برنج رقم کشوری در استان مازندران. رساله دکتری تخصصی رشته آبیاری و زهکشی. دانشکده کشاورزی. گروه مهندسی آب. دانشگاه فردوسی مشهد.
۲. اسدی ر.، علیزاده ا.، انصاری ح.، کاوسی م. و امیری ا.، ۱۳۹۵. تاثیر مقادیر آب و نیتروژن مصرفی بر عملکرد، اجزای عملکرد و بهره‌وری آب در دو روش کشت برنج. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. جلد ۳۰. شماره ۲. صفحه‌های ۱۴۵ تا ۱۵۷.
۳. اسدی ر.، ۱۳۹۷. کشت برنج در اراضی شالیزاری بدون انجام عملیات گلخراشی، انتشارات موسسه تحقیقات برنج کشور. رشت.
۴. امیری ا.، ۱۳۸۵. بررسی بیلان آب و عملکرد برنج در مدیریت‌های آبیاری در شالیزار با استفاده از مدل. رساله دکتری. رشته آبیاری و زهکشی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران.
۵. پورامیر ف.، یعقوبی ب. و شهبازی ح.، ۱۳۹۹. مقایسه عملکرد و اجزای عملکرد ارقام بومی و اصلاح‌شده برنج در دو روش کشت نشایی و مستقیم. مجله تولید گیاهان زراعی، جلد ۱۳، شماره ۲، صفحه‌های ۱۳۱ تا ۱۴۵.
۶. حسنی ا.، تشکری ع.، قاسمپور علمداری م.، بهادری م. و بریمانی ز.، ۱۳۹۰. بررسی روش‌های مختلف آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد رقم طارم محلی برنج. اولین کنگره ملی علوم و فناوری‌های نوین کشاورزی. ۱۹ تا ۲۱ شهریور ماه. دانشگاه زنجان.
۷. خالقی ن.، ۱۳۹۴. روش‌های برآورد بارش مؤثر در کشاورزی. نشریه آب و توسعه پایدار، سال دوم، شماره ۲، صفحه‌های ۵۱-۵۸.
۸. صداقت ن.، پردشتی ه.، اسدی ر. و موسی طغانی س ی.، ۱۳۹۳. اثر روش‌های آبیاری بر بهره‌وری آب در برنج، نشریه پژوهش آب در کشاورزی. جلد ۲۸. شماره ۱، صفحه‌های ۱ تا ۹.
۹. دهقانان ا.، ۱۳۹۴. آبیاری قطره‌ای نواری در زراعت برنج. نشریه فنی. شورای انتشارات مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس شماره ۱۹، صفحه‌های ۱ تا ۸.
۱۰. رجبی ف.، ۱۳۹۱. اثر روش‌های مختلف آبیاری بر راندمان مصرف آب، عملکرد، اجزاء عملکرد و جذب عناصر در ارقام مختلف برنج. پایان نامه کارشناسی ارشد رشته زراعت، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد ارسنجان.
۱۱. رضانی ا.، دهقانی م.، ۱۴۰۰. کاربرد آبیاری قطره‌ای نواری در خشکه‌کاری برنج (مطالعه موردی: لنجان اصفهان). مجله پژوهش آب ایران. جلد ۱۵، شماره ۲، صفحه‌های ۱۱۹ تا ۱۲۷.
۱۲. عباسی ف.، ناصری ا.، سهراب ف.، باغانی ج.، عباسی ن. و اکبری م.، ۱۳۹۴. ارتقای بهره‌وری مصرف آب. سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی. ۶۸ صفحه.
۱۳. علیزاده ا.، ۱۳۸۰. بهره برداری آب در کشاورزی مجموعه مقالات کارگاه بهره‌وری آب. مشهد.
۱۴. فرشعی ع. ا. و دربندی ص.، ۱۳۸۲. مدیریت آب آبیاری در مزرعه. انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. تهران.
۱۵. کیانی ع.، یونس آبادی م.، فرجی ا.، حسینی چالشتی م.، یزدانی م. ر.، فیض‌بخش م ت.، مبشری م ت.، اله‌قلی پور م.، شاملی س.، شریفی م.، پهلوان راد م ر.، عبداللهی ک.، صلاحی فراهی م.، ارزانش م ح.، عبادی ع ا. و

سوخته‌سرایي م.، ۱۳۹۹. دستورالعمل توليد برنج به روش کشت مستقيم در بستر خشک (استان گلستان)، موسسه تحقيقات برنج کشور. رشت.

۱۶. يوسفیان م.، ۱۳۸۹. مطالعه بهره‌وري آب در کشت نشايي برنج (ارقام طارم و شيرودي). پايان‌نامه کارشناسي ارشد رشته آبياري و زهکشي. دانشکده کشاورزي دانشگاه زنجان.

17. Ahmadi K, Ebadzadeh H, Hatami Abdolshah H and Kazemian A, 2019. Agriculture Statistics Crop Year 2017-2018: Ministry Agriculture. Program and Budget Deluty. Dorectorate General of Statistics and information. Crop Production. Tehran.
18. Bastola A, 2020. A Review on Effect of Establishment Methods on Growth, Yield and Yield Attributes of Rice and on Succeeding Crops after Rice. International Journal for Research in Applied Sciences and Biotechnology, 7(6): 134-139.
19. Bouman B A M, Lampayan R M and Tuong T P. 2007. Water Management in Irrigated Rice: Coping with Water Scarcity. International Rice Research Institute (IRRI) Los Banos. Philippines.
20. Bouman B A M and Tuong T P, 2001. Field water management to save water and increase its productivity in irrigated rice. Agric. Water Manage, (49):11-30
21. Cabangon RJ and Abdullah NB, 2002. Comparing water input and water productivity of transplanted and direct-seeded rice production systems. Journal of Agricultural Water Management, (57): 11–31.
22. Carrijo DR, Lundy ME and Linquist BA, 2017. Rice yields and water use under alternate wetting and drying irrigation: A meta-analysis. Field Crops Research, (203): 173-180.
23. Devkota K P, Khanda C M, Beebout S J, Mohapatra B K, Singleton G R and Puskur R. 2020. Assessing alternative crop establishment methods with a sustainability lens in rice production systems of Eastern India. Journal of cleaner production, 244: 118835.
24. Duvvada., S K. Mishra., G C. Maitra., S and Patra., C. 2020. Influence of irrigation regimes and date of transplanting on yield and economics of summer rice (*Oryza sativa*). Crop Research, 55: 0970-4884.
25. FAO: Food and Agriculture Organization. 2014. FAOSTAT agriculture database. Rome.
26. Fang H, Rong H, Hallett PD, Mooney SJ, Zhang W, Zhou H and Peng X, 2019. Impact of soil puddling intensity on the root system architecture of rice (*Oryza sativa* L.) seedlings. Soil and Tillage Research, (193): 1-7.
27. Hossen MA, Hossain MM, Haque ME and Bell RW, 2018. Transplanting into non-puddled soils with a small-scale mechanical transplanter reduced fuel. Labour and irrigation water requirements for rice (*Oryza sativa* L.) establishment and increased yield. Journal of Field Crops Research, (225): 141–151.
28. Kohzad S, Moosavi SN and Haghighi SMHM, 2020. Estimation the Economic Value of Irrigation Water for Rice Farms in Iran. Montenegrin Journal of Economics, 16(4): 109-121.
29. Kruzhilin IP, Doubenok NN, Ganiev MA, Abdou NM, Melikhov VV, Bolotin AG and Rodin KA, 2015. Water-saving technology of drip irrigated aerobic rice cultivation Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии, (3): 47-56.
30. Mao Z, 2002. Water efficient irrigation and environmentally sustainable irrigated rice production in China. International Commission on Irrigation and Drainage. Research Gate GmbH.
31. Pan J, Liu Y, Zhong X, Lampayan RM, Singleton GR, Huang N, Liang K, Peng B and Tian K, 2017. Grain yield, water productivity and nitrogen use efficiency of rice under different water management and fertilizer-N inputs in South China. Agricultural Water Management, (184): 191-200.
32. Pourgholam-Amijia., M. Abdolmajid Liaghata., A. Ghameshloua., A Khoshravesb., M. Mohsin Waqasc., M. 2020.INVESTIGATION OF THE YIELD AND YIELD COMPONENTS OF RICE IN AREAS WITH SHALLOW WATER TABLE AND SALINE. Big data in agriculture (BDA). 2(1) :36-40.

33. Ramulu V, Rao V P, Devi M U, Kumar K A and Radhika K, 2016. Evaluation of drip irrigation and fertigation levels in aerobic rice for higher water productivity. 6-8 November. In Anais do World Irrigation Forum. Chiang Mai, Thailand, pp. 1-10.
34. Rao K V R, Gangwar S, Keshri R, Chourasia L, Bajpai A and Soni K, 2017. Effects of drip irrigation system for enhancing rice (*Oryza sativa* L.) yield under system of rice intensification management. *Applied Ecology and Environmental Research*, 15: 487-495.
35. Sandhu., N. Subedi., S R. Yadaw., R B. Chaudhary., B. Prasai., H. Iftekharruddaula., K. Thanak., T. Thun., V. Battan., K R. Ram., M and Venkateshwarlu., C., 2017. Root traits enhancing rice grain yield under alternate wetting and drying condition. *Frontiers in plant science* 8:1879.
36. Sharda R, Mahajan G, Siag M, Singh A and Chauhan B S, 2017. Performance of dripirrigated dry-seeded rice (*Oryza sativa* L.) in South Asia. *Paddy and Water environment*, 15(1): 93-100.
37. Sharda R, Mahajan G, Siag M, Singh A and Chauhan B S, 2017. Performance of dripirrigated dry-seeded rice (*Oryza sativa* L.) in South Asia. *Paddy and Water environment*, 15(1): 93-100.
38. Singh, S., Ladha, J.K., Gupta, R.K., Bhushan, L.a.v., and Rao, A.N. 2007. Weed management in aerobic rice systems under varying establishment methods. *Elsevier. Crop Protection*, 27: 660–671.
39. Singh, S., J. K. Ladhab, R. K. Guptaa, L. Bhushana, and A. N. Raob. 2008. Weed management in aerobic rice systems under varying establishment methods. *Crop Protection*, (27) : 660–671
40. Singh P K, Srivastava P C, Sangavi R, Gunjan P and Sharma V, 2019. Rice water management under drip irrigation: an effective option for high water productivity and efficient zinc applicability. *Pantnagar Journal of Research*, 17(1): 19-26.
41. Tuong T P & Bouman B A M. 2003. Rice production in waterscarce environments. *Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement*, (1):13–42.
42. Verma GS, Verma V, Verma DK and Singh RK, 2018. Integrated Weed Management Practices in Zero-Till Direct-Seeded Rice. Pp. 255-276. in: Verma DK, Srivastav P and Nadaf AB. *Agronomic Rice Practices and Postharvest Processing: Production and Quality Improvement of Rice*. Publisher Apple Academic Press.
43. Xu L, Li X, Wang X, Xiong X and Wang, F. 2019. Comparing the grain yields of direct-seeded and transplanted rice: A meta-analysis. *Journal of Agronomy*. 9(11): 767.
44. Ye Y, Liang X, Chen Y, Liu J, Gu J, Guo R and Li L. 2013. Alternate wetting and drying irrigation and controlled-release nitrogen fertilizer in late-season rice. Effects on dry matter accumulation, yield, Water and nitrogen use. *Field Crops Research*, (144): 212–224.

واکاوی عوامل پیش‌برنده و بازدارنده تشکلهای آب‌بران در شبکه های آبیاری استان خوزستان

زهرا رستمیان، بهمن خسروی پور^۱ و منصور غنیان

دانشجوی کارشناسی ارشد ترویج و آموزش کشاورزی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان.

zrostamian95@gmail.com

استاد ترویج و آموزش کشاورزی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان.

b.khosravipour@gmail.com

استاد ترویج و آموزش کشاورزی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان.

m_ghanian@yahoo.com

دریافت: مرداد ۱۳۹۹ و پذیرش: اسفند ۱۴۰۰

چکیده

هدف این تحقیق کمی شناسایی عوامل پیش‌برنده و بازدارنده موجود در شکل‌گیری، فعالیت و توسعه تشکلهای آب‌بران در شبکه های آبیاری استان خوزستان بود. روش پژوهش پیمایشی و از نوع توصیفی-همبستگی بود. جامعه آماری این پژوهش شامل تمامی کارشناسان شرکت‌های بهره‌برداری سازمان آب و برق استان خوزستان بود ($N=200$) که تعداد ۱۳۰ نفر از آنان ($n=130$) به روش نمونه‌گیری تصادفی طبقه‌ای انتخاب شدند. ابزار تحقیق پرسشنامه محقق ساخته‌ای بود که اعتبار(روایی) و پایایی آن توسط متخصصان ترویج و آموزش کشاورزی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان و استفاده از آزمون کرونیخ آلفا تأیید گردید. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS16 تحلیل شدند. بر پایه نتایج حاصل از تحلیل عاملی، عوامل پیش‌برنده تشکلهای آب‌بران در پنج گروه تولیدی، سرمایه اجتماعی، حقوقی، اقتصادی و اجرایی قرار گرفتند. عوامل مذکور در مجموع ۶۸/۶٪ از کل واریانس عوامل پیش‌برنده در شکل‌گیری، فعالیت و توسعه تشکلهای آب‌بران استان خوزستان را تبیین می‌کنند. در تحلیل عاملی، عوامل بازدارنده تشکلهای آب‌بران نیز پنج گروه حمایتی، حقوقی، مدیریتی، برون سازمانی و ترویجی شناسایی شدند که این پنج گروه عامل ۴۷/۳٪ کل واریانس عوامل بازدارنده در شکل‌گیری، فعالیت و توسعه تشکلهای آب‌بران استان خوزستان را تبیین می‌کنند. با استناد به یافته‌ها، سهم عوامل پیش‌برنده شکل‌گیری، فعالیت و توسعه تشکلهای آب‌بران استان خوزستان، بیش‌تر از عوامل بازدارنده می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: کم‌آبی، شرکت‌های بهره‌برداری شبکه آبیاری، تحلیل عاملی

^۱ - آدرس نویسنده مسئول: خوزستان، شهرستان ملاتانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، گروه ترویج و آموزش کشاورزی.

مقدمه

از مؤثرترین راهکارهای مقابله با بحران آب، شکل‌گیری انجمن‌های آب‌بران در جهت افزایش راندمان آبیاری و بهره‌وری آب و استفاده بهینه از مقدار آب مصرفی در بخش کشاورزی است که برای ارتقاء دانش، نگرش و مهارت کشاورزان در زمینه شیوه‌های مدیریت بهینه آب کشاورزی تأثیر بسزایی دارد (حسین پور و همکاران، ۱۳۹۴).

تشکیل آب‌بران رهیافتی است که کشاورزان از طریق آن می‌توانند راهبردهای بهبود آب کشاورزی شامل بهبود گونه‌های گیاهی، تغییر الگوی کشت، بهبود عملیات زراعی، بهبود مدیریت آبیاری و روش‌های نوین آبیاری را بپذیرند و عملکرد محصولات زراعی خود را بالا ببرند. مشارکت کشاورزان در این تشکلهای باعث حس مالکیت، افزایش شفافیت فرآیندها، بهبود نگهداری از تأسیسات آبیاری، بهبود خدمات آبیاری، کاهش اختلافات در میان آب‌بران و زمان و تلاش بیشتر برای مدیریت آب، تأمین حق‌آبه کم‌تر و افزایش بهره‌وری کشاورزی می‌شود (پژوهان و عمانی، ۱۳۹۰). اصلاحات در بخش مدیریت آب با ایجاد تشکلهای آب‌بران به تدریج جایگزین اشکال سنتی می‌شود که منجر به صرفه‌جویی آب می‌گردد (شیخ و همکاران، ۲۰۱۴). هدف اصلی از ایجاد تشکلهای آب‌بران مشارکت کشاورزان در فرآیند مدیریت آبیاری اراضی و بهره‌برداری بهینه از آب می‌باشد. نقش تشکلهای، کاهش بحران کمبود آب و تفکر برنامه‌ریزی در مدیریت بهینه سازی مصرف آب تلقی شده است تا جایی که تشکلهای آب‌بران به عنوان یکی از راهبردهای اساسی مطرح هستند (عباسی، ۱۳۹۶). تشکلهای به عنوان سازمان خودی به طور قابل توجهی به رشد اقتصادی و توسعه از لحاظ توانمندسازی روستاییان و ایجاد محیط مناسب برای شرکت در فعالیت اقتصادی کمک می‌کند (اینوسنت و جی او، ۲۰۱۴). تشکیل آب‌بران نوع خاصی از سازمان‌های اجتماعی محلی است که معمولاً در یک بخش یا حوزه

آبیاری بصورت یک گروه رسمی که دارای ماهیت حقوقی است تشکیل می‌شود و مدیریت تمام یا قسمتهایی از شبکه را برعهده می‌گیرد. مشارکت مردم در قالب سازمان-های اجتماعی نظیر تشکلهای و تعاونی‌ها، حرکت بسوی خصوصی سازی و توسعه پایدار را تسریع می‌بخشد (احدزاده بالچقلو و شوکت فدایی، ۱۳۹۵). به طوری که از جمله مهم‌ترین اهداف اصلی تشکیل تشکلهای آب‌بران را می‌توان مواردی چون افزایش بهره‌وری آب کشاورزی، بهبود مدیریت بهره‌برداری و توزیع آب، گسترش آگاهی-های عمومی بهره‌برداران، مشارکت اصولی بهره‌برداران و ذینفعان، ایجاد فضای لازم برای تدوین سیاست‌ها و قوانین، انتقال مدیریت بهره‌برداری و نگهداری از تأسیسات آب و آبیاری به تشکلهای مناسب آب، اعمال کنترل و نظارت بر حفاظت و بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی و سطحی، حفاظت کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی و سطحی، کاهش هزینه‌های بهره‌برداری، نگهداری، تعمیر و بازسازی شبکه‌های توزیع آب و کاهش تصدی‌گری دولت، عنوان نمود (قمرنیا و بصیری، ۱۳۹۵). این تشکلهای براساس سازماندهی بهره‌برداران در چارچوبی قانونی ایجاد می‌شوند تا بتوانند از مجرای آن، متناسب با ظرفیتهای ایجاد شده، احداث، بهره‌برداری، توسعه، تعمیر و نگهداری از تأسیسات و شبکه‌های آب-رسانی یا بخش‌هایی از آن را به نحوی اثربخش در دست گیرد (حسین پور و منهج، ۱۳۹۳).

تجربه ده ساله در ایران نشان داده است که ظرفیتهای سازمانی به اندازه کافی برای انتقال مدیریت آبیاری به بخش خصوصی (غیردولتی) وجود داشته است لیکن این ظرفیتهای به درستی برای مهیا کردن شرایط برای مشارکت کشاورزان در مدیریت شبکه‌ها جهت داده نشده‌اند؛ به عبارت دیگر، تاکنون برنامه جامعی برای توانمندسازی جامعه محلی برای حضور در عرصه مدیریت شبکه‌های آبیاری وجود نداشته است (غنیان و همکاران، ۱۳۹۲). این در حالی است که همان‌طور که ذکر گردید مشارکت مردم در دستیابی به مدیریت یکپارچه

منابع آب ضروری بوده (فونتا وانگسا و همکاران^۳، ۲۰۱۴) و اهمیت آب و وابستگی کشاورزی به منابع آبی و ضرورت بهره‌برداری بهینه از آن نیاز به مشارکت بهره‌برداران در قالب تشکلهای را بیش از پیش در مرکز توجه قرار داده است (بقایی و همکاران، ۱۳۹۱) و از اواخر دهه ۸۰ تاکنون، تمایل برای انتقال مدیریت منابع آب و شبکه‌های آبیاری از بخش دولتی به انجمن‌های آب با بهره‌گیری از مشارکت بهره‌برداران به نحو فزاینده‌ای افزایش یافته تا آنجا که این موضوع در بسیاری از کشورهای کم‌آب به یک عزم و سیاست ملی تبدیل شده است (سجاسی قیداری و همکاران، ۱۳۹۳).

در واقع شرکت‌های بهره‌برداری و نگهداری شبکه‌های مدیریت آب مانند تشکلهای محلی آب با هدف اصلی مدیریت بهینه منابع آب در جهت توسعه‌ی پایدار ایجاد شده‌اند (میرزایی و همکاران، ۱۳۹۰) و در چارچوب مدیریت مشارکتی، از سرمایه‌های انسانی، فیزیکی و طبیعی در قالب توسعه‌ی پایدار بهره‌می‌گیرند؛ بنابراین، تشکلهای آب اولین شکل از رهیافت مدیریت مشارکتی در بخش مدیریت آب محسوب می‌شوند (حسابو و ال گافی^۴، ۲۰۰۷).

محققان در مطالعات خود به بررسی عوامل تأثیرگذار بر تشکلهای آب پرداخته‌اند و عواملی چون آگاهی و حمایت و پشتیبانی دولت (نجفی و همکاران، ۱۳۹۲؛ عیدی و همکاران، ۱۳۹۱)، عوامل اطلاع‌رسانی و آموزشی و ترویجی (امید و همکاران، ۲۰۱۲؛ عطائی و ایزدی، ۱۳۹۳؛ حیدری ساریان، ۱۳۹۱؛ اخوان و همکاران، ۱۳۹۱؛ میرزایی و همکاران، ۱۳۹۰)، ضرورت ایجاد تشکلهای تعریف وظایف و پایداری (شکری و همکاران، ۱۳۹۳)، مشارکت (عطائی و ایزدی، ۱۳۹۳؛ حیدری ساریان، ۱۳۹۱؛ عیدی و همکاران، ۱۳۹۱؛ خدابخشی و همکاران، ۱۳۹۰)، عوامل مدیریتی (امید و همکاران، ۲۰۱۲؛ رشوند و همکاران، ۱۳۹۷؛ حیدری ساریان، ۱۳۹۱)، عوامل فنی (امید و همکاران، ۲۰۱۲)، ویژگی‌های فردی کشاورزان

(لی ژانگ و همکاران^۵، ۲۰۱۳؛ میرزایی و همکاران، ۱۳۹۰؛ خدابخشی و همکاران، ۱۳۹۰)، عوامل اقتصادی (اخوان و همکاران، ۱۳۹۱؛ حیدری ساریان، ۱۳۹۱) و عوامل اجتماعی (عطائی و ایزدی، ۱۳۹۳؛ رشوند و همکاران، ۱۳۹۷؛ سروستانی و همکاران، ۱۳۹۰) را به عنوان مهم‌ترین عوامل پیش‌برنده و مؤثر در موفقیت تشکلهای آب برشمرده‌اند.

برخی دیگر از پژوهشگران مانند فاکان^۶ (۲۰۰۲) و کدیریوقلو و اوزرتان^۷ (۲۰۱۱)، نیز عدم سرمایه اجتماعی، نبود چارچوب قانونی برای انتقال مدیریت آبیاری، فرسودگی زیرساخت‌ها (یاکوبو، ۲۰۱۱؛ گانچینما و یاکوبو^۸، ۲۰۱۰)، عوامل فرهنگی (یاکوبو، ۲۰۱۱)، عوامل اجتماعی و تجارب منفی در مورد پروژه‌های مشارکتی که قبلاً اجرا شده است (ابابنه و آل ادوان^۹، ۲۰۱۲؛ گانچینما و یاکوبو، ۲۰۱۰؛ جی تی زد^{۱۰}، ۲۰۱۰)، شرایط اقتصادی ضعیف کشاورزان (گانچینما و یاکوبو، ۲۰۱۰)، ضعف اعتقادی (مذهبی) برای پرداخت هزینه آب (یاکوبو، ۲۰۱۱) و چگونگی ارتباط سازمان‌ها و نهادهای محلی با سازمان‌ها (ابرقویی و امینی، ۱۳۸۸) را از مهم‌ترین عوامل بازدارنده و مؤثر در موفقیت تشکلهای آب برشمرده‌اند.

همانطور که ملاحظه می‌شود پژوهشگران متعدد هریک به بررسی یک یا چند عامل از عوامل تأثیرگذار بر موفقیت و یا شکست تعاونی‌های مورد مطالعه‌ی خود پرداخته‌اند اما این در حالی است که با گذشت چندین سال از تشکیل تشکلهای و نقش آن‌ها در توسعه‌ی بخش کشاورزی در استان خوزستان، تاکنون مطالعات بسیار اندکی در زمینه‌ی عوامل تأثیرگذار بر موفقیت و عملکرد این تشکلهای صورت گرفته و یا نتایج آن منتشر و در دسترس مسئولان و سیاست‌گذاران قرار گرفته شده است؛ بنابراین این پژوهش با هدف شناسایی عوامل پیش‌برنده و

^۵ -Lei Zhang et al.

^۶ -Facon

^۷ -Kadirbeyoglu and Ozertan

^۸ -Gunchinmaa & Yakubov

^۹ -Ababneh & Al-Adwan

^{۱۰} -GTZ

^۳ -Phuntha vongs et al.

^۴ -Hassabou and El-Gafy

بازدارنده موجود در شکل‌گیری، فعالیت و توسعه تشکل‌های آب‌بران استان خوزستان، انجام شد.

روش پژوهش

هدف از انجام این پژوهش شناسایی عوامل پیش‌برنده و بازدارنده موجود در شکل‌گیری، فعالیت و توسعه تشکل‌های آب‌بران استان خوزستان (پنج شرکت بهره‌برداری کرخه، کارون بزرگ، دز، زهره - جراحی و مارون با ۲۰ تشکل آب‌بران فعال) بود. پژوهش کمی، به لحاظ هدف کاربردی و به لحاظ گردآوری داده‌ها از نوع تحقیقات توصیفی - پیمایشی بود. جامعه آماری شامل کارشناسان شرکت‌های بهره‌برداری سازمان آب و برق خوزستان (پنج شرکت بهره‌برداری کرخه، کارون بزرگ، دز، زهره - جراحی و مارون) که ۲۰۰ نفر بوده ($N=200$) و تعداد ۱۳۰ نفر از آنان ($n=130$) با استفاده از جدول مورگان به روش نمونه‌گیری تصادفی طبقه‌ای و با انتساب متناسب^{۱۱} انتخاب شدند (جدول ۱). ابزار پژوهش پرسشنامه‌ای مشتمل بر ۳ بخش مشخصات فردی، نقاط قوت و نقاط ضعف تشکل‌های آب‌بران بود که اعتبار (روایی) و پایایی آن توسط متخصصان ترویج و آموزش کشاورزی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان و با استفاده از آزمون کرونباخ آلفا تأیید گردید که این مقدار برای متغیرهای تشکیل دهنده عوامل پیش‌برنده ($\alpha=0.92$) و عوامل بازدارنده ($\alpha=0.95$)، محاسبه شد. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS16 تجزیه و تحلیل شدند و از آماره‌های توصیفی (میانگین، انحراف معیار و ضریب تغییرات) و استنباطی (تحلیل عاملی اکتشافی با توجه به اهداف پژوهش) استفاده گردید.

در این پژوهش به منظور شناسایی عوامل پیش‌برنده و بازدارنده موجود در شکل‌گیری، فعالیت و توسعه تشکل‌های آب‌بران از دو بار تحلیل عاملی^{۱۲} بهره گرفته شد. برای انجام تحلیل عاملی اکتشافی، ابتدا مجموعه‌ی متغیرها وارد تحلیل عاملی شدند. سپس به منظور

استخراج عامل‌ها از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی^{۱۳} استفاده گردید. معیار استخراج عامل‌ها، براساس مقدار ویژه بیش از یک تعریف شد. برای نوع چرخش عاملی نیز از غیرمتعامد به روش واریمکس^{۱۴} بهره گرفته شد. همچنین، بارهای عاملی که مقدار آن بیش‌تر از ۰/۵ بودند در تحلیل باقی مانده و بارهای عاملی که کم‌تر از این مقدار بودند، حذف شدند.

بدین ترتیب ابتدا به منظور شناسایی عوامل پیش‌برنده تشکل‌های آب‌بران، مجموع ۳۰ متغیر (گویه) در تحلیل عاملی وارد شده و در قالب ۵ عامل طبقه‌بندی شدند که با توجه به ماهیت گویه‌ها تحت عنوان عوامل تولیدی، سرمایه اجتماعی، حقوقی، اقتصادی و اجرایی نامگذاری شدند. گویه‌های تشکیل دهنده‌ی هر عامل عبارتند از:

گویه‌های تشکیل دهنده‌ی عامل تولیدی

- ۱- کاهش هزینه‌های بهره برداران و بهبود بهره‌وری کشاورزی و سودآوری اقتصادی و پایداری آبیاری با اعمال مدیریت بهره برداران، ۲- افزایش روحیه تعاون و همکاری و همبستگی گروهی و افزایش انگیزش در بین کشاورزان جهت بهره‌برداری و نگهداری بهتر از شبکه، ۳- اشتغال و افزایش درآمد ذینفعان، ۴- استفاده از تکنولوژی‌های جدید در زمینه بهره‌برداری و نگهداری، ۵- کاهش هزینه‌ها برای شرایط مدیریت مالی، ۶- افزایش تعهد کشاورزان که موجب بازگشت بیشتر سرمایه گذاری‌ها نسبت به گذشته می‌شود، ۷- افزایش کارایی مدیریت مزرعه و آب، ۸- کاهش تلفات آب و تولید بیش‌تر ۹- روند کار راحت‌تر می‌شود و تسهیم قسمت‌های مختلف کار بهتر صورت می‌گیرد، ۱۰- تمرکززدایی قدرت و احترام به مصرف کنندگان، ۱۱- افزایش جوابگویی مسئولان، ۱۲- افزایش شفافیت در داده‌های مربوط به آب و آبیاری، ۱۳- افزایش فرصت کاربران برای حل مشکلات خود، شناخت بهتر نیازها و شرایط اطراف

¹³ -Principal components

¹⁴ -Varimax

¹¹ -Stratified random sampling with proportional assignment

¹² -Factor Analysis

خود و کار بیشتر برای برآوردن نیازهای خود، ۱۴- با اعمال مدیریت محلی آب، صرفه جویی در وقت و هزینه مردم صورت می‌گیرد، ۱۵- درک صحیح بهره برداران از ارزش آب و آگاهی از مشکلات تأمین و توزیع آب و ۱۶- افزایش بهره‌وری آب.

گویه‌های تشکیل دهنده‌ی عامل سرمایه اجتماعی

۱- کاهش چشم‌گیر سرمایه گذاری دولت و افزایش مشارکت عملی روستاییان در کارهای اساسی و زیربنایی از طریق تأمین مالی این طرح‌ها با توجه به اهداف مذکور، ۲- مشارکت عملی روستاییان در تأمین منابع مالی موردنیاز برای احداث شبکه‌های انتقال آب و بهبود کیفی فعالیت‌های استفاده از منابع، ۳- برگزاری انتخابات در موعد مقرر، ۴- پیش‌بینی انتقال سهام شرکت آبیاری و واگذاری تأسیسات به آب‌بران تحت پوشش، ۵- هماهنگی کامل در برنامه ریزی و تصمیم‌گیری‌ها، داشتن برنامه ریزی از مراحل عملیاتی پروژه و ۶- بهبود حفاظت و نگهداری از شبکه.

گویه‌های تشکیل دهنده‌ی عامل حقوقی

۱- برگزاری جلسات متعدد به منظور آشنایی و توجیه بهره برداران و تسریع در عملیات اجرایی، ۲- حمایت و همراهی سازمان‌های دولتی از تشکلهای پس از احداث و بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری و ۳- تعدیل مسائل حقوقی و اجتماعی.

گویه‌های تشکیل دهنده‌ی عامل اقتصادی

۱- ثبت سفارش، فروش، توزیع و تحویل حجمی آب کشاورزی به تمامی ذینفعان، ۲- کاهش تصدی‌گری دولت و ۳- کاهش بار مالی دولت.

گویه‌های تشکیل دهنده‌ی عامل اجرایی

۱- بازدید و سرکشی مستمر تأسیسات و تنظیم گزارش تخلفات آب‌بران، ۲- بهبود کارآیی، عدالت در توزیع و

مصرف آب، بهبود نگهداری شبکه و حل اختلاف بین بهره برداران و ۳- آشناساختن آب‌بران با اهم مسائل، مشکلات و افزایش سطح آگاهی‌های ذینفعان و تشریح تجربیات موجود در کشور در خصوص وظایف و نقش تشکلهای در مدیریت بهره‌برداری و نگهداری شبکه‌ها. سپس در گام دوم نیز به منظور شناسایی عوامل بازدارنده تشکلهای آب‌بران، مجموع ۲۹ متغیر (گویه) در تحلیل عاملی وارد شده و در قالب ۵ عامل طبقه‌بندی شدند که با توجه به ماهیت گویه‌ها تحت عنوان عوامل حمایتی، حقوقی، مدیریتی، برون سازمانی و ترویجی نامگذاری گردیدند. هر کدام از عوامل مذکور دارای متغیرهای زیر هستند:

گویه‌های تشکیل دهنده‌ی عامل حمایتی

۱- روشن نبودن جایگاه حقوقی زارع در مجموعه طرح، ۲- نامشخص بودن وضعیت بهره‌برداری و نگهداری طرح، ۳- عدم یکپارچگی و انسجام دستگاه‌های مختلف دولتی نسبت به موضوع مشارکت‌های مردمی، ۴- نگاه ابزاری دولت نسبت به بخش خصوصی جهت رفع مشکلات دولت، ۵- عدم آگاهی زارعین نسبت به اهداف دولت در طرح‌ها و بی‌اعتمادی مردم نسبت به ادارات دولتی، ۶- پایین بودن آگاهی زارعین نسبت به طرح‌های آب و لزوم آموزش و ترویج در این خصوص، ۷- پیچیدگی بهره‌برداری از تأسیسات آبی و نبود نظام بهره‌برداری مشخص، ۸- عدم تطابق طرح‌ها با ملاک‌ها و خواسته‌های مردم، ۹- پایین بودن بنیه مالی و ریسک-پذیری زارعین، ۱۰- عدم زیرساخت‌های قانونی جهت انتقال بخشی از اختیارات سازمانی به تشکلهای، ۱۱- عدم بستری مناسب جهت پایداری تشکلهای آب‌بران، ۱۲- عدم پوشش هزینه‌های عملیات و نگهداری، ۱۳- عدم حمایت‌ها در زمینه تهیه وسایل و تسهیلات لازم برای بهره‌برداری و نگهداری، ۱۴- عدم برگشت بخشی از آب-بها به تعاونی‌ها.

گویه‌های تشکیل دهنده‌ی عامل حقوقی

- ۱- عدم برگزاری انتخابات هیئت مدیره در وقت مقرر،
- ۲- پیشی گرفتن عملیات اجرایی شبکه قبل از ایجاد توانمندی آب‌بران در بهره‌برداری و نگهداری از شبکه آبیاری در قالب تشکیل‌های آب‌بران،
- ۳- عدم پذیرش توسط بهره‌برداران،
- ۴- عدم هماهنگی کافی بین دستگاه-های ذیربط،
- ۵- عدم انجام مطالعات اقتصادی و اجتماعی در طرح‌های مشارکت مردمی توسط مهندسین مشاور،
- ۶- شفاف نبودن ورود بخش خصوصی در عرصه‌های مختلف از جمله صنعت آب کشور.

گویه‌های تشکیل دهنده‌ی عامل مدیریتی

- ۱- نداشتن کارشناس متخصص،
- ۲- مدیریت ضعیف به دلایل متعدد از جمله چندشغله بودن و نداشتن قدرت مدیریت لازم،
- ۳- عدم اجرای مسئولیت‌ها در تعاونی توسط نماینده یا نمایندگان هر درجه آب‌گیر.

گویه‌های تشکیل دهنده‌ی عامل برون سازمانی

- ۱- تعاونی‌ها در زمینه سیاست گذاری و برنامه ریزی کاملاً تابع جهاد کشاورزی هستند،
- ۲- باتلاقی شدن بخش وسیعی از اراضی به دلیل بافت سنگین خاک، سطح بالای آب زیرزمینی، شرایط اقلیمی و تلفات بیش از حد آب در انهار سنتی یا عدم امکان تأمین آب قابل آبیاری،
- ۳- شناسایی و معرفی متخلفین و برخورد با آن‌ها بر عهده تعاونی‌هاست.

گویه‌های تشکیل دهنده‌ی عامل ترویجی

- ۱- واقف نبودن کشاورزان به اهداف طرح و انتظارات بیش از حد بهره برداران از تعاونی،
- ۲- عدم ایجاد انگیزه برای اعضاء تعاونی و هیئت مدیره و مدیرعامل و کارکنان،
- ۳- اهمال سازمان ترویج در اجرای فعالیت‌های ترویجی.

جدول ۱- حجم جامعه و نمونه پژوهش به تفکیک شرکت‌های بهره‌برداری وابسته به سازمان آب و برق استان خوزستان

ردیف	نام شرکت	حجم جامعه (نفر)	حجم نمونه (نفر)
۱	کرخه	۹۰	۵۸
۲	کارون بزرگ	۴۰	۲۶
۳	دز	۲۷	۱۸
۴	زهره - جراحی	۲۳	۱۵
۵	مارون	۲۰	۱۳
	کل	۲۰۰	۱۳۰

یافته‌ها

براساس یافته‌ها اکثر کارشناسان شرکت‌های بهره‌برداری سازمان آب و برق خوزستان، مرد (۸۸/۵ درصد) بوده و دارای تحصیلات کارشناسی (۴۸/۵ درصد) و به طور میانگین از ۱۵ سال سابقه کار برخوردار بودند. نتایج این بررسی‌ها در ادامه آورده شده است.

شناسایی عوامل پیش‌برنده موجود در شکل‌گیری، فعالیت و توسعه تشکیل‌های آب‌بران

به منظور شناسایی عوامل پیش‌برنده تشکیل‌های آب‌بران جهت توسعه‌ی تشکیل‌ها همانطور که قبلاً ذکر شد

در تحلیل عاملی از چرخش غیرمتعامد به روش واریمکس استفاده شد.

در انجام تحلیل عاملی ابتدا باید از این مسئله اطمینان یابیم که آیا تعداد داده‌های مورد نظر (اندازه نمونه و رابطه بین متغیرها) برای تحلیل عاملی مناسبند یا خیر؟ بدین منظور از دو روش آماری یعنی از شاخص KMO و آزمون بارتلت در نرم افزار SPSS¹⁶ استفاده می‌شود.

شاخص KMO^{۱۵} است، شاخصی از کفایت نمونه‌گیری است که کوچک بودن همبستگی جزئی بین

¹⁵ -Kaiser-Meyer-Olkin Measure of sampling adequacy

متغیرها را بررسی می‌کند و از این طریق مشخص می‌کند آیا واریانس متغیرهای پژوهش، تحت تاثیر واریانس مشترک برخی عامل‌های پنهانی و اساسی است یا خیر.

این شاخص در بازه صفر تا یک قرار دارد. اگر مقدار شاخص نزدیک به یک باشد، داده‌های مورد نظر (اندازه نمونه) برای تحلیل عاملی مناسب هستند و گرنه نتایج تحلیل عاملی برای داده‌های مورد نظر چندان مناسب نیست.

در این تحقیق با توجه به نتایج، مقدار $0/940 = KMO$ به دست آمد که نشان‌گر آن است که تحلیل عاملی قابل قبول است و نتایج آن قابل تعمیم به جامعه آماری می‌باشد و آزمون بارتلت^{۱۶} معنی‌دار شده است.

نتایج جدول شماره ۱، نشان می‌دهد که عامل اول (عامل تولیدی) با مقدار ویژه $9/316$ بیش‌ترین سهم را در بین عوامل پیش‌برنده‌ی شکل‌گیری، فعالیت و توسعه تشکلهای آب‌بران استان خوزستان را به خود اختصاص می‌دهد و عامل پنجم با مقدار ویژه $2/816$ کم‌ترین سهم را در تبیین کل متغیرها داشته و در مجموع پنج عامل توانسته‌اند $68/640$ درصد از کل واریانس عوامل پیش‌برنده در شکل‌گیری، فعالیت و توسعه تشکلهای آب‌بران استان خوزستان را تبیین می‌کنند.

نتایج جدول ۱ مقدار ویژه عامل اول تا پنجم را نشان می‌دهد. نتایج حاکی از آن است که ۵ عامل در مجموع $68/64$ درصد از واریانس عوامل پیش‌برنده توسعه تشکلهای آب‌بران را تبیین کرده‌اند.

براساس یافته‌ها عامل تولیدی به عنوان مهم‌ترین عامل پیش‌برنده در شکل‌گیری، فعالیت و توسعه تشکلهای آب‌بران استان خوزستان، بیش‌ترین مقدار ویژه را به خود اختصاص داده است بنابراین بیش‌ترین اهمیت و تأثیر را در تبیین متغیرها داشته است.

عامل سرمایه اجتماعی نیز با مقدار ویژه $5/50$ ، در مجموع $15/72$ درصد از کل واریانس عوامل پیش‌برنده در شکل‌گیری، فعالیت و توسعه تشکلهای آب‌بران استان

خوزستان را تبیین می‌کند و در بین پنج عامل در رتبه‌ی دوم اهمیت قرار گرفته است. پس از آن نیز عامل حقوقی با مقدار ویژه $3/47$ ، در مجموع $9/93$ درصد از کل واریانس عوامل پیش‌برنده در شکل‌گیری، فعالیت و توسعه تشکلهای آب‌بران استان خوزستان را تبیین می‌کند و در بین ۵ عامل در رتبه‌ی سوم اهمیت قرار گرفته است. سپس عامل اقتصادی با مقدار ویژه $2/91$ ، در مجموع $8/32$ درصد از کل واریانس عوامل پیش‌برنده در شکل‌گیری، فعالیت و توسعه تشکلهای آب‌بران استان خوزستان را تبیین می‌کند و در بین پنج عامل در رتبه‌ی چهارم اهمیت قرار گرفته است. در نهایت نیز عامل اجرایی با مقدار ویژه $2/82$ ، در مجموع $8/05$ درصد از کل واریانس عوامل پیش‌برنده در شکل‌گیری، فعالیت و توسعه تشکلهای آب‌بران استان خوزستان را تبیین می‌کند و به ترتیب اهمیت در بین پنج عامل در رتبه‌ی آخر قرار گرفته است.

شناسایی عوامل بازدارنده موجود در شکل‌گیری، فعالیت و توسعه تشکلهای آب‌بران

در تحلیل عاملی انجام شده به منظور شناسایی عوامل بازدارنده موجود در شکل‌گیری، فعالیت و توسعه تشکلهای آب‌بران نیز از چرخش غیرمتعامد به روش واریمکس استفاده شد. با توجه به نتایج، مقدار $0/85 = KMO$ به دست آمد که نشان‌گر آن است که تحلیل عاملی قابل قبول است و نتایج آن قابل تعمیم به جامعه آماری می‌باشد و آزمون بارتلت معنی‌دار شده است.

نتایج جدول شماره ۳ نشان می‌دهد که عامل اول با مقدار ویژه $7/36$ بیش‌ترین سهم و عامل پنجم با مقدار ویژه $1/99$ کم‌ترین سهم را در تبیین کل متغیرها داشته و در مجموع پنج عامل توانسته‌اند $47/29$ درصد از کل واریانس عوامل بازدارنده در شکل‌گیری، فعالیت و توسعه تشکلهای آب‌بران استان خوزستان را تبیین نمایند. براساس یافته‌ها عامل حمایتی با مقدار ویژه $7/36$ ، در مجموع $21/03$ درصد از کل واریانس عوامل

بازدارنده در شکل‌گیری، فعالیت و توسعه تشکل‌های آب-بران استان خوزستان را تبیین می‌کند و در بین پنج عامل در رتبه‌ی نخست اهمیت قرار گرفته است. پس از آن نیز عامل حقوقی با مقدار ویژه ۳/۳۸، در مجموع ۹/۶۷ درصد از کل واریانس عوامل بازدارنده در شکل‌گیری، فعالیت و توسعه تشکل‌های آب‌بران استان خوزستان را تبیین می‌کند و در بین پنج عامل در رتبه‌ی دوم اهمیت قرار گرفته است. سپس عامل مدیریتی با مقدار ویژه ۳/۰۳، در مجموع ۸/۶۶ درصد از کل واریانس عوامل بازدارنده در شکل‌گیری، فعالیت و توسعه تشکل‌های آب‌بران استان خوزستان را تبیین می‌کند و در بین پنج عامل در رتبه‌ی

سوم اهمیت قرار گرفته است. این در حالی است که عامل برون سازمانی با مقدار ویژه ۲/۵۳، در مجموع ۲/۲۴ درصد از کل واریانس عوامل بازدارنده در شکل‌گیری، فعالیت و توسعه تشکل‌های آب‌بران استان خوزستان را تبیین می‌کند و در بین پنج عامل در رتبه‌ی چهارم اهمیت قرار گرفته است. در نهایت نیز عامل ترویجی با مقدار ویژه ۱/۹۹، در مجموع ۵/۶۹ درصد از کل واریانس عوامل بازدارنده در شکل‌گیری، فعالیت و توسعه تشکل‌های آب-بران استان خوزستان را تبیین می‌کند و به ترتیب اهمیت در بین پنج عامل در رتبه‌ی آخر قرار گرفته است.

جدول ۱- نتایج حاصل تحلیل عاملی عوامل پیش‌برنده توسعه تشکل‌های آب‌بران

ردیف	عامل	مقدار ویژه	درصد واریانس	درصد تجمعی
۱	اول (عامل تولیدی)	۹/۳۲	۲۶/۶۲	۲۶/۶۲
۲	دوم (عامل سرمایه اجتماعی)	۵/۵۰	۱۵/۷۲	۴۲/۳۴
۳	سوم (عامل حقوقی)	۳/۴۸	۹/۹۳	۵۲/۲۷
۴	چهارم (عامل اقتصادی)	۲/۹۱	۸/۳۲	۶۰/۵۹
۵	پنجم (عامل اجرایی)	۲/۸۲	۸/۰۵	۶۸/۶۴

جدول ۲- نتایج حاصل از عامل‌های به دست آمده از تحلیل عاملی عوامل پیش‌برنده توسعه تشکلهای آب‌بران

نام عامل	متغیرها	بار عاملی	مقدار ویژه	درصد واریانس	درصد تجمعی
تولیدی	افزایش کارایی مدیریت مزرعه و آب	۰/۷۷	۹/۳۲	۲۶/۶۲	۲۶/۶۲
	ساده تر شدن روند کار و تسهیم بهتر قسمت های مختلف کار	۰/۷۶			
	افزایش فرصت کاربران برای حل مشکلات خود، شناخت بهتر نیازها و شرایط اطراف خود و کار بیشتر برای برآوردن نیازهای خود	۰/۷۵			
	افزایش جوابگویی مسئولان	۰/۷۵			
	تمرکززدایی قدرت و احترام به مصرف کنندگان	۰/۷۲			
	افزایش تعهد کشاورزان که موجب بازگشت بیشتر سرمایه گذاری ها نسبت به گذشته می شود.	۰/۷۲			
	افزایش بهره‌وری آب	۰/۷۰			
	اشتغال و افزایش درآمد ذینفعان	۰/۷۰			
	کاهش تلفات آب و تولید بیشتر	۰/۷۰			
	افزایش شفافیت در داده‌های مربوط به آب و آبیاری	۰/۶۸			
	کاهش هزینه‌های بهره برداران و بهبود بهره‌وری کشاورزی و سودآوری اقتصادی و پایداری آبیاری با اعمال مدیریت بهره برداران	۰/۶۸			
	درک صحیح بهره برداران از ارزش آب و آگاهی از مشکلات تأمین و توزیع آب	۰/۶۶			
	با اعمال مدیریت محلی آب، صرفه جویی در وقت و هزینه مردم صورت می گیرد.	۰/۶۵			
	افزایش روحیه تعاون و همکاری و همبستگی گروهی و افزایش انگیزش در بین کشاورزان جهت بهره‌برداری و نگهداری بهتر از شبکه	۰/۶۵			
	کاهش هزینه‌ها برای شرایط مدیریت مالی	۰/۶۴			
	استفاده از تکنولوژی‌های جدید در زمینه بهره‌برداری و نگهداری	۰/۶۰			
سرمایه اجتماعی	برگزاری انتخابات در موعد مقرر	۰/۷۵	۵/۵۰	۱۵/۷۲	۴۲/۳۴
	کاهش چشم‌گیر سرمایه گذاری دولت و افزایش مشارکت عملی روستاییان در کارهای اساسی و زیربنایی از طریق تأمین مالی این طرح‌ها با توجه به اهداف مذکور	۰/۷۰			
	هماهنگی کامل در برنامه ریزی و تصمیم گیری‌ها، داشتن برنامه ریزی از مراحل عملیاتی پروژه	۰/۶۶			
	پیش بینی انتقال سهام شرکت آبیاری و واگذاری تأسیسات به آب‌بران تحت پوشش	۰/۶۴			
	مشارکت عملی روستاییان در تأمین منابع مالی موردنیاز برای احداث شبکه های انتقال آب و بهبود کیفی فعالیت‌های استفاده از منابع	۰/۶۴			
	بهبود حفاظت و نگهداری از شبکه	۰/۵۲			
	تعدیل مسائل حقوقی و اجتماعی	۰/۷۵	۳/۴۸	۹/۹۳	۵۲/۲۷
حقوقی	برگزاری جلسات متعدد به منظور آشنایی و توجیه بهره برداران و تسریع در عملیات اجرایی	۰/۷۰			
	حمایت و همراهی سازمان های دولتی از تشکیل‌ها پس از احداث و بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری	۰/۶۷			
	کاهش تصدی‌گری دولت	۰/۷۳	۲/۹۱۲	۸/۳۲	۶۰/۵۹
اقتصادی	کاهش بار مالی دولت	۰/۶۳			
	ثبت سفارش، فروش، توزیع و تحویل حجمی آب کشاورزی به تمامی ذینفعان	۰/۵۱			
	آشناساختن آب‌بران با اهم مسائل، مشکلات و افزایش سطح آگاهی‌های ذینفعان و تشریح تجربیات موجود در کشور در خصوص وظایف و نقش تشکلهای در مدیریت بهره‌برداری و نگهداری شبکه‌ها	۰/۶۶	۲/۸۱۶	۸/۰۵	۶۸/۶۴
اجرایی	بازدید و سرکشی مستمر تأسیسات و تنظیم گزارش تخلفات آب‌بران	۰/۶۰			
	بهبود کارایی، عدالت در توزیع و مصرف آب، بهبود نگهداری شبکه و حل اختلاف بین بهره‌برداران	۰/۵۵			

جدول ۳- نتایج حاصل تحلیل عاملی عوامل بازدارنده توسعه تشکیل‌های آب‌بران

ردیف	عامل	مقدار ویژه	درصد واریانس	درصد تجمعی
۱	اول (عامل حمایتی)	۷/۳۶	۲۱/۰۳	۲۱/۰۳
۲	دوم (عامل حقوقی)	۳/۳۸	۹/۶۷	۳۰/۷۰
۳	سوم (عامل مدیریتی)	۳/۰۳	۸/۶۶	۳۹/۳۶
۴	چهارم (عامل برون سازمانی)	۲/۵۳	۲/۲۴	۴۱/۶۰
۵	پنجم (عامل ترویجی)	۱/۹۹	۵/۶۹	۴۷/۲۹

جدول ۴- نتایج حاصل از عامل‌های به دست آمده از تحلیل عاملی عوامل بازدارنده توسعه تشکیل‌های آب‌بران

نام عامل	متغیرها	بار عاملی	مقدار ویژه	درصد واریانس	درصد تجمعی
حمایتی	پایین بودن آگاهی زارعین نسبت به طرح‌های آب و لزوم آموزش و ترویج در این خصوص	۰/۷۳	۷/۳۶	۲۱/۰۳	۲۱/۰۳
	عدم آگاهی زارعین نسبت به اهداف دولت در طرح‌ها و بی‌اعتمادی مردم نسبت به ادارات دولتی	۰/۷۲			
	عدم تطابق طرح‌ها با ملاک‌ها و خواسته‌های مردم	۰/۷۰			
	عدم زیرساخت‌های قانونی جهت انتقال بخشی از اختیارات سازمانی به تشکلات	۰/۶۹			
	نامشخص بودن وضعیت بهره‌برداری و نگهداری طرح	۰/۶۸			
	نگاه ابزاری دولت نسبت به بخش خصوصی جهت رفع مشکلات دولت	۰/۶۸			
	عدم برگشت بخشی از آب‌بها به تعاونی‌ها	۰/۶۷			
	پایین بودن بنیه مالی و ریسک‌پذیری زارعین	۰/۶۶			
	روشن نبودن جایگاه حقوقی زارع در مجموعه طرح	۰/۶۴			
	عدم پوشش هزینه‌های عملیات و نگهداری	۰/۶۳			
	عدم یکپارچگی و انسجام دستگاه‌های مختلف دولتی نسبت به موضوع مشارکت‌های مردمی	۰/۶۲			
	عدم حمایت‌ها در زمینه تهیه وسایل و تسهیلات لازم برای بهره‌برداری و نگهداری	۰/۶۱			
	پیشگیری بهره‌برداری از تأسیسات آبی و نبود نظام بهره‌برداری مشخص	۰/۶۱			
حقوقی	عدم بستری مناسب جهت پایداری تشکیل‌های آب‌بران	۰/۵۶			
	عدم برگزاری انتخابات هیئت مدیره در وقت مقرر	۰/۶۴	۳/۳۸	۹/۶۷	۳۰/۷۰
	پیشی گرفتن عملیات اجرایی شبکه قبل از ایجاد توانمندی آب‌بران در بهره‌برداری و نگهداری	۰/۶۰			
	از شبکه آبیاری در قالب تشکیل‌های آب‌بران	۰/۶۰			
	عدم پذیرش توسط بهره‌برداران	۰/۵۹			
	عدم هماهنگی کافی بین دستگاه‌های ذیربط	۰/۵۵			
	عدم انجام مطالعات اقتصادی و اجتماعی در طرح‌های مشارکت مردمی توسط مهندسین مشاور	۰/۵۴			
مدیریتی	شفاف نبودن ورود بخش خصوصی در عرصه‌های مختلف از جمله صنعت آب کشور	۰/۷۴	۳/۰۳	۸/۶۶	۳۹/۳۶
	نداشتن کارشناس متخصص	۰/۷۳			
	مدیریت ضعیف به دلایل متعدد از جمله چندشغله بودن و نداشتن قدرت مدیریت لازم	۰/۷۶			
برون سازمانی	عدم اجرای مسئولیت‌ها در تعاونی توسط نماینده یا نمایندگان هر دریچه آب‌گیر	۰/۸۰	۲/۵۳	۲/۲۴	۴۱/۶۰
	شناسایی و معرفی متخلفین و برخورد با آن‌ها بر عهده تعاونی‌هاست.	۰/۷۷			
	تعاونی‌ها در زمینه سیاست‌گذاری و برنامه ریزی کاملاً تابع جهاد کشاورزی هستند.	۰/۵۵			
	باتالای شدن بخش وسیعی از اراضی به دلیل بافت سنگین خاک، سطح بالای آب زیرزمینی، شرایط اقلیمی و تلفات بیش از حد آب در انهار سنتی یا عدم امکان تامین آب قابل آبیاری	۰/۸۱	۱/۹۹	۵/۶۹	۴۷/۲۹
ترویجی	واقف نبودن کشاورزان به اهداف طرح و انتظارات بیش از حد بهره‌برداران از تعاونی	۰/۶۷			
	عدم ایجاد انگیزه برای اعضاء تعاونی و هیئت مدیره و مدیرعامل و کارکنان	۰/۵۱			
	اهمال سازمان ترویج در اجرای فعالیت‌های ترویجی				

بحث و نتیجه‌گیری

را در ایجاد زندگی بهتر برای جهانیان به اثبات رسانیده

است. محدودیت آب و ضرورت مدیریت بهینه استفاده از

آن، در طول زمان موجب پیدایش و تکامل نظام‌های بهره-

در عصر کنونی مسئله آب به یکی از بحران‌های

اساسی جهان تبدیل شده و بیش از پیش نقش کلیدی خود

برداری متعددی در شرایط گوناگون طبیعی و اجتماعی روستاهای ایران شده است. از جمله این نظام‌های بهره‌برداری، تشکل‌های آب‌بران می‌باشند که در طی سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته‌اند. هدف از ایجاد این تشکل‌ها (تعاونی‌ها)، فراهم آوردن سازوکارهایی است تا از طریق یک فرایند مشارکتی، کشاورزان در تصمیم‌گیری‌ها و مدیریت آب کشاورزی نقش آفرینی و از آب در دسترس به صورت بهینه استفاده کنند. این تشکل‌ها بر اساس سازماندهی بهره‌برداران در یک چارچوب قانونی ایجاد می‌شوند تا بتوانند از طریق آن، متناسب با ظرفیت‌های ایجادشده، احداث، بهره‌برداری، توسعه، تعمیر و نگهداری از تأسیسات و شبکه‌های آب‌رسانی یا بخش‌هایی از آن به نحوی اثربخش باشند.

این مطالعه با هدف شناسایی عوامل پیش‌برنده و بازدارنده موجود در شکل‌گیری، فعالیت و توسعه تشکل‌های آب‌بران استان خوزستان (در پنج شرکت بهره‌برداری کرخه، کارون بزرگ، دز، زهره - جراحی و مارون با ۲۰ تشکل آب‌بران فعال) انجام شد.

بر اساس نتایج حاصل از تحلیل عاملی، پنج عامل (تولیدی، سرمایه اجتماعی، حقوقی، اقتصادی و اجرایی) به عنوان نقاط قوت و پیش‌برنده توسعه تشکل‌های آب‌بران معرفی شدند که در مجموع این پنج عامل توانستند ۶۸/۶۴ درصد واریانس کل را تبیین نمایند که با نتایج اینوسنت و جی او (۲۰۱۴) مطابقت دارد. به این معنا که محققان مذکور نیز در نتایج یافته‌های پژوهش خود به تأثیر عامل‌ها تولیدی، سرمایه اجتماعی، حقوقی، اقتصادی و اجرایی به عنوان نقاط قوت و پیش‌برنده توسعه تشکل‌های آب‌بران در منطقه‌ی مورد مطالعه‌ی خود، دست یافته‌اند.

همچنین بر اساس نتایج حاصل از تحلیل عاملی، پنج عامل (حمایتی، حقوقی، مدیریتی، برون سازمانی و ترویجی) به عنوان نقاط ضعف و عوامل بازدارنده تأثیرگذار بر توسعه تشکل‌های آب‌بران معرفی شدند که در مجموع این پنج عامل توانستند ۴۷/۲۸۷ درصد

واریانس کل را تبیین نمایند که تاحدودی با نتایج عربی و همکاران (۱۳۹۳) که در تحقیق خود نه عامل از جمله عوامل مدیریتی، حمایتی و ترویجی را به عنوان عوامل بازدارنده انتقال مدیریت شبکه‌ی آبیاری به بهره‌برداران شناسایی نمودند، مطابقت دارد.

با عنایت به اینکه عامل سرمایه اجتماعی به عنوان یکی از عوامل پیش‌برنده تشکل‌های آب‌بران جهت توسعه‌ی تشکل‌ها شناسایی گردید لذا به منظور توسعه‌ی تشکل‌های آب‌بران می‌توان با آگاه‌سازی ذینفعان و کمک به اعتلای مؤلفه‌های سرمایه اجتماعی در جامعه هدف با افزایش مشارکت آن‌ها و مطرح نمودن اهمیت فعالیت‌ها و اقدامات دسته جمعی در قالب تشکل‌ها و تعاونی‌ها و همچنین منافع مشترکی که از این قبیل حاصل می‌گردد، نسبت به اعتلای مؤلفه‌ی مذکور در بین اعضای شبکه‌های آب‌بران اقدام نمود. این اقدام با برگزاری جلساتی با کشاورزان و بهره‌برداران، معرفی سرمایه اجتماعی از طریق برنامه‌های رادیویی و تلویزیونی و بازدید از تشکل‌های موفق نیز امکان‌پذیر است.

پیشنهاده‌ها

با عنایت به یافته‌های تحقیق پیشنهادات ذیل در سه سطح کلان، میانی و خرد ارائه می‌گردد:

✓ با عنایت به تأثیر عامل اجرایی به عنوان یکی از عوامل پیش‌برنده در شکل‌گیری، فعالیت و توسعه تشکل‌های آب‌بران استان خوزستان، آگاه نمودن بهره‌برداران و مشارکت دادن آن‌ها در همه مراحل شکل‌گیری تشکل‌های آب‌بران اعم از مسئولیت‌پذیری، طراحی، اجرا، بهره‌برداری و نگهداری، ضروری به نظر می‌رسد.

✓ با عنایت به تأثیر عامل حمایتی به عنوان یکی از عوامل بازدارنده در شکل‌گیری، فعالیت و توسعه تشکل‌های آب‌بران استان خوزستان، ضرورت حمایت دولت از طریق اعطاء تسهیلات بانکی به بهره‌برداران و سهم‌شدن آن‌ها در بخشی از هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری، آشکار می‌گردد.

- ✓ با عنایت به تأثیر عامل ترویجی به عنوان یکی از عوامل بازدارنده در شکل‌گیری، فعالیت و توسعه تشکل‌های آب‌بران استان خوزستان، پیشنهاد برگزاری کلاس‌های آموزشی برای مدیران و مسئولان دولتی مطرح می‌گردد تا با اصول و مبانی نظری، روش‌های مشارکت، مسائل و مشکلات و مکانیسم‌های مناسب برای حل مشکلات به درستی آشنا شوند.
- ✓ در همین راستا (تأثیر عامل ترویجی در شکل‌گیری، فعالیت و توسعه تشکل‌های آب‌بران استان خوزستان)، بالا بردن تفاهم و همکاری بین آب‌بران برای ایجاد مشارکت از طریق آموزش و ترویج آب‌بران، نیز می‌تواند مؤثر واقع شود.
- ✓ با عنایت به تأثیر عامل برون سازمانی به عنوان یکی از عوامل بازدارنده در شکل‌گیری، فعالیت و توسعه تشکل‌های آب‌بران استان خوزستان و با توجه به اینکه برخی از آب‌بران علاوه بر بهره گرفتن از آب شبکه به سایر منابع تأمین آب از جمله چاه و نصب موتور تلمبه‌ها روی می‌آورند که این مسئله موجب مستقل شدن کشاورزان و بی‌اعتمادی آنها به کارایی شبکه‌های آبیاری می‌شود، لذا تحویل آب حجمی به موقع و رسیدن آب به اراضی پایین دست با حضور خود کشاورزان و مشارکت آن‌ها در توزیع عادلانه آب، پیشنهاد می‌شود.
- ✓ با عنایت به تأثیر عامل سرمایه اجتماعی به عنوان یکی از عوامل پیش‌برنده در شکل‌گیری، فعالیت و توسعه تشکل‌های آب‌بران استان خوزستان، پیشنهاد می‌گردد نسبت به اجرای برنامه‌های توانمندسازی تشکل‌های آب‌بران که به تدریج مسئولیت امور را در دست گیرند و در همه مراحل مشارکت داشته باشند و بستری مناسب برای پایداری تشکل‌ها ایجاد کند، تمهیدات مقتضی اندیشیده شود.
- ✓ با عنایت به تأثیر عامل حمایتی به عنوان یکی از عوامل بازدارنده در شکل‌گیری، فعالیت و توسعه تشکل‌های آب‌بران استان خوزستان، پیشنهاد می‌گردد نسبت به تدوین سیاست‌ها و قوانین لازم برای جلوگیری از افزایش سالانه‌ی آب بهاء یا معافیت از افزایش بهاء برای کشاورزان عضو تشکل‌های آب‌بران، راهکاری مناسب در راستای ارتقای عامل حمایتی و افزایش تمایل آنان به مشارکت در این تشکل‌ها، اجرایی و عملیاتی گردند.
- ✓ همچنین در همین راستا (ارتقای عامل حمایتی و افزایش تمایل ذینفعان به مشارکت در تشکل‌های آب‌بران)، پیشنهاد می‌شود که حمایت و پشتیبانی‌های لازم از سوی دولت درخصوص مواردی چون فراهم کردن امکانات و تسهیلات لازم برای ادامه فعالیت تشکل‌های مذکور، مشاوره‌های فنی و آموزشی در زمینه تعمیر و نگهداری شبکه و مهم‌تر از همه به رسمیت شناختن و پذیرفته شدن تشکل‌های آب‌بران در دستگاه‌های دولتی، مورد عنایت بیش‌تری قرار گیرد.

فهرست منابع

۱. احدزاده پالچقلو، ج. و م. شوکت فدایی. ۱۳۹۵. بررسی پایداری تشکل‌های آب‌بران در پایاب شبکه آیدوغموش میانه. سومین کنفرانس بین‌المللی توسعه پایدار، راهکارها و چالش‌ها با محوریت کشاورزی، منابع طبیعی، محیط زیست و گردشگری. ۱۷-۱۹ اسفندماه.
۲. اخوان، ف.، حسینی، م. و م. چیدری. ۱۳۹۱. بررسی عوامل مؤثر بر مشارکت اعضای تعاونی آب‌بران در مدیریت منابع آب کشاورزی استان قزوین. تعاون و کشاورزی. ۲۳(۱۱): ۱۱۷-۱۳۴.
۳. بابایی سیگارودی، م.، یعقوبی، ج. و ش. خیری. ۱۳۹۳. بررسی اثرات ایجاد تشکل‌های آب‌بران بر مدیریت بهره‌برداری از شبکه آبیاری دشت قزوین. اولین همایش ملی آب، انسان، زمین. اصفهان، شهریورماه.
۴. بازوند، ح.، آزادی عبدولی، ح. و م. اسلامی. ۱۳۹۶. تأثیر رفتار کشاورزان در هنگام مواجهه با خشکسالی بر توسعه پایدار. کنفرانس ملی کشاورزی پایدار، محیط زیست و توسعه روستایی.

۵. بقایی، ح.، کردانی، م.، سروستانی، م.، بقایی، ل. و ا. پروین. ۱۳۹۱. چشم‌اندازها و فرصت‌های توسعه پایدار با ورود تشکلهای آب‌بران در عرصه توسعه جوامع روستایی.
۶. پژوهان، ع. و ا. عمانی. ۱۳۹۰. تشکلهای آب‌بران گامی اساسی به سوی مدیریت منابع آب. همایش ملی مدیریت کشاورزی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد جهرم، ۵ خردادماه.
۷. سجاسی‌قیداری، ح.، مهدوی‌فر، غ. و س. رجبی جنبه‌دراز. ۱۳۹۳. اولویت‌بندی ایجاد تشکلهای آب‌بران کشاورزی در مناطق روستایی «مطالعه موردی: روستاهای دهستان سلامی شهرستان خواف». فصلنامه راهبردهای توسعه روستایی. ۱(۱): ۵۷-۶۹.
۸. تقی‌پور، م. عباسی، ع. و م. چیدری. ۱۳۹۴. شناسایی پیامدهای عضویت در تعاونی‌های آب‌بران «مورد مطالعه: دشت لیستر در شهرستان گچساران». تحقیقات اقتصاد و توسعه کشاورزی ایران، ۴۶(۱): ۱۳۰-۱۲۱.
۹. جعفری، ا. ع.، رستم زاده، ی.، ادهمی، س. و ا. مقتدی نژاد. ۱۳۹۵. پیاده سازی الگوی مدیریت مشارکتی آب با تأکید بر تشکلهای آب‌بران در زیر حوضه آبریز نازلوی دریاچه ارومیه. هشتمین کنفرانس بین‌المللی مدیریت جامع بحران.
۱۰. حسین‌پور، ز. و م. ح. منهاج. ۱۳۹۳. تعاونی آب‌بران و مدیریت مشارکتی منابع آب کشاورزی. اولین همایش ملی آب، انسان، زمین. اصفهان، شهریورماه.
۱۱. حسین‌پور، ز.، منهاج، م. ح. و م. کاوسی کلاشمی. ۱۳۹۴. ارزیابی عوامل مؤثر بر مشارکت اعضای تعاونی آب‌بران در مدیریت منابع آب کشاورزی. رشد و توسعه اقتصاد روستایی و کشاورزی. فصلنامه پژوهش‌های رشد و توسعه اقتصادی. ۲(۱): ۹۱-۱۰۴.
۱۲. حضرتی‌فر، ب. ۱۳۹۲. بررسی بکارگیری یک مدل ساده‌ی جمع‌آوری آب در زاهدان با تأکید بر استفاده از مشارکت مردمی، فصلنامه انجمن علمی پدافند غیرعامل ایران. ۲.
۱۳. حیدری ساربان، و. ۱۳۹۱. توانمندسازی گامی اساسی در جهت نیل به توسعه روستایی. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. ۲۷(۳): ۱۸۴۴۷-۱۸۴۲۷.
۱۴. خدابخشی، آ.، قاسمی، ج.، اسیلان، ک. س. و ا. قلی‌فر. ۱۳۹۰. عوامل مؤثر بر نگرش کشاورزان نسبت به مشارکت در تشکلهای آب‌بران «مطالعه موردی: بخش مرکزی شهرستان زنجان». مجله تحقیقات اقتصاد و توسعه کشاورزی ایران. ۲-۴۲(۳): ۴۵۳-۴۶۶.
۱۵. داوری‌دهکردی، ف. ا.، بقایی، ح.، پروین، ا.، سروستانی، م. و کردانی، م. ۱۳۹۲. تبیین ضرورت ایجاد تشکلهای آب‌بران و انتقال مدیریت به آنها در پروژه‌های منابع آب. مهندسی عمران و توسعه پایدار با محوریت کاهش خطرپذیری در بلایای طبیعی. موسسه آموزش عالی خاوران.
۱۶. رشوند، ا.، میردامادی، س. م. و لشگرآرا، ف. ۱۳۹۷. بررسی عوامل مؤثر بر موفقیت تشکلهای آب‌بران شبکه آبیاری دشت قزوین. پژوهش‌های ترویج و آموزش کشاورزی. ۱۱(۳): ۲۱-۲۸.
۱۷. سجاسی‌قیداری، ح.، مهدوی‌فر، غ. و س. رجبی جنبه‌دراز. ۱۳۹۳. اولویت‌بندی ایجاد تشکلهای آب‌بران کشاورزی در مناطق روستایی (مطالعه موردی: روستاهای دهستان سلامی شهرستان خواف). فصلنامه راهبردهای توسعه روستایی. ۱(۱): صص ۵۷-۶۹.
۱۸. سروستانی، م.، کردانی، م.، گلابی، م. و ل. بقایی. ۱۳۹۰. نگرشی بر توانمندی‌های تشکلهای آب‌بران در ارتقا مدیریت پروژه‌های منابع آب. تجربیات سستی در زمینه مشارکت جامعه در مدیریت منابع آب. ۴-۲ اسفندماه.

۱۹. شاه‌قلیان، ک. و ش. نادری. ۱۳۹۶. ارائه الگوی توانمندسازی کارکنان در صنعت خودروسازی، مجله مدیریت توسعه و تحول. ۳۰: ۶۳-۵۷.
۲۰. شاه‌ولی، م. و ح. قیصاری. ۱۳۹۰. تعیین توانمندی زیست محیطی کشاورزان عضو تعاونی‌های تولید روستایی و عوامل موثر بر آن در استان فارس. فصلنامه روستا و توسعه. ۱۴(۲): ۵۱-۳۱.
۲۱. شکری، ز.، شاهنظری، ع. و م. ضیاءتباراحمدی. ۱۳۹۳. شناسایی و تحلیل عوامل مؤثر بر موفقیت تشکل‌های آب‌بران در پروژه مدیریت جامع آب و خاک البرز. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. ۲۸(۱): ۲۵۰-۲۴۱.
۲۲. صبوری، ف.، رضایی مقدم، ک. و م. منتی‌زاده. ۱۳۹۳. بررسی وضعیت سرمایه اجتماعی در بین کشاورزان عضو و غیر عضو تشکل‌های کشاورزی: مطالعه موردی کشاورزان شهرستان گرمسار. تعاون و کشاورزی. ۳(۱۱): صص ۹۵-۱۱۷.
۲۳. عباسی، ا. ۱۳۹۶. نقش و جایگاه تشکل‌ها در مدیریت نظام بهره‌برداری آب کشاورزی. سومین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه.
۲۴. عربی، ر.، میرک‌زاده، ع. ا. و زرافشانی، ک. ۱۳۹۳. تحلیل عوامل بازدارنده انتقال مدیریت شبکه‌ی آبیاری به بهره‌برداران: مورد مطالعه دهستان میان‌در بند، شهرستان کرمانشاه. راهبردهای توسعه روستایی. ۱(۴): ۱۳۲-۱۱۹.
۲۵. عطایی، پ. و ن. ایزدی. ۱۳۹۳. عوامل تأثیرگذار بر تمایل کشاورزان به ایجاد تشکل‌های آب‌بران. تحقیقات اقتصاد و توسعه کشاورزی ایران. ۴۵(۲): ۲۶۹-۲۷۹.
۲۶. عیسی‌نژاد، ر.، شیرین‌زاده، ق.، ساعی مهر، م. و م. دست‌نشان. ۱۳۹۳. بررسی رابطه توانمندسازی روان-شناختی اعضای تعاونی‌های آب‌بران با تمایل به پذیرش مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی سد گلابر. کنفرانس بین‌المللی یافته‌های نوین در علوم کشاورزی، منابع طبیعی و محیط زیست.
۲۷. عیدی، س.، سعیدی، ح. و حسینی‌نیا، غ. ۱۳۹۱. سنجش عوامل مؤثر بر میزان موفقیت تعاونی‌های برتر در شهرستان‌های استان چهارمحال و بختیاری. برنامه ریزی منطقه‌ای، ۲(۷): ۳۹-۵۱.
۲۸. غنیان، م.، برادران، م.، میرزایی، ع.، سلیمانی‌هارونی، خ. و س. پاشا. ۱۳۹۲. مدیریت مشارکتی منابع آب کشاورزی و مؤلفه‌های مؤثر بر آن مطالعه استان در خوزستان. مجله پژوهش آب در کشاورزی. ۲۷(۲).
۲۹. قربانی، م.، عوض‌پور، ل. و س. راسخی. ۱۳۹۵. تحلیل سرمایه اجتماعی شبکه زنان روستایی در راستای توانمندسازی جوامع محلی. مطالعات و تحقیقات اجتماعی در ایران. ۵(۲): ۲۹۴-۲۷۳.
۳۰. قمرنیا، ه. و م. بصیری. ۱۳۹۵. عوامل مؤثر بر عدم موفقیت تشکیل تعاونی آب‌بران (مطالعه موردی: طرح باووسی سرپل ذهاب). ششمین کنفرانس ملی مدیریت منابع آب ایران با رویکرد: پیوند اکولوژیکی با چرخه آب برای پایداری سرزمین. دانشگاه کردستان، ۱-۳ اردیبهشت ماه.
۳۱. کردانی، م.، شبه، م.، بقایی، ح. و م. سروستانی. ۱۳۹۴. تبیین ضرورت ایجاد تشکل‌های آب‌بران و انتقال مدیریت به آن‌ها در پروژه‌های منابع آب. اولین همایش ملی بررسی ابعاد فنی، اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی طرح احیا ۵۵۰ هزار هکتاری اراضی خوزستان و ایلام.
۳۲. محمدزاده، ل.، حیدری، م. و ح. صدیقی. ۱۳۹۲. نقش مدیریت یکپارچه و مشارکتی منابع آب در بخش کشاورزی. اولین همایش ملی توسعه پایدار کشاورزی و محیط زیست سالم. ۲۱ شهریور.

۳۳. میرزایی، آر. میردامادی، س. م. و س. م. حسینی. ۱۳۹۰. تعاونی‌های آب‌بران رویکردی نوین در مدیریت مشارکتی آبیاری. فصلنامه نظام مهندسی کشاورزی و منابع طبیعی. ۷(۲۷): ۱۸-۲۲.
۳۴. ناصری، م.، فرهادیان، ه.، عباسی، ع. ف. و خسروانی. ۱۳۹۴. نقش شرکت‌های سهامی زراعی در بهبود شاخص‌های توانمندسازی کشاورزان عضو: مطالعه موردی جنوب استان خراسان جنوبی. فصلنامه روستا و توسعه. ۱۸ (۲): ۳۹-۶۳.
۳۵. نجفی، ن.، خسروی‌پور، ب.، غنیان، م.، برادران، م. و ع. دحیماوی. ۱۳۹۲. شناسایی عوامل بازدارنده موفقیت تشکلهای آب‌بران از دیدگاه بهره‌برداران حوزه‌های کرخه شمالی و جنوبی استان خوزستان. پژوهش‌های روستایی. ۴(۱): ۱۶۵-۱۸۸.
۳۶. وثوقی، م. و س. حبیبی. ۱۳۹۳. دانش بومی، گامی به سوی بومی‌سازی توسعه‌ی روستایی و توانمندسازی روستاییان. فصلنامه مطالعات توسعه اجتماعی - فرهنگی. ۲ (۴): ۹-۲۶.
37. Ababneh, Z. and Al Adwan, A. (2012). Water users association in the Jordan vally. Sustianable Water Integrated Management (SWIM) Presentation. Available at:<http://www.swim-sm.eu/index.Php?option=com_Phocadownload & view=category&id=11%3Awuas&Itemid=Fr> [access September 2012].
38. Ballester, A. and Mott Lacroix, K. E. (2016). Public Participation in Water Planning in the Ebro River Basin (Spain) and Tucson Basin (U.S., Arizona): Impact on Water Policy and Adaptive Capacity Building.
39. GTZ. (2010). Water User Associations (WUA): The story of participative irrigation management in the Jordan Valley. Amman: GTZ.
40. Gunchinmaa, T. Yakubov, M. (2010). Institutions and transition: does a better institutional environment make water users association more effective in central Asian? Water Policy, 12(2), 165-185.
41. Facon, T. (2002). Downstream of irrigation water pricing—the infrastructure design and operational management considerations. Paper presented at the conference, “Irrigation Water Policies: Micro and Macro Considerations” held in Agadir, Morocco, 15-17 June 2002.
42. Hassabou, Abdel Hakim M. El-Gafy, Inas K. (2007). Assessment Indicators for Water Users’ Associations in Egypt. E-Water, Official Publication of the European Water Association (EWA).
43. Innocent, Y. & J. O, A. (2014). Farmer’s cooperatives and agricultural development in kwali area council federal capital territory Abuja, Nigeria. International Journal of humanities and social science. 7 (1).
44. Kadibeyoglu, Z & Ozertan, G. (2011). Users’ perceptions of water user associations: Evidence from cses in Turkey. Working Papers from Bogazici University, Development of Economics.
45. Mishra, A. K. and V.P, Singh. (2010). A review of drought concepts. Journal of Hydrology. 391(2010): 202-216.
46. Nazari, M. V., Abadi, A. and Goudarzvand Chegini, M. (2013). Process of employee empowerment (concepts and dimensions). 2013. Kuwaait Chapter of Arabian Journal of Business and Management Review. 2(11).
47. Nxumalo, K. K. S. and Oladele, O. I. (2013). Factors affecting farmer’s participation in agricultural programme in Zululand district, kwazulu natal province, South Africa. 2013. 34(1): 83-88.
48. Omid, M. H., and Fami, H. (2011). Factors influencing the Success of Water User Assosiation in Iran: A Cace of Mogan Tajan and Varamin. Journal of Agriculture Science and Technology, 14 (1): 27-36.
49. Sheikh, M. J., Redzuan, M. B., Abu Samah, A. and Ahmad, N. 2014. Factors influencing farmer’s participation in water management: A community development perspective. IOSR Journal of humanities and social science. 19 (11): 59-63.

50. Phuntha Vongsa, Kh. Boonthai Iwwai, CH. and Kaewjampa, N. (2014). International Journal of Environmental and Rural Development. 2-5.
51. Yakubov, M. (2011). Assessing irrigation Performance from the farmer's perspective: a qualitative study. Irrigation and Drainage (published online). DoI: 10.1002/ird. 649
52. Zhang, L. Heerink, N. Dries, L. Shi, X. (2013). Water Users Associations and Irrigation Water Productivity in Northern China. Ecological Economics, 95, 128–136.

بهره‌وری آب گندم در ایران و مقایسه آن با مقادیر چند کشور

نادر حیدری^۱

دانشیار پژوهش مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی؛ سازمان تحقیقات، آموزش، و ترویج کشاورزی؛ کرج.

nrheydari@yahoo.com

دریافت: مهر ۱۴۰۰ و پذیرش: اسفند ۱۴۰۰

چکیده

گندم در کشور و حتی در جهان محصولی استراتژیک محسوب شده و سطح زیر کشت زیادی (تقریباً ۵۰٪ اراضی تحت کشت کشور) را به خود اختصاص می‌دهد. هدف اصلی از این بررسی، مرور و تحلیلی بر وضعیت بهره‌وری آب گندم کشور و مقایسه مقادیر آن با مقادیر جهانی بود. برای این منظور با گردآوری و مرور منابع علمی کشوری و بین‌المللی مقادیر گزارش شده برای بهره‌وری آب گندم (در سطوح کلان کشور، حوضه آبریز و استانی)، جمع‌بندی‌ها، محاسبات، تجزیه و تحلیل‌ها، و نتیجه‌گیری‌های لازم به عمل آمد. بر اساس نتایج، دامنه تغییرات بهره‌وری آب گندم در سطح کشور و جهان بسیار وسیع بوده (به ترتیب ۰/۲-۰/۲۵ و ۰/۳-۰/۹ کیلوگرم بر مترمکعب) و بسته به شرایطی نظیر مناطق جغرافیایی، آب و خاک، سیستم‌های مختلف آبیاری، اقلیم و غیره تغییرات زیادی دارد. بهره‌وری آب گندم آبی کشور (در مقیاس ملی) برابر ۰/۸۷ کیلوگرم بر مترمکعب برآورد می‌گردد که در مقایسه با اعداد جهانی در دامنه متوسط قرار می‌گیرد. همچنین، بر اساس مقادیر بهره‌وری آب گزارش شده در مقیاس استانی، متوسط بهره‌وری آب گندم در کشور برابر ۰/۷۵ کیلوگرم بر مترمکعب بوده که مجدداً در مقایسه با اعداد جهانی در حد وسط (رو به پائین) قرار دارد. با مقایسه میانگین بهره‌وری آب گندم در کشور (۰/۷۵ کیلوگرم بر مترمکعب و مقایسه آن با میانگین بهره‌وری آب گندم ۱۰ کشور عمده تولیدکننده گندم جهان (۰/۹۳ کیلوگرم بر مترمکعب)، بهره‌وری آب گندم کشور حدود ۲۵٪ کمتر از متوسط این کشورها می‌باشد. همچنین متوسط مقیاس ملی (برای کشور ایران) و جهانی این شاخص به ترتیب ۰/۹۳ و ۱/۱ کیلوگرم بر مترمکعب است. لذا مقدار شاخص بهره‌وری آب گندم کشور نسبت به متوسط جهانی خیلی وضعیت نامساعدی ندارد و فاصله نسبتاً کمی (۲۲٪) برای افزایش آن تا حد متوسط جهانی وجود دارد. ولی فاصله آن تا کشورهای پیشرو و با مقادیر بالای بهره‌وری آب گندم (صرفنظر از اهمیت و وسعت کشت گندم در آنها) (نظیر اکثر کشورهای اروپای غربی، آفریقای جنوبی، و مصر در خاورمیانه) (که تقریباً ۱/۴ کیلوگرم بر مترمکعب است)، فاصله نسبتاً زیاد (۵۰٪ کمتر) است. نتیجه‌گیری این است که دامنه تغییرات بهره‌وری آب گندم در استان‌ها و مناطق مختلف کشور زیاد است، همچنین امکان زیادی برای افزایش آن در مناطق مستعد حتی تا دو برابر مقدار فعلی وجود دارد، که با برنامه ریزی‌ها و سرمایه‌گذاری‌های لازم در میان‌مدت قابل حصول خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: دامنه تغییرات بهره‌وری آب گندم، عملکرد گندم، بهره‌وری آب استان

^۱ - آدرس نویسنده مسئول: مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی؛ سازمان تحقیقات، آموزش، و ترویج کشاورزی؛ کرج.

مقدمه

در مناطقی که منابع آب کمیاب‌تر از زمین است، بهبود شاخص فیزیکی بهره‌وری آب (کیلوگرم محصول تولیدشده به ازای واحد آب مصرفی) چارچوب مناسبی را برای تجزیه و تحلیل افزایش تولید محصولات و صرفه‌جویی آب در کشاورزی فاریاب ارائه می‌نماید (وندم و همکاران، ۲۰۰۶).

در شرایط تنش آبی حاکم بر کشور که برون‌رفت از آن در اولویت اهداف ملی کشور قرار دارد، ارتقاء بهره‌وری آب در بخش کشاورزی که عمده‌ترین مصرف‌کننده منابع آب کشور می‌باشد، ضروری است (کشاورز و همکاران، ۲۰۰۵).

مزیت ارتقاء بهره‌وری آب در بخش کشاورزی نسبت به سایر برنامه‌های حل بحران آب نظیر تعادل بخشی منابع آب زیرزمینی، تأمین منابع آب جدید و حتی بازچرخانی آب عبارت از امکان پذیر بودن آن، وجود راهکارهای سهل‌الوصول، هزینه کمتر، درآمد بیشتر، مشاهده سریع آثار اقدامات، رونق بنیادین بخش کشاورزی، تقویت پایداری بنگاه‌های تولیدی، امکان ایجاد شرایط مناسب برای سرمایه‌گذاری و رونق اشتغال، می‌باشد (معاونت امور زراعت، ۱۳۹۶).

گندم به عنوان محصول محوری و کلیدی کشاورزی جایگاه ویژه‌ای در تولید و مصرف مواد غذایی ملل جهان دارد. این محصول از جمله محصولات راهبردی غذایی در سطح جهان است که تولید و صادرات آن اهمیت ویژه‌ای برای کشورها دارد و حمایت‌های اساسی دولت‌ها معطوف این محصول راهبردی است. در ایران هم با توجه به اهمیت گندم در سفره غذایی مردم، این محصول همواره از اهمیت فراوانی در سیاست‌گذاری‌ها و جهت‌گیری‌های دولت‌ها و متولیان بخش کشاورزی برخوردار بوده است (میرباقری و همکاران، ۱۳۹۵). لذا سیاست خودکفایی (در چند سال اخیر با گذار سیاستی به واژه خوداتکایی) در تولید گندم از مهم‌ترین اهداف اقتصادی کشور طی سال‌های اخیر بوده است. از همین رو

با توجه به نقش گندم در سبد مصرفی خانوار و اهمیت آن در تأمین امنیت غذایی کشور، در قانون تضمین خرید محصولات کشاورزی که سال ۱۳۶۸ به تصویب رسید، حمایت از تولید آن مورد توجه قرار گرفت و به دولت تکلیف شد. در همین ارتباط بررسی آمارها نشان می‌دهد که طی برنامه‌های پنج ساله توسعه اول تا چهارم به‌طور متوسط بیشترین میزان تولید و سطح زیر کشت گندم مربوط به سه سال اول برنامه چهارم توسعه بوده است (احمدوند و نجف‌پور، ۱۳۸۹).

گندم از نظر تولید و سطح زیر کشت مهم‌ترین محصول کشاورزی ایران است. در حال حاضر این محصول استراتژیک در همه گستره کشور امکان کشت دارد و در همه استان‌ها تولید می‌شود (میرباقری و همکاران، ۱۳۹۵). با این حال علیرغم بهره‌مندی از استعدادها و ظرفیت‌های بالقوه کشور، میزان واردات این محصول به کشور هنوز نسبتاً زیاد است. به عنوان نمونه ضریب خودکفایی گندم طی سال‌های ۱۳۸۷ الی ۱۳۹۲ نوسانات زیادی داشته و متوسط آن طی این دوره برابر ۷۵ درصد بوده است (محمدجانی و یزدانیان، ۱۳۹۳).

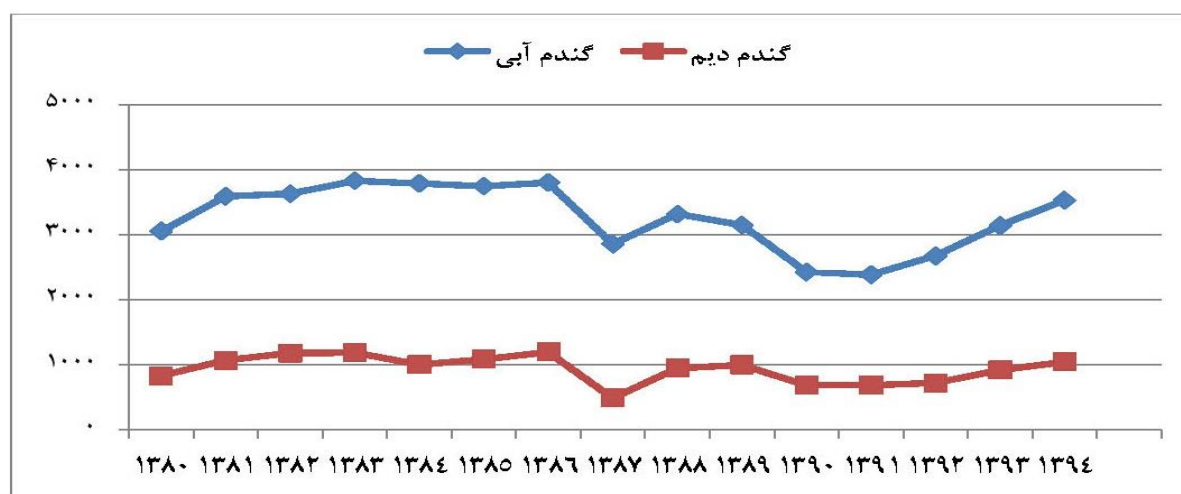
از ابعاد جهانی، اتحادیه اروپا با تولید بیش از ۱۵۶ میلیون تن گندم در سال ۲۰۱۵ بیشترین میزان تولید در دنیا را به خود تخصیص داده است و کشورهایی مانند چین و هند به ترتیب با تولید ۱۲۶ و ۹۶ میلیون تن رده‌های بعدی را به خود اختصاص داده‌اند. در بازه زمانی ۱۵ ساله اخیر (سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۵ میلادی) نیز اتحادیه اروپا با ۱۳۵ میلیون تن تولید سالیانه، بزرگ‌ترین تولیدکننده این محصول بوده است (میرباقری و همکاران، ۱۳۹۵).

طی سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۴ به‌طور متوسط سالیانه ۸/۰ میلیون تن گندم آبی و ۳/۷ میلیون تن گندم دیم در کشور تولیدشده است که بیانگر تولید متوسط سالانه‌ای برابر ۱۱/۷ میلیون تن گندم در کشور است. همچنین میانگین عملکرد کشت آبی گندم در طی دوره مذکور حدوداً ۳۲۶۰ کیلوگرم در هکتار و میانگین

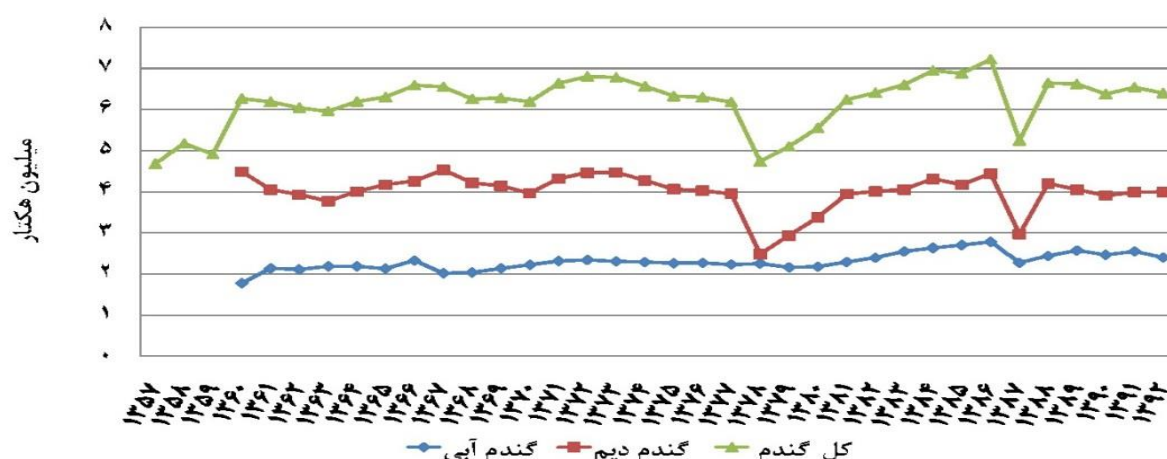
هکتار در سال ۱۳۵۷ با متوسط نرخ رشد سالانه ۰/۹ درصد به ۶/۴ میلیون هکتار در سال ۱۳۹۲ رسیده و متوسط نرخ رشد سالانه نظیر برای سطح برداشت گندم آبی ۰/۹۴ درصد و گندم دیم ۰/۳۶ درصد بوده است (احمدی و همکاران، ۱۳۹۴). این امر حاکی از آن است که رشد سطح برداشت گندم آبی در طی این دوره غالب بوده است و سطح برداشت گندم دیم تغییرات زیادی نداشته است.

عملکرد کشت گندم دیم در همین بازه زمانی ۹۳۷ کیلوگرم در هکتار بوده است (میرباقری و همکاران، ۱۳۹۵) (شکل ۱).

به همین ترتیب بررسی آمار سطح برداشت گندم کشور طی سال‌های ۱۳۵۷ لغایت ۱۳۹۲ حاکی از آن است که متوسط سطح برداشت گندم طی این دوره ۳۶ ساله ۶/۲ میلیون هکتار (آبی ۲/۲ و دیم ۴/۰ میلیون هکتار) می‌باشد (شکل ۲). همچنین براساس شکل ۲، سطح برداشت کل گندم (آبی بعلاوه دیم) از ۴/۶۸ میلیون



شکل ۱- نمودار تغییرات عملکرد گندم آبی و دیم کشور (تن در هکتار) در بازه زمانی ۱۵ ساله (۱۳۸۰-۱۳۹۴) (میرباقری و همکاران، ۱۳۹۵)



شکل ۲- نمودار تغییرات سطح برداشت گندم کشور در بازه زمانی ۳۶ ساله (۱۳۵۷-۱۳۹۲) (احمدی و همکاران، ۱۳۹۴)

در سال ۱۳۸۷ به دلیل خشک سالی افت زیادی نیز نموده است. ولی عملکرد گندم آبی با وجود نوسانات زیاد، سیر نسبتاً صعودی داشته و در این بازه عملکرد آن تقریباً ۵۰۰

با مشاهده شکل‌های ۱ و ۲ و آمار و ارقام ارائه شده فوق، می‌توان نتیجه‌گیری نمود که عملکرد گندم دیم در بازه زمانی ارائه شده تغییرات محسوسی نداشته و

کیلوگرم در هکتار افزایش داشته است. همچنین علیرغم رشد مستمر ولی نسبتاً پائین سطح زیر کشت گندم (به‌خصوص گندم دیم) در کشور، رشد تولید در گندم آبی محسوس بوده که به‌طور عمده ناشی از بهبود عملکرد محصول بوده ولی رشد ناچیز در تولید گندم دیم در سالیان متوالی (با توجه به نرخ رشد بسیار ناچیز سطح زیر کشت آن) صرفاً به صورت تصادفی و به‌طور عمده ناشی از شرایط مطلوب بارش (وقوع ترسالی‌ها) در بعضی سال‌ها بوده است.

به‌هر حال مطالعات مختلف حکایت از آن دارند که هنوز شکاف و خلأ عملکرد (تولید فعلی تا پتانسیل) گندم زیاد است و بهره‌وری در تولید از جمله در بهره‌وری آب این محصول، علیرغم راهبردی بودن آن، نسبتاً پائین می‌باشد که در ادامه در خصوص بحث بهره‌وری آب آن تشریح و بحث لازم شده است.

بر اساس اطلاعات مرکز ملی مطالعات راهبردی کشاورزی و آب اتاق بازرگانی ایران، در سال ۱۳۶۸ و هم‌زمان با آغاز طرح خودکفایی گندم، بهره‌وری آب برای این محصول تنها ۰/۳۰ کیلوگرم به ازای مصرف هر مترمکعب آب بود. این رقم در سال ۱۳۷۷ به ۰/۵۳ و در سال زراعی ۸۴-۱۳۸۳ (سال خودکفایی گندم) به ۰/۶۴ کیلوگرم بر مترمکعب رسید. در سال زراعی ۱۳۹۲-۱۳۹۱ رقم بهره‌وری آب گندم با نزولی فاحش به ۰/۴۰ و در سال ۱۳۹۵ که بار دیگر شاهد خودکفایی در این محصول استراتژیک بودیم به ۰/۷۵ کیلوگرم بر مترمکعب رسید که رکوردی در نوع خود بود و نسبت به سال اجرایی طرح رشد بیش از ۲/۵ برابری را نشان می‌دهد. البته مقرر شده بود که طی برنامه ششم توسعه، به رکورد تولید یک کیلوگرم گندم به ازای مصرف هر مترمکعب آب دست یافته شود (مرکز ملی مطالعات راهبردی کشاورزی و آب، ۱۳۹۶).

بر اساس اظهارات مسئولین وزارت جهاد کشاورزی، اگر خودکفایی در محصولات کشاورزی با ارتقای بهره‌وری آب حاصل شود ارزشمند است، اما دستیابی به خودکفایی محصولات به هر قیمتی پایدار نیست. به‌عنوان نمونه بر اساس اظهارات معاون وقت امور زراعت وزارت جهاد کشاورزی در سال ۱۳۹۶، خط قرمز این وزارت در دستیابی به خودکفایی در هر محصول، ارتقای بهره‌وری آب در یک مدل توسعه پایدار است^۱.

با توجه به مطالب بالا می‌توان دریافت که شناخت مقدار فعلی (وضع موجود) بهره‌وری آب گندم در مقایسه با مقدار آن در سایر نقاط جهان (با تأکید بر شناسایی عوامل کاهنده و نامطلوب آن)، با توجه به آنکه گندم محصولی اساسی و راهبردی در سیاست‌های تولید محصولات غذایی کشور شناخته شده است، از اهمیت خاصی برای سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی برای ارتقاء آن به‌منظور دستیابی به امنیت غذایی از منابع آب محدود کشور برخوردار است. لذا هدف از این مقاله مرور، جمع‌بندی و تحلیل نتایج تحقیقات و مطالعات انجام‌شده (ضمن انجام محاسبات لازم و مرتبط در مقادیر و نتایج) در زمینه تعیین مقدار بهره‌وری آب گندم در ایران و مقایسه آن با تعدادی از مناطق مختلف جهان است.

وضعیت بهره‌وری آب گندم در کشور

بهره‌وری آب گندم در مقیاس بزرگ

در جدول ۱ خلاصه نتایج مقادیر بهره‌وری آب گندم در مقیاس بزرگ (ملی، حوضه آبریز و قطب‌های عمده تولیدکننده) کشور ارائه شده است.

بهره‌وری آب گندم در سطح استانی

در جدول ۲، خلاصه نتایج مقادیر بهره‌وری آب گندم در مقیاس استانی و به تفکیک استان‌های مختلف کشور ارائه شده است.

جدول ۱- خلاصه نتایج مقادیر بهره‌وری آب گندم کشور در مقیاس بزرگ

مقیاس (ملی، حوضه آبریز، مناطق عمده)	بهره‌وری آب فیزیکی (Kg/m ³)	توضیحات	رفرنس
ملی	۰/۳۰	سال ۱۳۶۸	مرکز ملی مطالعات راهبردی کشاورزی و آب (۱۳۹۶)
	۰/۵۳	سال ۱۳۷۷	مرکز ملی مطالعات راهبردی کشاورزی و آب (۱۳۹۶)
	۰/۶۴	سال ۱۳۸۴	مرکز ملی مطالعات راهبردی کشاورزی و آب (۱۳۹۶)
	۰/۷۵	سال ۱۳۹۵	مرکز ملی مطالعات راهبردی کشاورزی و آب (۱۳۹۶)
	۱/۰۰	سال ۱۳۹۹ (پیش‌بینی مرکز به حصول این بهره‌وری آب گندم در انتهای برنامه ششم یعنی سال ۱۳۹۹)	مرکز ملی مطالعات راهبردی کشاورزی و آب (۱۳۹۶)
	۰/۵۴	----	بیات و بابازاده (۲۰۱۴)
	۱/۶۲	سال‌های ۱۹۹۳ تا ۲۰۰۶ در ایستگاه‌های تحقیقاتی ۱۳ استان کشور با استفاده از ۶۷ طرح تحقیقاتی	منتظر و کوثری (۲۰۰۷)
	۰/۱۵-۱/۵۵	گندم آبی (بر مبنای میزان عملکرد مدل شده (Y) و آب مصرفی (ET))	فرامرزی و همکاران (۲۰۱۰)، کشاورز (۱۳۹۶)
	۰/۲۸-۰/۷۵	گندم دیم (بر مبنای میزان عملکرد مدل شده (Y) و آب مصرفی (ET))	
	۰/۷۶	در سال ۱۳۹۵	کشاورز (۱۳۹۶)
حوضه آبریز (کرخه)	۰/۶۶	به ترتیب ۰/۴۵، ۰/۶۵، ۰/۶۷، ۰/۸۱ کیلوگرم بر مترمکعب در زیرحوضه‌های کشکان، گاماسیاب، سیمره و قره سو در بالادست حوضه و ۰/۸۵ کیلوگرم بر مترمکعب در مناطق جنوبی پائین دست حوضه	قریشی و همکاران (۲۰۰۹)
قطب‌های تولیدکننده	۰/۷۳	متوسط وزنی استان‌های کرمان، همدان، مغان، گلستان و خوزستان	حیدری (۱۳۹۰)

جدول ۲- خلاصه نتایج مقادیر بهره‌وری آب گندم استان‌های مختلف کشور

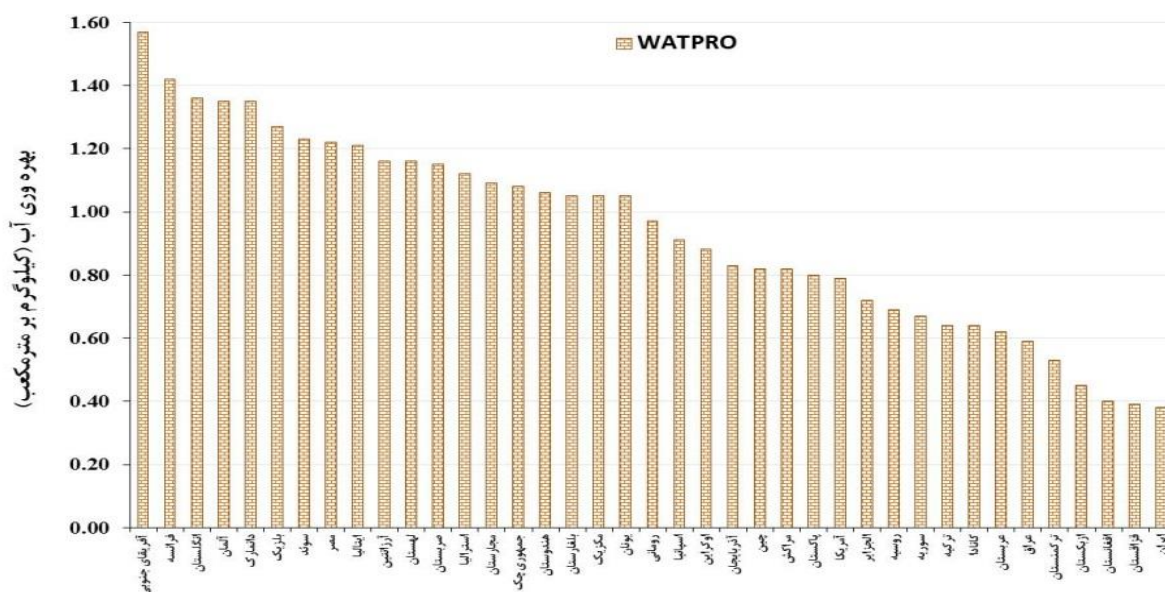
مقیاس استان	بهره‌وری فیزیکی آب (Kg/m ³)	توضیحات	رفرنس
اردبیل	۰/۸۹	با در نظر گرفتن عوامل تأثیرگذار (شوری آب آبیاری، شوری خاک و نوع رقم)	طاهری و همکاران (۱۳۹۹)
آذربایجان شرقی	۰/۷۵	-----	طاهری و همکاران (۱۳۹۹)
آذربایجان غربی	۰/۸۱	-----	طاهری و همکاران (۱۳۹۹)
اصفهان	۱/۳۷ ۰/۵۶	به ترتیب برای شهرستان‌های چادگان و خور و بیابانک (بر اساس آمار سال زراعی ۸۱-۸۰ الی ۹۰-۸۹)	رضایی‌زاد و همکاران (۱۳۹۳)
البرز	۲/۱ ۱/۵	حداکثر مقدار بهره‌وری بر مبنای آب آبیاری در کرج حداکثر مقدار بهره‌وری بر مبنای آب آبیاری+ بارش مؤثر در کرج	نخجوانی‌مقدم و همکاران (۱۳۹۶) نخجوانی‌مقدم و همکاران (۱۳۹۶)
ایلام	۰/۵۱	بر اساس محاسبه نیاز آبی (با کسر بارش مؤثر) و تقسیم آن بر متوسط راندمان آبیاری در استان	بیات و بابازاده (۲۰۱۴)
بوشهر	۰/۵۰	بر اساس محاسبه نیاز آبی (با کسر بارش مؤثر) و تقسیم آن بر متوسط راندمان آبیاری در استان	بیات و بابازاده (۲۰۱۴)
تهران	۰/۴۰	پائین‌ترین مقدار بهره‌وری آب گندم (۰/۳۰) کیلوگرم بر مترمکعب) در شهرستان دماوند	یوسفی و همکاران (۱۳۹۶)
جنوب استان کرمان (جیرفت)	۰/۵۰	مبتنی بر داده‌های ماهواره‌ای تحت عنوان WATPRO و در سال زراعی (۱۳۹۶-۱۳۹۵)	افشاری‌پور و همکاران (۱۳۹۸)
چهارمحال و بختیاری	۰/۳۴	در منطقه شهرکرد و بر اساس محاسبه نیاز آبی (با کسر بارش مؤثر) و تقسیم آن بر متوسط راندمان آبیاری در استان	بیات و بابازاده (۲۰۱۴)
خراسان جنوبی	۰/۲۵	بر اساس محاسبه نیاز آبی (با کسر بارش مؤثر) و تقسیم آن بر متوسط راندمان آبیاری در استان	بیات و بابازاده (۲۰۱۴)
خراسان شمالی	۰/۵۰	بر اساس محاسبه نیاز آبی (با کسر بارش مؤثر) و تقسیم آن بر متوسط راندمان آبیاری در استان	بیات و بابازاده (۲۰۱۴)
خراسان رضوی	۰/۳۸ ۰/۷۶ ۰/۴۴ ۰/۷۸	- به ترتیب در شهرستان چناران، تربت حیدریه و تربت جام و به ترتیب در سه مزرعه گندم با سامانه‌های قطره‌ای، بارانی و سطحی	نیری‌زی و حلمی فخرود (۱۳۸۳) طاهری و همکاران (۱۳۹۹)
	۱/۵ و ۱/۹	- حداکثر مقادیر بهره‌وری آب گندم بر مبنای آب آبیاری و آب آبیاری+ بارش مؤثر) در منطقه مشهد	نخجوانی‌مقدم و همکاران (۱۳۹۶)
خوزستان	۰/۹۸، ۱/۰۳ ۰/۴۴، ۰/۸۵	به ترتیب شبکه‌های آبیاری اوان، گتوند، شادگان در حوضه کرخه، و شبکه رام شیر در سال‌های زراعی ۸۵-۱۳۸۴ الی ۹۰-۱۳۸۹	مهتدی و همکاران (۱۳۹۶)
	۰/۷۳، ۰/۷۵ ۰/۵۱، ۰/۵۲، ۰/۶۳	به ترتیب شبکه‌های آبیاری کرخه، مارون، دز، شاوور و فجرجایزان در سال‌های زراعی ۸۵-۱۳۸۴ الی ۹۰-۱۳۸۹	مهتدی و همکاران (۱۳۹۶)
	۰/۷۶		طاهری و همکاران (۱۳۹۹)
	۱/۵۱	در بهبهان در سامانه آبیاری قطره‌ای	
	۰/۹۰	در بهبهان در سامانه آبیاری بارانی	سلامتی و همکاران (۱۳۹۹)
	۰/۸۷	در بهبهان در سامانه آبیاری سطحی	
	۲/۴۰	بر اساس محاسبه نیاز آبی (با کسر بارش مؤثر) و تقسیم آن بر متوسط راندمان آبیاری در استان	بیات و بابازاده (۲۰۱۴)

زنجان	۰/۴۳	بر اساس محاسبه نیاز آبی (با کسر بارش مؤثر) و تقسیم آن بر متوسط راندمان آبیاری در استان	بیات و بابازاده (۲۰۱۴)
سمنان	۰/۶۱	-----	طاهری و همکاران (۱۳۹۹)
فارس	۰/۶۹	-----	طاهری و همکاران (۱۳۹۹)
	۱/۴۰	-----	بهرامی و همکاران (۱۳۹۷)
قزوین	۰/۶۱-۲/۲	در سیستم‌های با آبیاری بارانی	غلامی و همکاران (۱۳۹۵) و کاویانی و همکاران (۲۰۱۱)
	۰/۴۳-۱/۲۵	در سیستم‌های با آبیاری سطحی	غلامی و همکاران (۱۳۹۵) و کاویانی و همکاران (۲۰۱۱)
	۰/۷۶ و ۰/۹۰	به ترتیب بر اساس نتایج حاصله از تصاویر ماهواره‌ای مودیس و با استفاده از داده‌های لایسیمیتری	کاویانی و همکاران (۲۰۱۱)
	۰/۷۸	-----	طاهری و همکاران، ۱۳۹۹
	۰/۵۸	بر اساس محاسبه نیاز آبی (با کسر بارش مؤثر) و تقسیم آن بر متوسط راندمان آبیاری در استان	بیات و بابازاده (۲۰۱۴)
قم	۰/۵۳	بر اساس محاسبه نیاز آبی (با کسر بارش مؤثر) و تقسیم آن بر متوسط راندمان آبیاری در استان	بیات و بابازاده (۲۰۱۴)
کردستان	۰/۶۵	بر اساس محاسبه نیاز آبی (با کسر بارش مؤثر) و تقسیم آن بر متوسط راندمان آبیاری در استان	بیات و بابازاده (۲۰۱۴)
کرمان	۰/۵۹	-----	طاهری و همکاران (۱۳۹۹)
	۰/۵۶	- در سامانه‌های آبیاری بارانی دوآب مرکزی	حیدری (۱۳۹۰)
	۰/۴۵	- متوسط استان	طاهری و همکاران (۱۳۹۹)
	۰/۵۹	- با در نظر گرفتن عوامل تأثیرگذار (شوری آب آبیاری، شوری خاک و نوع رقم)	طاهری و همکاران (۱۳۹۹)
کرمانشاه	۰/۲۸	گندم آبی منطقه کوزران در سال ۹۲-۹۳	خرمی‌وفا و همکاران (۱۳۹۵)
	۱/۰۲	-----	طاهری و همکاران (۱۳۹۹)
کهکیلویه و بویراحمد	۰/۵۴	بر اساس محاسبه نیاز آبی (با کسر بارش مؤثر) و تقسیم آن بر متوسط راندمان آبیاری در استان	بیات و بابازاده (۲۰۱۴)
گلستان	۱/۶۰	با در نظر گرفتن عوامل تأثیرگذار (شوری آب آبیاری، شوری خاک و نوع رقم)	طاهری و همکاران (۱۳۹۹)
گیلان	۰/۷۰	بر اساس محاسبه نیاز آبی (با کسر بارش مؤثر) و تقسیم آن بر متوسط راندمان آبیاری در استان	بیات و بابازاده (۲۰۱۴)
لرستان	۰/۶۷	گندم آبی در شهرستان الشتر	
	۱/۴۶	گندم آبی در شهرستان کوهدشت	یوسفی‌فرد و همکاران (۱۳۹۶)
	۱/۱۳-۲/۱۳	در مدیریت تک آبیاری در زمان کاشت برای ارقام گندم دیم	توکلی (۲۰۱۲)
مازندران	۱/۱۱	بر اساس محاسبه نیاز آبی (با کسر بارش مؤثر) و تقسیم آن بر متوسط راندمان آبیاری در استان	بیات و بابازاده (۲۰۱۴)
مرکزی	۰/۵۲	بر اساس محاسبه نیاز آبی (با کسر بارش مؤثر) و تقسیم آن بر متوسط راندمان آبیاری در استان	بیات و بابازاده (۲۰۱۴)
هرمزگان	۰/۶۱	بر اساس محاسبه نیاز آبی (با کسر بارش مؤثر) و تقسیم آن بر متوسط راندمان آبیاری در استان	بیات و بابازاده (۲۰۱۴)
همدان	۱/۱۸	در سامانه آبیاری سطحی	قاسمی نژاد رائینی و همکاران (۲۰۱۵)
	۰/۶۸		
	۱/۲۹	در سامانه آبیاری بارانی	سیدان و همکاران (۱۳۹۷)
	۰/۷۵		
	۰/۷۸		طاهری و همکاران (۱۳۹۹)
یزد	۰/۳۱	بر اساس محاسبه نیاز آبی (با کسر بارش مؤثر) و تقسیم آن بر متوسط راندمان آبیاری در استان	بیات و بابازاده (۲۰۱۴)

وضعیت بهره‌وری آب گندم در جهان

بر اساس متاآنالیز داده‌های جهانی ۳۰ سال اخیر حاصل از سنجش از دور و مزرعه‌ای سه غله آبی مهم ۳۱ کشور جهان (۱۴۸ مورد) یعنی گندم (۶۰ مورد)، ذرت و برنج؛ نقشه جهانی بهره‌وری آب این سه محصول تهیه شد. در تحقیق مذکور برای بهره‌وری آب گندم ۳ طبقه بهره‌وری کم ($\leq 0.75 \text{ kg/m}^3$)، متوسط ($0.75 < \text{kg/m}^3 < 1.10$) و زیاد ($\geq 1.10 \text{ kg/m}^3$) در نظر گرفته شده است. بر اساس این نقشه جهانی، کشورهای دارای بهره‌وری آب بالا شامل: چین، مصر، اسرائیل، مکزیک، هلند، ترکیه و آمریکا؛ کشورهای دارای بهره‌وری متوسط شامل: آرژانتین، استرالیا، بنگلادش، هندوستان، پاکستان، سوریه و ایران؛ و کشورهای دارای بهره‌وری پائین شامل: الجزایر، مراکش، نیجر و ازبکستان می‌باشند (فولی و همکاران، ۲۰۲۰).

بهره‌وری آب گندم کشورهای مختلف جهان (۳۹ کشور تولیدکننده گندم از جمله ایران) و حاصل از مدل‌سازی بر اساس مدل (زوارت و همکاران، ۲۰۱۰)، مدل LIU (لیو و همکاران، ۲۰۰۷) و آمار ملی AQUASTAT و (C&H) FAOSTAT (چا پاکین و هوکسترا، ۲۰۰۴) و بر اساس متوسط آمار تولید گندم طی سال‌های ۲۰۰۰ الی ۲۰۰۷ کشورها ارائه شد. نتایج حاصل از مدل‌های مختلف نزدیک به یکدیگر بوده و متوسط بهره‌وری آب گندم ۳۹ کشور برای مدل‌های WATPRO، LIU و C&H به ترتیب برابر ۰/۹۴، ۰/۸۳ و ۰/۸۷ کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشد. در شکل ۳ تغییرات بهره‌وری آب گندم کشورها، (صرفاً برای نتایج حاصل از مدل WATPRO) و به‌صورت نزولی نمایش داده شده است.



شکل ۳- تغییرات مقدار بهره‌وری آب ۳۹ کشور تولیدکننده گندم به‌صورت نزولی (زوارت و همکاران، ۲۰۱۰)

افغانستان، ازبکستان و ترکمنستان دارای کمترین مقدار بهره‌وری آب گندم می‌باشند. در جدول ۳ جمع‌بندی نتایج بهره‌وری آب گندم در سطوح مختلف جهانی (کل جهان، مناطق و کشورهای مختلف) ارائه شده است.

با مشاهده شکل ۳ مشاهده می‌گردد در بین ۳۹ کشور منتخب، کشورهای نظیر آفریقای جنوبی، فرانسه، انگلستان، آلمان، دانمارک، بلژیک، سوئد و مصر دارای بالاترین مقدار بهره‌وری آب گندم و ایران، قزاقستان،

جدول ۳- خلاصه نتایج مقادیر بهره‌وری آب گندم جهان

منبع	توضیحات	بهره‌وری فیزیکی آب (Kg/m ³)	جهان/منطقه /کشور
زوارت و باستیانس (۲۰۰۴)	در دامنه ۰/۶-۱/۷ کیلوگرم بر مترمکعب (سال اندازه‌گیری ۱۹۹۰) (برای ۱۳ کشور عمده تولیدکننده)	۱/۰۹	جهان
زوارت و همکاران (۲۰۱۰)	بر مبنای تبخیر-تعرق (WP _{ET}) بر اساس آزمایش‌های درون پلات‌های تحقیقاتی در مزرعه	۰/۲۰-۱/۵ ۰/۶-۱/۷ ۰/۸۶	
فولی و همکاران (۲۰۲۰)	سال ۱۹۹۸	۱/۰۴	
زوارت و باستیانس (۲۰۰۴)	سال ۱۹۹۰	۱/۳۳	شرق آسیا
فولی و همکاران (۲۰۲۰)	سال ۱۹۹۰	۱/۳۳	
فولی و همکاران (۲۰۲۰)	سال ۲۰۰۰	۱/۲۲	
زوارت و باستیانس (۲۰۰۴)	سال "میان" ۱۹۹۰	۰/۹۸	جنوب آسیا
فولی و همکاران (۲۰۲۰)	سال "میان" ۲۰۱۴	۰/۸۹	
زوارت و باستیانس (۲۰۰۴)	سال ۱۹۹۲	۱/۰۱	خاورمیانه
فولی و همکاران (۲۰۲۰)	سال ۱۹۹۲	۱/۰۱	
فولی و همکاران (۲۰۲۰)	سال ۱۹۹۴	۱/۱۹	
فولی و همکاران (۲۰۲۰)	سال ۱۹۹۴	۱/۲۸	آمریکای شمالی
زوارت و همکاران (۲۰۱۰)	بر اساس نتایج آزمایشات مزرعه‌ای	۰/۷۸	
سدراس و آنگوس، ۲۰۰۶		۰/۶۱	
فولی و همکاران (۲۰۲۰)	سال ۱۹۹۴	۰/۶۸	آفریقای شمالی
زوارت و باستیانس (۲۰۰۷)	بهره‌وری آب بر مبنای تبخیر و تعرق (WP _{ET})	۱/۳۷	منطقه یاکو (مکزیک)
زوارت و باستیانس (۲۰۰۷)	بهره‌وری آب بر مبنای تبخیر و تعرق (WP _{ET})	۱/۵۲	دره نیل (مصر)
زوارت و باستیانس (۲۰۰۷)	بهره‌وری آب بر مبنای تبخیر و تعرق (WP _{ET})	۱/۴۴	منطقه کینگ کالیفرنیا (آمریکا)
زوارت و باستیانس (۲۰۰۷)	بهره‌وری آب بر مبنای تبخیر و تعرق (WP _{ET})	۱/۳۹	منطقه اولدامت (هلند)
زوارت و همکاران (۲۰۱۰)	بر اساس نتایج آزمایشات مزرعه‌ای	۰/۸۴	فلات چین
سدراس و آنگوس (۲۰۰۶)		۰/۹۸	
زوارت و همکاران (۲۰۱۰)	بر اساس نتایج آزمایشات مزرعه‌ای	۰/۷۲	منطقه مدیترانه
سدراس و آنگوس (۲۰۰۶)		۰/۷۶	
زوارت و همکاران (۲۰۱۰)	بر اساس نتایج آزمایشات مزرعه‌ای	۱/۱۴	جنوب شرق استرالیا
سدراس و آنگوس (۲۰۰۶)		۰/۹۹	
زوارت و همکاران (۲۰۱۰)	بر مبنای تبخیر-تعرق (WP _{ET}) به ترتیب حاصل از مدل های WATPRO (Liu, Zwart et al., 2010), LIU (Liu, et al., 2007) (Chapagain and C&H, 2004) و (Hoekstra, 2004) (کشورهای استرالیا، کانادا، چین، فرانسه، آلمان، هندوستان، پاکستان، روسیه، ترکیه، و آمریکا)	۰/۸۳، ۰/۹۱، ۰/۹۳	کشورهای عمده تولیدکننده گندم (متوسط ۱۰ کشور تولیدکننده عمده)
فولی و همکاران (۲۰۲۰)	سال ۱۹۸۷	۱/۰۵	استرالیا
زوارت و همکاران (۲۰۱۰)	WP _{ET} به ترتیب حاصل از مدل‌های LIU, WATPRO و C&H	۰/۶۳، ۰/۶۵، ۱/۱۲	

چین	۰/۵۷-۱/۶۸	شمال غرب چین (گندم آبی)	فن و همکاران (۲۰۱۴)
	۰/۷۷-۱/۴۶	گندم آبی (آب آبیاری)	کانگ و همکاران (۲۰۰۲)
	۰/۷۳-۰/۹۳	گندم دیم	
	۱/۴۵، ۰/۷۹، ۰/۸۲	WP _{ET} به ترتیب حاصل از مدل های WATPRO، C&H و LIU	زوارت و همکاران (۲۰۱۰)
هندوستان	۱/۰۴	----	سینگ و همکاران (۲۰۰۶)؛ لیو و همکاران (۲۰۰۷)
	۱/۳۷	- شبکه آبیاری باکرا (بر مبنای آب مصرف شده توسط گیاه)	حسین و همکاران (۲۰۰۳)
	۱/۴۷	- شبکه آبیاری باکرا (بر مبنای آب منحرف شده و با در نظر گرفتن افت عملکرد ناشی از شوری آب آبیاری در سیستم تلفیقی کاربردی)	
	۱/۵۴	- بر مبنای تبخیر و تعرق (در مزارع کشاورزان)	وندم و همکاران (۲۰۰۶)
	۱/۰۴	- بر مبنای بیلان آب مزرعه	
	۱/۲۲	- برای کل منطقه سیسرا (مبتنی بر روش سنجش از دور)،	
	۰/۶۱، ۰/۸۹، ۱/۰۶	WP _{ET} به ترتیب حاصل از مدل های WATPRO، C&H و LIU	زوارت و همکاران (۲۰۱۰)
پاکستان	۱/۳۶	- شبکه آبیاری پنجاب (بر مبنای آب مصرف شده توسط گیاه)	حسین و همکاران (۲۰۰۳)
	۱/۱۱	- شبکه آبیاری پنجاب (بر مبنای آب منحرف شده یا به کار برده شده و با در نظر گرفتن افت عملکرد ناشی از شوری آب آبیاری در سیستم تلفیقی کاربردی)	
	۳/۹۵	- منطقه پنجاب در ارزیابی مزارع با آبیاری بارانی (بهره‌وری آب بر مبنای آب آبیاری و در ایستگاه تحقیقاتی)	کهلون و همکاران (۲۰۰۷)
	۰/۳۰، ۰/۹۱، ۰/۸۰	WP _{ET} به ترتیب حاصل از مدل های WATPRO، C&H و LIU	زوارت و همکاران (۲۰۱۰)
سوریه	۰/۶۰-۱/۵	قبل از جنگ داخلی این کشور	اویس (۱۹۹۷)
کانادا	۰/۶۷، ۰/۸۶، ۰/۶۴	WP _{ET} به ترتیب حاصل از مدل های WATPRO، C&H و LIU	زوارت و همکاران (۲۰۱۰)
فرانسه	۱/۱۲، ۱/۴۵، ۱/۴۲	WP _{ET} به ترتیب حاصل از مدل های WATPRO، C&H و LIU	زوارت و همکاران (۲۰۱۰)
آلمان	۱/۳۳، ۱/۴۷، ۱/۳۵	WP _{ET} به ترتیب حاصل از مدل های WATPRO، C&H و LIU	زوارت و همکاران (۲۰۱۰)
روسیه	۰/۴۲، ۰/۶۲، ۰/۶۹	WP _{ET} به ترتیب حاصل از مدل های WATPRO، C&H و LIU	زوارت و همکاران (۲۰۱۰)
ترکیه	۰/۶۵، ۰/۶۵، ۰/۶۴	WP _{ET} به ترتیب حاصل از مدل های WATPRO، C&H و LIU	زوارت و همکاران (۲۰۱۰)
آمریکا	۱/۱۸، ۰/۸۱، ۰/۷۹	WP _{ET} به ترتیب حاصل از مدل های WATPRO، C&H و LIU	زوارت و همکاران (۲۰۱۰)

مقایسه بهره‌وری آب گندم ایران با جهان

بر اساس مرور منابع علمی مختلف تشریح شده در بخش‌های قبلی و خلاصه نتایج حاصله از مطالعه و برآورد بهره‌وری آب فیزیکی گندم در کشور در سه سطح (مقیاس) ملی، حوضه آبریز، مناطق عمده تولیدکننده گندم (جدول ۱) و محلی (استانی) (جدول ۲) و همچنین نتایج جهانی (جدول ۳) مقایسه‌ها و تحلیل‌های زیر را می‌توان ارائه نمود.

مقایسه وضعیت بهره‌وری آب گندم کشور با مقادیر جهانی ارائه‌شده توسط فولی و همکاران (۲۰۲۰)، حاکی از آن است که بهره‌وری آب گندم کشور در بازه متوسط یعنی در دامنه ($1.10 \text{ kg/m}^3 > 0.75$) قرار دارد. ولی بر اساس زوآرت و همکاران (۲۰۱۰) ایران با بهره‌وری آب گندم برابر 0.38 کیلوگرم بر مترمکعب در انتهای لیست ۳۹ (رتبه ۳۹) کشور منتخب تولیدکننده گندم قرار دارد. البته بر اساس منابع LIU و C&H بهره‌وری آب گندم کشور در بین این کشورها به ترتیب برابر 0.56 (رتبه ۳۴) و 0.34 (رتبه ۳۳) کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشد که در مجموع حاکی از وضعیت نامناسب بهره‌وری آب گندم کشور در مقابل سایر کشورهای تولیدکننده گندم جهان (صرف‌نظر از سطح زیر کشت گندم کشورها و صرفاً بر مبنای مقدار بهره‌وری آب گندم تولیدی) است. همچنین بر اساس زوآرت و همکاران (۲۰۱۰)، بهره‌وری آب گندم کشور در مقایسه با تمامی کشورهای جهان (عرصه جهانی) در دامنه متوسط رو به پائین (حدود $0.4-0.8$ کیلوگرم بر مترمکعب) قرار دارد.

بر اساس ارقام ارائه شده در جدول ۱ (برای ارقام ملی و مقادیر ارائه‌شده برای سطوح حوضه‌ای و قطب‌های تولید، بهره‌وری آب گندم کشور برابر 0.87 کیلوگرم بر مترمکعب برآورد می‌شود که با دامنه ارائه‌شده توسط فولی و همکاران (۲۰۲۰) و زوآرت و همکاران (۲۰۱۰) حاصل از مدل LIU (لیو و همکاران، ۲۰۰۷) همخوانی نسبتاً مناسبی دارد. به همین ترتیب بر اساس ارقام بهره‌وری آب ارائه‌شده برای استان‌های مختلف (جدول ۲)، متوسط

بهره‌وری آب گندم در مقیاس استانی برابر 0.75 کیلوگرم بر مترمکعب محاسبه می‌شود که با برآورد حاصل از مقادیر کلان ملی نزدیک است. به‌هرحال بر اساس این نوع برآورد، مجدداً بهره‌وری آب گندم کشور در مقایسه با مقادیر جهانی در حد متوسط قرار می‌گیرد.

بحث و نتیجه‌گیری

در یک جمع‌بندی کلی می‌توان اظهار نمود که دامنه تغییرات مقدار بهره‌وری آب گندم در سطح کشور و جهان بسیار وسیع بوده و بسته به شرایط مناطق جغرافیایی، آب‌و‌خاک، سیستم‌های مختلف آبیاری و غیره تغییرات زیادی دارد. بر اساس مقادیر ارائه‌شده در جدول ۲، بهره‌وری آب گندم در کشور در بازه 0.25 تا 2.2 کیلوگرم بر مترمکعب تغییر می‌نماید. به همین دلیل میزان این شاخص در مناطق و کشورهای مختلف جهان نیز متغیر بوده و آن در دامنه $0.3-3.9$ کیلوگرم بر مترمکعب قرار دارد. بدیهی است که رسیدن به مقادیر حداکثر بهره‌وری آب در بازه‌های مذکور عملاً مشکل و آن‌ها در واقع سقف پتانسیل بهره‌وری آب این محصول به ترتیب در کشور و جهان می‌باشند.

با توجه به مقادیر متوسط بهره‌وری آب گندم کشورهای مختلف (جدول ۳) مشاهده می‌گردد که گندم محصولی است که اصولاً بهره‌وری آب آن پائین (به‌طور متوسط 0.90 Kg/m^3) است. به‌هرحال مقدار آن در بین کشورهای مختلف متفاوت بوده و اختلاف بهره‌وری آب در کشورهای دارای بهره‌وری بالا (نظیر فرانسه، آلمان و تا حدی آمریکا) و کشورهای دارای بهره‌وری آب پائین (نظیر هندوستان، پاکستان، روسیه، ترکیه، کانادا، چین و تا حدی استرالیا) حتی به دو برابر نیز می‌رسد.

با توجه به فراوانی مقادیر بهره‌وری آب ارائه‌شده برای داده‌های استانی (به‌طور متوسط 0.75 کیلوگرم بر مترمکعب) و مقایسه آن با متوسط بهره‌وری آب گندم در ۱۰ کشور عمده تولیدکننده یعنی هند، چین و آمریکا، استرالیا، کانادا، ترکیه، آلمان، فرانسه، پاکستان و روسیه (به‌طور متوسط 0.93 کیلوگرم بر مترمکعب)، بهره‌وری

آب گندم کشور حدود ۲۵ درصد پائین تر از مقدار جهانی آن برای کشورهای مذکور است که می‌توان امید داشت با برنامه‌ریزی‌ها و سرمایه‌گذاری‌های لازم آن حداقل تا این سطح ارتقاء یابد. همچنین متوسط مقیاس ملی (برای کشور ایران) و جهانی این شاخص به ترتیب در حدود ۰/۹، ۱/۱ کیلوگرم بر مترمکعب است. لذا بر اساس مقادیر ارائه‌شده در این گزارش مقدار شاخص بهره‌وری آب گندم کشور نسبت به متوسط جهانی خیلی وضعیت نامساعدی ندارد و فاصله کمی (۲۲ درصد) برای افزایش آن تا متوسط جهانی وجود دارد. ولی فاصله آن تا کشورهای پیشرو و با مقادیر بالای بهره‌وری آب گندم (صرف‌نظر از اهمیت و وسعت کشت گندم در آن‌ها) (نظیر اکثر کشورهای اروپای غربی، آفریقای جنوبی و مصر در خاورمیانه) (تقریباً ۱/۴ کیلوگرم بر مترمکعب)، نسبتاً زیاد (۵۵ درصد) است.

بهر حال بر اساس نقشه تغییرات مکانی ارائه‌شده در تحقیق جدید طاهری و همکاران (۱۳۹۹) بخش عمده‌ای از مناطق مستعد کشت گندم در سطح کشور دارای شاخص بهره‌وری آب پایین‌تر از ۱/۰ کیلوگرم بر مترمکعب بوده و مقادیر بالاتر به‌طور عمده در استان‌های گلستان و کرمانشاه و در دامنه ۱/۱ تا ۲/۵۸ کیلوگرم بر مترمکعب قرار دارد.

وجود انحراف معیار بالا در عملکرد گندم و شاخص بهره‌وری آب آن، نشان می‌دهد که قابلیت افزایش و بهبود عملکرد و بهره‌وری آب گندم در همه استان‌ها وجود دارد. به عبارتی در برخی مناطق با مجموع اقدامات مدیریتی می‌توان شاخص بهره‌وری آب را بهبود بخشید. این اقدامات می‌تواند در مباحثی همچون رعایت تقویم زراعی، انتخاب ارقام مناسب، توصیه کودی مناسب و متناسب با شرایط خاک باشد (طاهری و همکاران، ۱۳۹۹). در مجموع توجه و تمرکز بر ارتقاء بهره‌وری در تولید گندم و به‌خصوص بهره‌وری آب گندم، از لحاظ تأمین نیاز گندم کشور از منابع آب محدود سرزمینی از اهمیت خاصی برخوردار است. به‌خصوص آنکه واردات

گندم از کشورهای تولیدکننده اصلی گندم در سال‌های آینده با چالش‌های جدی مواجه خواهد شد.

تحقیقات به‌عمل‌آمده نشان می‌دهد که با بهبود بهره‌وری آب در اراضی آبی و دیم، کشور قادر خواهد بود علاوه بر افزایش یا ثبات در تولید گندم و سایر محصولات کشاورزی با منابع آب تخصیص داده‌شده به بخش کشاورزی، برای نیازهای محیط‌زیست، صنعت و مصارف خانگی به‌اندازه کافی آب در اختیار کشور باشد؛ اما این راه حل نیاز به اصلاحات اداری و مدیریتی و سرمایه‌گذاری‌های عمده در تحقیقات، فناوری، امور زیربنایی و مواردی از این‌دست دارد. به‌رحال با توجه به آنکه گندم در کشور به صورت زمستانه کشت می‌شود و بخش عمده‌ای از نیاز آبی آن توسط بارش‌ها تأمین می‌شود، میزان عملکرد و بهره‌وری آب آن به میزان زیادی وابسته به میزان بارش‌های جوی بوده و خشک سالی‌ها و تغییرات اقلیمی اثرات نامطلوبی بر آن به‌خصوص بر عملکرد گندم دیم دارد. لذا نوسانات عملکرد و بهره‌وری آب در این محصول بعضاً اجتناب‌ناپذیر است و باید آن در سیاست‌گذاری‌ها و برنامه‌ریزی‌ها به نحوی لحاظ شود. با توجه به اینکه دامنه تغییرات بهره‌وری آب گندم در استان‌ها و مناطق مختلف کشور زیاد است، بنابراین پتانسیل زیادی برای افزایش آن حتی تا دو برابر مقدار فعلی وجود دارد. لذا برای کاهش وابستگی به واردات گندم و امنیت غذایی کشور، توجه به تحقیقات و مطالعات لازم و اجرای برنامه‌ها و سیاست‌های جامع‌نگر افزایش تولید و ارتقاء بهره‌وری آب این محصول از اهمیتی خاص برخوردار است؛ و سرانجام برای ارتقاء بهره‌وری، به‌خصوص بهره‌وری آب گندم از جنبه مسائل ترویج و آموزش علاوه بر نیاز به انتقال نتایج تحقیقات و دانش فنی به بهره‌برداران، تغییرات زیرساختی، سیاستی و زیربنایی در سیستم ترویج و آموزش کشاورزی کشور ضرورت دارد.

میزان بهره‌وری آب محصولات کشاورزی متأثر از عوامل بیوفیزیکی و انسانی (مدیریتی) زیادی است و

باشند. در این تحقیق تمرکز و دورنمای کار بر جمع‌آوری، تحلیل و مقایسه مقادیر بهره‌وری آب گندم کشور و جهان بود. لذا پیشنهاد می‌گردد در تکمیل این بررسی، در تحقیقات آینده بررسی‌های لازم از نظر تعیین منابع ناکارآمدی بهره‌وری آب گندم در ایران و جهان انجام‌شده و مقایسه‌های تکمیلی لازم نیز صورت پذیرد.

در کشورهای مختلف این عوامل با شدت و ضعف‌های مختلف وجود دارند. لذا مقایسه مقادیر بهره‌وری آب گندم کشور با جهان زمانی کامل و از نظر اقدامات مورد نیاز برای بهبود آن اثر بخش خواهد بود که به عوامل کاهنده آن و یا منابع ناکارآمدی^۱ آن نیز توجه شود. همچنین در گزارشات به روش تعیین بهره‌وری آب و شرایط اندازه‌گیری آن باید اشاره شود تا نتایج بهتر قابل مقایسه

فهرست منابع

۱. احمدوند، م. ر. و نجف‌پور، ذ. ا. ۱۳۸۹. بررسی سطح زیر کشت تولید و سیاست‌های حمایتی گندم طی برنامه‌های اول تا چهارم توسعه. فصلنامه پژوهش‌ها و سیاست‌های اقتصادی. ۱۷(۵۳): ۷۶-۵۹.
۲. احمدی، ک. حسین‌پور، ر. عبادزاده، ح. ر. قلی‌زاده، ح. ا. حاتمی، ف. محمدنیا افروزی، ش. عبدشاه، ه. و عباس طاقانی، ر. ۱۳۹۴. بررسی آمار سطح برداشت و میزان تولید ۳۶ سال محصولات زراعی (سال ۱۳۵۷ لغایت ۱۳۹۲). مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات، معاونت برنامه ریزی و اقتصادی، وزارت جهاد کشاورزی، ۲۸۵ صفحه، شابک ۹۷۸-۹۶۴-۴۶۷-۷۲-۵.
۳. افشاری‌پور، س. ک. حمزه، س. علوی پناه، س. ک. و مقبلی دامنه، ا. ۱۳۹۸. ارزیابی میزان بهره‌وری آب کشاورزی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و مدل WATPRO مطالعه موردی: اراضی تحت کشت گندم حوضه آبریز دشت جیرفت. تحقیقات منابع آب ایران. ۱۵(۱): ۴۵-۵۸.
۴. بهرامی، م. خلیلیان، ص. مرتضوی، س. ا. و اسعدی، م. ۱۳۹۷. بررسی بهره‌وری فیزیکی مصرف آب کشاورزی در استان‌های منتخب ایران (مطالعه موردی: محصول گندم). نشریه آبیاری و زهکشی ایران ۶(۱۲): ۱۵۱۸-۱۵۱۱.
۵. حیدری، ن. ۱۳۹۰. تعیین و ارزیابی شاخص کارایی مصرف آب محصولات زراعی تحت مدیریت کشاورزان در کشور. مجله علمی-پژوهشی مدیریت آب و آبیاری. ۲(۱): ۵۷-۴۳. پائیز ۱۳۹۰.
۶. خرمی وفا، م. نوری، م. مندنی، ف. و ویسی، ه. ۱۳۹۵. بررسی آب مجازی، بهره‌وری و ردپای اکولوژیک آب در مزارع گندم آبی و ذرت در منطقه کوزران (شهرستان کرمانشاه). نشریه آب و توسعه پایدار. ۳(۲): ۱۹-۲۶.
۷. رضایی زاد، ه. هوشمند، ع. و دوست محمدی، م. ۱۳۹۳. بررسی بهره‌وری آب سه محصول زراعی جو، گندم و یونجه استان اصفهان (به تفکیک شهرستان)، همایش ملی تغییرات اقلیم و مهندسی توسعه پایدار کشاورزی و منابع طبیعی، همدان.
۸. سلامتی، ن. باغانی، ج. و عباسی، ف. ۱۳۹۷. تعیین بهره‌وری مصرف آب در سامانه‌های آبیاری سطحی و بارانی گندم (مطالعه موردی بهبهان). مجله تحقیقات آب و خاک ایران. ۴(۴۹): ۸۳۰-۸۲۱.
۹. سلامتی، ن. باغانی، ج. و عباسی، ف. ۱۳۹۹. مقایسه حجم آب مصرفی و بهره‌وری آب گندم در روش‌های مختلف آبیاری در شهرستان بهبهان. علوم و مهندسی آبیاری. جلد ۴۳، شماره ۱، بهار ۹۹، ۴۲-۲۹.
۱۰. سیدان، س. م.، قدمی فیروز آبادی، ع. و دهقانی سانچ، ح. ۱۳۹۷. بررسی عوامل موثر بر ارتقا بهره‌وری آب محصولات زراعی در استان همدان. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. شماره ۴(۱۲): ۷۵۵-۷۸۸.

۱۱. طاهری، م. رضавردی نژاد، و. بهمنش، ج. عباسی، ف. و باغانی، ج. ۱۳۹۹. تحلیل مکانی شاخص بهره‌وری آب در قطب‌های تولید گندم کشور. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. ۲(۳۴): ۲۱۷-۲۲۷.
۱۲. غلامی، ز. ابراهیمیان، ح. و نوری، ح. ۱۳۹۵. بررسی بهره‌وری آب آبیاری در سیستم‌های آبیاری بارانی و سطحی: مطالعه موردی: دشت قزوین. علوم و مهندسی آبیاری. ۳۹(۳): ۱۴۶-۱۳۵.
۱۳. کشاورز، ع. ۱۳۹۶. تحلیلی بر منابع آب و چشم انداز کشاورزی کشور. دومین همایش ملی گیاهان دارویی دیم ایران. ۲۰ تیرماه ۱۳۹۶، دانشگاه ارومیه.
۱۴. محمدجانی، ا. ویزدانیان، ن. ۱۳۹۳. تحلیل وضعیت بحران آب در کشور و الزامات مدیریت آن. فصلنامه روند، سال بیست و یکم، شماره‌های ۶۵ و ۶، بهار و تابستان ۱۳۹۳، صفحات ۱۴۴-۱۱۷.
۱۵. مرکز ملی مطالعات راهبردی کشاورزی و آب. ۱۳۹۶. خودکفایی در تولید گندم با کاهش سطح زیرکشت و افزایش بهره‌وری آب واردات ۳۷ میلیون مترمکعب آب مجازی به کشور. سایت ایرنا، ۲ اردیبهشت ۱۳۹۶.
۱۶. معاونت امور زراعت. ۱۳۹۶. نامه شماره ۲۰۵۵/۷۰۰، مورخ ۹۶/۱۱/۷، معاون زراعت وزارت جهاد کشاورزی به رؤسای سازمان‌های جهاد کشاورزی استان‌ها.
۱۷. مهتدی، م. الباجی، م. و برومندنسب، س. ۱۳۹۶. بررسی بهره‌وری آب آبیاری برای محصول گندم در برخی از شبکه‌های آبیاری و زهکشی استان خوزستان. علوم و مهندسی آبیاری. ۴۰(۱/۱): ۲۴۸-۲۳۹.
۱۸. میرباقری، و. برادران نصیری، م. امامی، ج. و حسینی ثابت، س. م. ۱۳۹۵. تولید و تجارت محصولات اساسی بخش کشاورزی در بازه زمانی سال‌های ۱۳۸۰-۱۳۹۵. معاونت پژوهش‌های زیربنایی و امور تولیدی، دفتر مطالعات زیر بنایی (گروه کشاورزی)، مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، کد موضوعی ۲۵۰، شماره مسلسل ۱۵۲۰۱، ۹۹ صفحه.
۱۹. نخجوانی مقدم، م. م. قهرمان، ب. و زارعی، ق. ۱۳۹۶. تحلیل بهره‌وری آب گندم در مدیریت‌های آبیاری در برخی از مناطق ایران. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. ۳۱(۱): ۵۷-۴۳.
۲۰. نی ریزی، س. و حلمی فخرود، ر. ۱۳۸۳. مقایسه کارایی مصرف آب در چند نقطه خراسان. مجموعه مقالات یازدهمین همایش کمیته آبیاری و زهکشی ایران، تهران. صفحه‌های ۴۰۳-۳۹۱.
۲۱. یوسفی، ح. محمدی، ع. نوراللهی، ی. و ساداتی نژاد، س. ج. ۱۳۹۶. ارزیابی شاخص ردپای آب محصولات زراعی و باغی استان تهران. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۲۴(۶): ۸۵-۶۷.
۲۲. یوسفی‌فرد، ی. الهیاری، س. قربانی، م. و برومندنسب، س. ۱۳۹۶. بررسی میزان بهره‌وری آب در کشت گندم در استان لرستان. پنجمین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی و سومین کنگره ملی آبیاری و زهکشی ایران. ۲۳-۱ اسفند. اهواز.
23. Bayat, M. A., and Babazadeh, H. 2014. Evaluation of water use productivity indicators in the main agricultural products of Iran. Journal of Water Sciences Research. 6(1): 17-29.
24. Chapagain, A.K., Hoekstra, A.Y., 2004. Water footprints of nations. In: Value of Water: Research Report Series no. 16. UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands.
25. Fan, Y., Wang, C., and Z. Nan. 2014. Comparative evaluation of crop water use efficiency, economic analysis and net household profit simulation in arid Northwest China. Agricultural Water Management. 146: 335-345.
26. Faramarzi, M., Yang, H., Schulin, R. and Abbaspour, K. 2010. Modeling wheat yield and crop water productivity in Iran: Implications of agricultural water management for wheat production. Agricultural Water Management, 97(11): 1861-1875.
27. Foley, D. J. , Prasad S. Thenkabail , Itiya P. Aneece , Pardhasaradhi G. Teluguntla & Adam J. Oliphant. 2020. A meta-analysis of global crop water productivity of three leading

- world crops (wheat, corn, and rice) in the irrigated areas over three decades. *International Journal of Digital Earth*. (13)8: 939–975. <https://doi.org/10.1080/17538947.2019.1651912>.
28. Foley, D. J., Thenkabail, P.S., Aneece, I.P., Teluguntla, P.G., Oliphant, A.J. 2020. A meta-analysis of global crop water productivity of three leading world crops (wheat, corn, and rice) in the irrigated areas over three decades. *International Journal of Digital Earth*. 13(8): 939-975, DOI: 10.1080/17538947.2019.1651912.
29. Hussain, Intizar, Sakthivadivel, Ramasamy, Amarasinghe, Upali A., Mudasser, Muhammad, Molden, David J. 2003. "Land and water productivity of wheat in the Western Indo-Gangetic Plains of India and Pakistan: a comparative analysis," IWMI Research Reports 52972, International Water Management Institute.
30. Kahlown, M. A., Raoof, A., Zubair, M. and Doral Kemper, W. 2007. Water use efficiency and economic feasibility of growing rice and wheat with sprinkler irrigation in the Indus Basin of Pakistan. *Agricultural Water Management*, 87(3): 292-298.
31. Kang, S., Zhang, L., Liang, Y. and H. Cai. 2002. Effects of limited irrigation on yield and water use efficiency of winter wheat on the Loess Plateau of China. In: McVicar, soil assessment for managing sustainable agriculture in China and Australia. (Monograph T.R., Rui, L., Walker, J., Fitzpatrick, R.W., and Changming, L. (Eds) Regional water andno. 841 Australian Centre for International Agricultural Research, Canberra. pp 105–116.
32. Kaviani, A., Sohrabi, T. and Arassteh, P. 2011. Evapotranspiration and Water Productivity Estimation Using SEBAL Algorithm and Comparison with Lysimeter Data. *Iranian Journal of Irrigation and drainage*, 2(5): 165- 175.
33. Keshavarz A, Ashrafi S, Hydari N, Pouran M, Farzaneh. 2005. Water allocation and pricing in agriculture of Iran. In: Water conservation, reuse, and recycling: Proceeding of an Iranian American workshop, The National Academies Press: Washington, DC, 153-172.
34. Liu, J., Williams, J.R., Zehnder, A.J.B., Yang, H. 2007. GEPIC modeling wheat yield and crop water productivity with high resolution on a global scale. *Agric. Syst*. 94: 478–493.
35. Montazar, A. and Kosari, H. 2007. Water productivity analysis of some irrigated crops in Iran. Proceeding of the International Conference of Water Saving in Mediterranean Agriculture and Future Needs. Valenzano (Italy). Series B, 56(1):109-120.
36. Oweis, T. 1997. Supplemental irrigation: A highly efficient water-use practice ICARDA. Report, Aleppo, Syria, 16p.
37. Qureshi, A. S., Oweis, T., Karimi, P., and Porehemmat, J. 2009. Water Productivity of Irrigated Wheat and Maize in the Karkheh River Basin of Iran. *Irrigation and Drainage*. 59(3):264 – 276. (WP-68)
38. Sadras, V.O., Angus, J.F. 2006. Benchmarking water-use efficiency of rainfed wheat in dry environments. *Aust. J. Agric. Res*. 57, 847–856.
39. Singh, R., van Dam, J. C. and R. A. Feddes. 2006. Water productivity analysis of irrigated crops in Sirsa District, India. *Agricultural Water Management*, 82: 253-278.
40. Tavakoli, A. 2012. Determining the Water Productivity Components under Planting Single Irrigation Management for Rainfed Wheat Varieties. *Journal of Water and Soil*, 26(3): 690-699.
41. Van Dam, J. C. , R. Singh , J. J. E. Bessembinder , P. A. Leffelaar , W. G. M. Bastiaanssen , R. K. Jhorar , J. G. Kroes & P. Droogers. 2006. *International Journal of Water Resources Development*. 22(1): 115–133.
42. Zwart Sander. J. Wim, and G. M. Bastiaanssen. 2007. SEBAL for detecting spatial variation of water productivity and scope for improvement in eight irrigated wheat systems. *Agricultural water management*. 89: 287–296.
43. Zwart, S. J and Bastiaansen, W. G. M. 2004. Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton and maize. *Agricultural Water Management*, 69(2): 115-133.
44. Zwart, S.J. Bastiaanssen, W.G.M, C.de, Molden, D.J. 2010. A global benchmark map of water productivity for rainfed and irrigated wheat. *Agricultural Water Management*. 1617–1627.

Wheat Water Productivity in Iran Compared with Data of Some Countries

N. Heydari¹

Associate Professor, Agricultural Engineering Research Institute (AERI); Agricultural Research, Education, and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

nrheydari@yahoo.com

Received: September 2021, and Accepted: March 2022

Abstract

Wheat is considered a strategic crop in the country and even in the world. It covers a large area under cultivation (approximately 50% of the country's cultivated lands). The main objective of this study was to review and analyze wheat WP in Iran and compare it with data of some other world countries. For this purpose, national and international scientific references were collected and reviewed, and the reported values for wheat WP (at the national, basin, and provincial scales) were arranged, calculated, and summarized, and necessary analyses and some conclusions were derived. According to the results, the range of wheat WP values in Iran and the world is very wide (0.25-2.2 and 0.3-3.9 kg/m³, respectively), depending on the geographical areas, water and soil conditions, different irrigation systems, climate, etc. The country's wheat WP (on a national scale) is estimated at 0.87 kg/m³, which is in the middle range compared to world. However, based on the reported wheat WP at the provincial level, the average wheat WP in the country is equal to 0.75 kg/m³, which is again in the (lower) middle range in comparison with the global values. Comparison of WP mean value at provincial level (0.75 kg/m³) with the average WP of 10 major wheat producing countries (0.93 kg/m³), indicated that the country's wheat WP is about 25% lower than the average of these countries. Moreover, the Iranian national wheat WP and the global scale average of this index is about 0.93 and 1.1 kg/m³, respectively. Therefore, the value of the country's wheat WP is not very low compared to the global average, and there is a relatively small gap (just 22%) with the global average. However, it is far from the values of the leading wheat producing countries (1.4 kg/m³), such as most Western European countries, South Africa, and Egypt in the Middle East, with a relatively large distance (50% lower). In conclusion, the range of wheat's WP are very wide in different provinces and regions of the country, therefore there are many opportunities to increase it event up to twofold. This target could be achieved in the country in the medium term with the necessary investments and planning.

Keywords: Range of wheat water productivity, Wheat yield, Provincial water productivity

¹ - Corresponding author: Agricultural Engineering Research Institute (AERI); Agricultural Research, Education, and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

Analysis of the Driving and Deterrent Factors of Water Users' Associations in Irrigation Networks of Khuzestan Province

Z. Rostamian, B. Khosravipour¹, and M. Ghanian

MSc Student of Agricultural Extension and Education, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan. zrostamian95@gmail.com

Professor of Agricultural Extension and Education, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan. b.khosravipour@gmail.com

Professor of Agricultural Extension and Education, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan. m_ghanian@yahoo.com

Received: August 2020, and Accepted: March 2022

Abstract

This quantitative research was carried out with the aim of identifying the driving and deterrent factors in the formation, activity, and development of Khuzestan Province's water users' associations of irrigation networks. The research method was survey and descriptive-correlational. The statistical population of this study consisted of all experts of the exploitation companies of Khuzestan Province Water and Electricity Organization (N = 200), 130 of them (n = 130) were selected by stratified random sampling. The research instrument was a researcher-made questionnaire whose validity and reliability were confirmed by agricultural extension and training specialists of Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan and the use of Cronbach Alpha test. Data were analyzed using SPSS₁₆ software. The results of factor analysis indicated that the driving factors of water organizations were in 5 groups of production, social capital, legal, economic and executive, which in general explain 68.6% of the total variance. The results of factor analysis indicate that the driving factors of water users' associations included 5 groups of production, social capital, legal, economic, and executive factors, which, in general, explain 68.64% of the total variance. In the factor analysis, the deterrents of water users' associations were identified as 5 groups including supportive, legal, managerial, extra-organizational and extension factors, which explain 47.29% of the total variance. According to the findings, the share of the promoters and driving factors in the activities and development of water users' associations in Khuzestan Province is more than the deterrent factors.

Keywords: Water shortage, Exploitation companies of Irrigation networks, Factor analysis

¹ - Corresponding author: Agricultural Extension and education Department, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan.

Effect of Drip and Flood Irrigation on Water Productivity and Yield in Two Methods of Rice Cultivation

M. Rahimi Pool, D. Akbari Nodehi¹, R. Asadi, A. Bagheri, and F. Shirdel-Shahmiri

Ph.D. Student, Dept. of Water Science and Engineering, Qaemshahr Branch, Islamic Azad University, Qaemshahr, Iran. mahsa.rahimi80@yahoo.com

Assistant Professor, Dept. of Water Science and Engineering, Qaemshahr Branch, Islamic Azad University, Qaemshahr, Iran. dakbarin@yahoo.com

Dept. of Water Science and Engineering, Ghaemshahr Branch, Islamic Azad University, Ghaemshahr, Iran, Assistant Professor, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Rice Research Institute, Mazandaran, Amol, Iran. r_asadi1@yahoo.com

Assistant Professor, Dept. of Water Science and Engineering, Qaemshahr Branch, Islamic Azad University, Qaemshahr, Iran. ali523b@yahoo.com

Assistant Professor, Dept. Of Agronomy, Qaemshahr Branch, Islamic Azad University, Qaemshahr, Iran. fazlshirdel@yahoo.com

Received: November 2021, and Accepted: March 2022

Abstract

Due to the importance of rice cultivation, especially in Mazandaran Province, it is necessary to plan carefully for the optimal use of water resources in the province in the agricultural sector, especially rice, to reduce water demand for rice production. For this purpose, an experiment was conducted in the form of a complete block-design with three replications and four treatments using Tarom Hashemi cultivar, during the 2021 crop year in the Rice Research Institute of Iran-Amol. Treatments included conventional planting with flood irrigation (T1) and drip irrigation (T2), transplanting in un-puddled bed with drip irrigation (T3) and direct seed cultivation in dry bed with drip irrigation (T4). The results showed that the cultivation method was effective on yield, plant height, water consumption and irrigation water, water productivity and water use efficiency and was statistically significant at 1% and 5% level of probability. The highest and lowest yields belonged to T1 and T4 treatments with 4079 and 2876 kg/ha, respectively, and T2 had the highest water productivity with 0.61 kg/m³ which had no significant difference with T1. The lowest water productivity belonged to T4 with 0.45 kg/m³. The highest and lowest irrigation water productivity belonged to T2 and T1 with 0.67 and 0.52 kg/m³, respectively. Based on the results, conventional planting with drip irrigation did not have a significant reduction in yield compared to conventional planting with flood irrigation and increased water productivity by saving water consumption. Therefore, the conventional planting method with drip irrigation was recognized as the best treatment in this study.

Keywords: Puddling bed, Tarom Hashemi cultivar, Irrigation management

¹- Corresponding author: Dept. of Water Science and Engineering, Qaemshahr Branch, Islamic Azad University, Qaemshahr, Iran.

Effect of Regulated Deficit Irrigation with Magnetized Water on Quantitative, Qualitative Properties and Water Productivity of Green Pea

A. H. Yadollahi, M. Khoshravesh¹, and M. A. Gholami Sefidkouhi

M Sc Student of Irrigation and Drainage, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

amir.hyr@gmail.com

Associate Professor, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.

khoshravesh_m24@yahoo.com; m.khoshravesh@sanru.ac.ir

Associate Professor, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.

magholamis@yahoo.com

Received: October 2021, and Accepted: November 2021

Abstract

The crisis of water scarcity is the main reason for the reduction of crops and the lack of human food needs in the countries located in arid and semi-arid regions. One of the methods used to increase the yield and water productivity is the use of low irrigation and magnetized water technology. The purpose of this study was to investigate the effect of regulated deficit irrigation with magnetized water on quantitative and qualitative characteristics of pea (*Pisum sativum* L.). The present research was performed on a farm located in Aghuzbon Village, Mazandaran Province, Iran. The experiment was performed as a factorial experiment in a randomized complete block design with three replications. The control treatment included full irrigation (FI) at all stages of the plant growth with normal water (non-magnetized). The main factor included non-magnetized water (W1) and magnetized water (W2), and the sub-factor included irrigation levels (I1=100%, I2=80%, and I3= 60% of crop water requirement). For irrigation, the trickle irrigation system with tape pipes was used. The results showed that the effect of irrigation water type and irrigation level as well as their interaction on parameters of pod per plant, seed per pod, grain yield, and water use efficiency were significant ($p<1\%$). The highest pods per plant, seed per pod and grain yield in W2I1 treatment were 13.2, 7.5, and 8.472 t. ha⁻¹, respectively, and the highest water use efficiency was observed in the W2I3 as 3.7 kg.m⁻³. On average, irrigation with the magnetized water increased grain yield and water productivity by 8.6% and 8.7%, respectively, compared to the non-magnetized water treatment. Also, the effect of type of irrigation water and irrigation level on oil, oil yield, protein, protein yield and germination time had a significant effect at 1% probability level, but had no significant effect on the ripening time. Also, 20% increase in irrigation level from I3 to I2 and from I2 to I1 in non-magnetized water treatment caused increase of the grain yield by 14.5% and 18%, respectively, while in magnetized water treatment, yield increased by 14.2% and 13.6%, respectively. The fastest germination time was related to W2I2 with 10.3 days after planting. In general, it can be concluded that irrigation with magnetized water can be a good way to increase yield, improve quality characteristics, and increase water use efficiency of green pea plant.

Keywords: Drought stress, Water saving, Oil yield

¹ - Corresponding author: Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.

Effect of Biochar Obtained from Different Sources on Yield and Water Use Efficiency of Wheat

H. Osooli¹, A. Karimi, and H. Shirani

Graduated PhD student, Department of Soil Sciences, Faculty of Agriculture, Shahrekord University,

Shahrekord, Iran. osoolih@gmail.com

Assistant Professor, Department of Soil Sciences, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord,

Iran. karimiahmad1342@yahoo.com

Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan,

Iran. shirani@vru.ac.ir

Received: July 2021, and Accepted: November 2021

Abstract

The use of organic waste in the form of biochar in order to ameliorate soil is a novel approach in the management of organic waste. In previous studies, researchers mostly focused on the amount of biochar that was added to the soil. However, the aim of this study was to investigate the characteristics of biochars prepared from different feedstock (wheat straw, vermicompost and apricot firewood) and the interaction effects of amounts and particle sizes of biochars on yield and water use efficiency (WUE) of winter wheat. In a factorial experiment with a randomized complete block design with three replications, the effects of these three biochars in the amount of 0.5% (R₁), 1.5% (R₂) and 3% (R₃) with a particle size of ≤0.5 (S₁), 0.5-1 (S₂) and 1-2 (S₃) mm were evaluated in two consecutive cropping years. The studied biochar were added to the soil only in the first year to a depth of 0-15 cm. A control plot was considered in each replication. The interactions of experimental factors (except interaction effect of year and biochar amount) on yield and WUE were significant. Comparison of average yield and WUE in each type of biochar showed that, in the first and second year, wheat straw biochar treatment of R₃ S₂ had the highest yield (5,200 kg ha⁻¹ and 6664.3 kg ha⁻¹, respectively) and WUE (1.6 kg m⁻³ and 2.1 kg m⁻³, respectively). In the first year, in vermicompost biochar treatments, the highest yield (4517.7 kg ha⁻¹) and WUE (1.4 kg m⁻³) were observed in the R₂ S₃. In the same year, in apricot wood biochar, treatment R₃ S₃ had the highest yield (3871.7 kg ha⁻¹) and WUE (1.2 kg m⁻³). In the second year, in vermicompost treatments, the highest yield (6615.7 kg ha⁻¹) and WUE (2.04 kg m⁻³) was observed in the R₃ S₂ and, in the same year, in apricot wood biochar treatments, the highest yield (5263.7 kg ha⁻¹) and WUE (1.6 kg m⁻³) was observed in the R₂ S₃. The highest yield and WUE (in the two years) was observed in wheat straw biochar with the R₃ S₂. These results showed that in addition to the type of biochar, the interaction of the amount and size of biochar particles had a decisive effect on increasing the yield and water use efficiency of wheat.

Keywords: Amount and size of biochar, Calcareous soil, Organic waste, Vermicompost

¹ -Corresponding author: Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.

Energy Flow and Global Warming Potential in Direct Seeded and Transplantation of Rice under Different Irrigation Systems

S. T. Hosseini, H. Sharifan¹, A. Kiani, N. M Abyar, and M. T Feyzbakhsh

PhD Student of Irrigation and Drainage, Department of Water and Soil, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

tayyeb.hosseini@gmail.com

Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Water and Soil, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. h_sharifan@gau.ac.ir

Professor of agricultural engineering department, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Gorgan, Iran.

akiani71@yahoo.com

Assistant Professor at Socio-Economic Research Group of Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Gorgan, Iran.

abyarnm@yahoo.com

Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gorgan, Iran. Feyz_54@yahoo.com

Received: August 2021, and Accepted: November 2021

Abstract

Energy efficiency is one of the most important factors for sustainable agriculture. This study explored the energy consumption and global warming potential for puddled transplanted (PTR), un-puddled transplanted, and direct-seeded rice (*Oryza sativa* L.) (DSR) production systems under sprinkler, flood, and drip irrigation systems in Gorgan City fields, Golestan Province, Iran. According to the results, the average energy input and output for different irrigation systems in puddled transplanted treatment was higher than the other treatments, while the highest input and output energy was related to drip irrigation system (36366 and 249971 MJ.h⁻¹). The highest energy consumption in different irrigation and cultivation systems was related to water and nitrogen fertilizer. The results also showed that energy use efficiency for different systems ranged from 5.05 to 7.35 kg.MJ⁻¹. Energy use efficiency for pressurized irrigation systems was higher in puddled transplanted treatment and for flood irrigation systems was higher in un-puddled transplanted treatment. Also, the energy productivities of different treatments were between 0.1 to 0.24 kg.MJ⁻¹, while the mean energy efficiencies of PTR and un-puddled transplanted treatments did not differ significantly and were more than DSR treatment. The specific energy and net energy for different treatments ranged from 4.29 to 10.2 MJkg⁻¹ and 112784 to 213825 MJ.ha⁻¹, respectively. The puddled transplanted treatment had the highest GWP for all irrigation systems. The largest share of GWP in rice cultivation was related to the use of nitrogen fertilizers, fuels, and machinery. The results of mean comparison of GWP per unit area, weight, input energy, and output energy showed that modern pressurized irrigation systems with un-puddled transplanted cultivation method (due to less input and a yield similar to PTR) can be a suitable method for rice cultivation to reduce energy consumption and global warming potential.

Keywords: Energy productivity, Input-output energy, puddled transplanted rice

¹ - Corresponding author: Department of Water Engineering, Faculty of Water and Soil, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

Evaluation of DSSAT Model in Estimating Cowpea Water Productivity and Yield at Different Levels of Applied Water

F. Baradaran-Hazaveh, H. Babazadeh¹, E. Amiri, and H. Ebrahimi

Ph.D. Candidate, Irrigation and Drainage, Department of Water Science and Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

hezaveh.hydro2005@gmail.com

Professor, Department of Water Science and Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

h_babazadeh@hotmail.com

Professor, Department of Water Engineering, Lahijan Branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran.

eamiri57@yahoo.com

Associate Professor, Department of Civil Engineering, Shahr-e-Qods, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

ebrahimi165@yahoo.com

Received: September 2021, and Accepted: January 2022

Abstract

Pulses have a special position, after wheat and rice, in the Iranian people diet. The growth of these plants is very fast and water stress has an important effect on their yield. The objective of this study was to evaluate the DSSAT Model in simulating the growth and yield of cowpea under different levels of irrigation water. An experiment was conducted as a randomized complete block design (RCBD) with three replications in Kiashahr City, Iran, in the crop seasons of 2017 and 2018. The main treatments included irrigation with management of 40%, 60%, 80%, 100%, and 120% of plant water requirement and the three sub-treatments included irrigation at vegetative or reproductive stages, and full irrigation. In this experiment, the DSSAT simulation model was used to evaluate water efficiency and water balance components. Evaluation of simulated and measured values of grain yield was performed using the parameters of coefficient of determination, t-test, root mean square error (RMSE) and root mean square normalized error (nRMSE). The results showed that the difference between the predicted grain yield and the observed values was acceptable (RMSE=92 and nRMSE = 12.62%). Total biomass was also well simulated (RMSE=130 and nRMSE = 5.91%). Using the measured grain yield and water balance components simulated from the DSSAT model, the water productivity based on evapotranspiration (WPET) was about 33% lower than that based on transpiration (WPT). According to the results, irrigation with 100% water requirement at both vegetative and reproductive stages resulted in the highest transpiration (383mm), and was selected as the optimum irrigation management during the growing season.

Keywords: Crop modeling, Water management, Water stress

¹- Corresponding author: Department of Water Science and Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Evaluation of DSSAT Model in Estimating Cowpea Water Productivity and Yield at Different Levels of Applied Water22*F. Baradaran-Hazaveh, H. Babazadeh, E. Amiri, and H. Ebrahimi***Energy Flow and Global Warming Potential in Direct Seeded and Transplantation of Rice under Different Irrigation Systems.....23***S. T. Hosseini, H. Sharifan, A. Kiani, N. M. Abyar, and M. T. Feyzbakhsh***Effect of Biochar Obtained from Different Sources on Yield and Water Use Efficiency of Wheat.....24***H. Osooli, A. Karimi, and H. Shirani***Effect of Regulated Deficit Irrigation with Magnetized Water on Quantitative, Qualitative Properties and Water Productivity of Green Pea25***A. H. Yadollahi, M. Khoshravesh, and M. A. Gholami Sefidkouhi***Effect of Drip and Flood Irrigation on Water Productivity and Yield in Two Methods of Rice Cultivation26***M. Rahimi Pool, D. Akbari Nodehi, R. Asadi, A. Bagheri, and F. Shirdel-Shahmiri***Analysis of the Driving and Deterrent Factors of Water Users' Associations in Irrigation Networks of Khuzestan Province.....27***Z. Rostamian, B. Khosravipour, and M. Ghanian***Wheat Water Productivity in Iran Compared with Data of Some Countries.....28***N. Heydari*

Ministry of Jihad-e-Agriculture
Agricultural Research, Education, and Extension Organization
Soil and Water Research Institute

Journal of Water Research in Agriculture

Vol. 35, No. 4
2022

***Manager-in-Charge:* Hadi Asadi Rahmani, PhD**
Director General, Soil and Water Research Institute

***Editor-in-Chief:* Hamid Siadat, PhD**
Professor (Research), Soil and Water Research Institute

Editorial Board

Mohammad Bybordi, PhD
Naser Davatgar, PhD
Niaz Ali Ebrahimi Pak, PhD
Nader Heydari, PhD
Heydar Ali Kashkuli, PhD
Abdolmajid Liaghat, PhD
Mohammad Hosein Mahdian, PhD
Seyed Majid Mirlatifi, PhD
Seyed Farhad Moosavi, PhD
Ebrahim Pazira, PhD

Senior University Lecturere
Associate Prof, Soil and Water Research Ins
Associate Prof, Soil and Water Research Ins
Associate Professor, Iranian Agricultural Engineering
Research Institute (AERI)
Prof., Azad University, Ahvaz
Prof., University of Tehran
Prof., (research) of Agricultural Rersearch Education and
Extention Organization
Prof., Tarbiat Moddarres University, Tehran
Invited Prof., Semnan University
Prof., Azad University, Tehran

English Editor
Design

Hamid Siadat, PhD
Fatemeh Aghajani

Postal Address: P. O. Box: 317793545, Karaj – IRAN
Tel / Fax: 026-36220160
Soil and Water Research Institute Website: www.swri.ir
Journal Website: <http://www.wra.areo.ir>



Journal of Water Research in Agriculture

wra.areeo.ir



Volume 35/ No 4/ 2022

ISSN: 2228-7140

Contents

Subject

Page

Evaluation of DSSAT Model in Estimating Cowpea Water Productivity and Yield at Different Levels of Applied Water22

F. Baradaran-Hazaveh, H. Babazadeh, E. Amiri, and H. Ebrahimi

Energy Flow and Global Warming Potential in Direct Seeded and Transplantation of Rice under Different Irrigation Systems.....23

S. T. Hosseini, H. Sharifan, A. Kiani, N. M Abyar, and M. T Feyzbakhsh

Effect of Biochar Obtained from Different Sources on Yield and Water Use Efficiency of Wheat.....24

H. Osooli, A. Karimi, and H. Shirani

Effect of Regulated Deficit Irrigation with Magnetized Water on Quantitative, Qualitative Properties and Water Productivity of Green Pea25

A. H. Yadollahi, M. Khoshnavesh, and M. A. Gholami Sefidkouhi

Effect of Drip and Flood Irrigation on Water Productivity and Yield in Two Methods of Rice Cultivation26

M. Rahimi Pool, D. Akbari Nodehi, R. Asadi, A. Bagheri, and F. Shirdel-Shahmiri

Analysis of the Driving and Deterrent Factors of Water Users' Associations in Irrigation Networks of Khuzestan Province.....27

Z. Rostamian, B. Khosravipour, and M. Ghanian

Wheat Water Productivity in Iran Compared with Data of Some Countries.....28

N. Heydari