



ISSN: 2228-7140

ب / جلد ۳۵ / شماره ۱ / سال ۱۴۰۰

صفحه

عنوان

ارزیابی وضعیت مدیریت آبیاری و امکان بهبود آن در مزارع گندم در شبکه آبیاری سد سیستان با استفاده از مدل SWAP.....۱
محمدامین خندان بارانی، پیمان افراسیاب، مهدی اکبری و معصومه دلبری

اثر سطوح مختلف آبیاری و کود بر بهره‌وری آب و نیتروژن در کاهو.....۱۹
محمد سعید جعفری نجف آبادی، حمیده نوری، عبدالمجید لیاقت و حامد ابراهیمیان

تاثیر فناوری‌های به‌زراعی بر بهبود شاخص‌های بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی و کارایی مصرف آب در حوضه شرقی دریاچه ارومیه.....۳۵
علی سنگتراشان، سید مجید میرلطیفی و حسین دهقانی‌سانج

مکانیابی مناطق مستعد اجرای سامانه‌های آبیاری سطحی و تحت فشار با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی در دشت دز.....۴۷
حامد پورصمصام، الهام اکبری، علی محمد آخوندعلی و سعید برومندنسب

بررسی اثر کم آبیاری و دو شیوه آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد دو رقم بادام‌زمینی.....۶۱
علی عبدزادگوهری

ارزیابی مدل‌های نفوذ آب به خاک در برخی کلاس‌های بافتی خاک و کاربری اراضی در حوضه دریاچه ارومیه.....۷۳
فرشته بتوخته، مجتبی خوش‌روش و حسین دهقانی‌سانج

اثرات بالقوه قیمت‌گذاری و سهمیه‌بندی آب بر بهره‌وری آب و مصرف نهاده‌های کشاورزی در استان کهگیلویه بویراحمد.....۸۹
ارسلان بی‌نیاز، محمود احمدپور برازجانی، سامان ضیایی و حمید محمدی

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

جلد ۳۵ شماره (۱)
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 سیولیکا: <https://civilica.com>
پایگاه با نك اطلاعات نشریات کشور (Magiran): <https://www.magiran.com>

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

- ارزیابی وضعیت مدیریت آبیاری و امکان بهبود آن در مزارع گندم در شبکه آبیاری سد سیستان با استفاده از مدل SWAP.....۱
محمد امین خندان بارانی، پیمان افراسیاب، مهدی اکبری و معصومه دلبری
- اثر سطوح مختلف آبیاری و کود بر بهره‌وری آب و نیتروژن در کاهو.....۱۹
محمد سعید جعفری نجف آبادی، حمیده نوری، عبدالمجید لیاقت و حامد ابراهیمیان
- تاثیر فناوری‌های به‌زراعی بر بهبود شاخص‌های بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی و کارایی مصرف آب در حوضه شرقی دریاچه ارومیه.....۳۵
علی سنگتراشان، سید مجید میرلطیفی و حسین دهقانی سانج
- مکانیابی مناطق مستعد اجرای سامانه‌های آبیاری سطحی و تحت فشار با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی در دشت دز.....۴۷
حامد پورصمصام، الهام اکبری، علی محمد آخوندعلی و سعید برومندنسب
- بررسی اثر کم آبیاری و دو شیوه آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد دو رقم بادام زمینی.....۶۱
علی عبدزادگوهری
- ارزیابی مدل‌های نفوذ آب به خاک در برخی کلاس‌های بافتی خاک و کاربری اراضی در حوضه دریاچه ارومیه.....۷۳
فرشته بت‌وخته، مجتبی خوش‌روش و حسین دهقانی سانج
- اثرات بالقوه قیمت‌گذاری و سهمیه‌بندی آب بر بهره‌وری آب و مصرف نهاده‌های کشاورزی در استان کهگیلویه بویراحمد.....۸۹
ارسلان بی‌نیاز، محمود احمدپور برازجانی، سامان ضیایی و حمید محمدی

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 کار بردن 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.

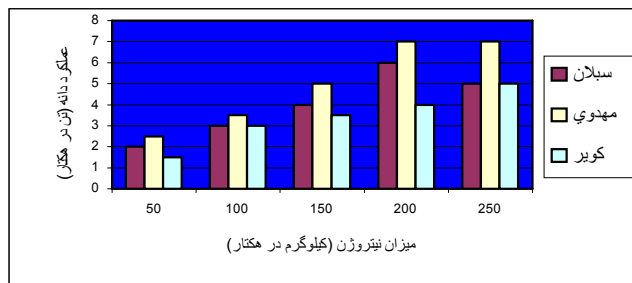
جدول نامناسب

بافت	<i>Mge xch</i>	<i>Kavail</i> .	<i>Pava il</i>	OC (%)	TNV (%)	EC (dS. m- 1)	pH	عمق (cm)
	<i>(Mg.kg-1)</i>							
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

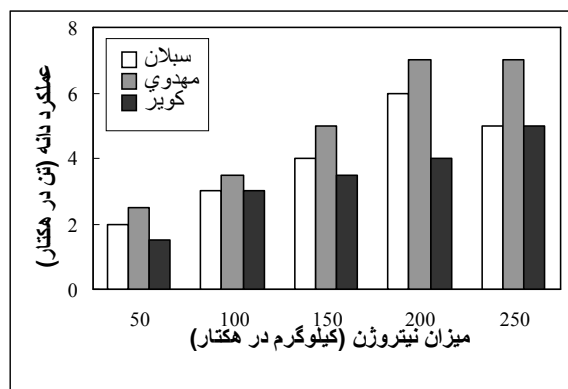
جدول مناسب

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

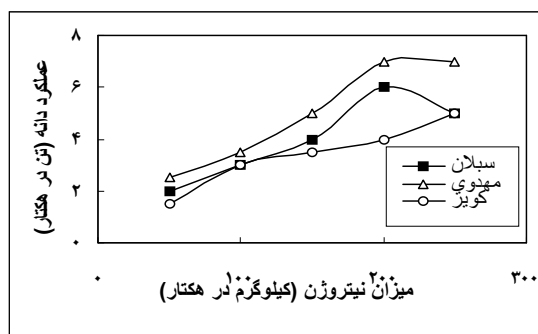
نامناسب



مناسب



مناسب



دکتر حامد ابراهیمیان.....	۳ دآوری
دکتر هرمز اسدی.....	۳ دآوری
دکتر محمدرضا امداد.....	۱ دآوری
دکتر محمد بای بوردی.....	۱ دآوری
دکتر مسعود پارسی نژاد.....	۳ دآوری
دکتر آرش تافته.....	۲ دآوری
دکتر محمدعلی حاج عباسی.....	۱ دآوری
دکتر نادر حیدری.....	۱ دآوری
دکتر وحید رضاوردینژاد.....	۲ دآوری
دکتر محسن رفعتی.....	۱ دآوری
دکتر حمیدرضا سالمی.....	۱ دآوری
دکتر حسن علیپور.....	۱ دآوری
دکتر عبدالمجید لیاقت.....	۱ دآوری
دکتر منصور معیری.....	۱ دآوری
دکتر سید فرهاد موسوی.....	۱ دآوری
دکتر محمد مهدی نخجوانی مقدم.....	۵ دآوری
دکتر حمیده نوری.....	۱ دآوری

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 وضعیت مدیریت آبیاری و امکان بهبود آن در مزارع گندم در شبکه آبیاری سد سیستان با استفاده از مدل SWAP

محمدامین خندان بارانی، پیمان افراسیاب^۱، مهدی اکبری و معصومه دلبری

دانشجو دکتری آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک دانشگاه زابل، زابل، ایران.

aminbarani2008@gmail.com

دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک دانشگاه زابل، زابل، ایران.

peyman.afrafiab@uoz.ac.ir

دانشیار بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی، کرج، ایران.

akbari_m43@yahoo.com

دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک دانشگاه زابل، زابل، ایران.

masoomeh.delbari@uoz.ac.ir

دریافت: آبان ۱۳۹۹ و پذیرش: اسفند ۱۳۹۹

چکیده

در این تحقیق وضعیت موجود بهره‌وری آب برای تولید گندم و امکان بکارگیری راهکارهای افزایش بهره‌وری آب در شرایط مختلف دسترسی به آب در شبکه آبیاری سد سیستان، تعیین و تجزیه و تحلیل شد. بدین منظور با در نظر گرفتن وضعیت موجود بهره‌برداری از منابع آب، مقادیر مختلف آب آبیاری و بهره‌گیری از اطلاعات مزرعه‌ای، مدل شبیه‌سازی SWAP، واسنجی و صحت‌سنجی شد. برای تعیین برنامه آبیاری (زمان و عمق)، از توابع تولید آب کاربردی برای محصول گندم استفاده شد. نتایج اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای در سال زراعی ۱۳۹۶-۱۳۹۵ در شبکه آبیاری مطالعه شده نشان داد که در شرایط موجود، کشاورزان منطقه به‌طور میانگین محصول گندم را در چهار نوبت آبیاری می‌کنند و متوسط عملکرد محصول حدود ۱۴۵۰ کیلوگرم در هکتار و بهره‌وری آب حدود ۰/۴۱ کیلوگرم بر مترمکعب است. این نتایج نشان می‌دهد که از آب قابل دسترس به شکل مناسبی بهره‌برداری نمی‌شود و باید با راهکارهای کاربردی برای بهبود بهره‌وری آب اقدام شود. نتایج صحت‌سنجی و واسنجی مدل SWAP نیز نشان‌دهنده صحت بالای مدل در منطقه مطالعه بود. نتایج سناریوهای مختلف مدیریتی حذف تعدادی از نوبت‌های آبیاری نسبت به شرایط موجود نشان داد که اگرچه در بهره‌وری آب تفاوت فاحشی مشاهده نشد اما عملکرد محصول حدود ۳۷٪ کاهش یافت. نتایج ارزیابی سناریوهای کاهش عمق و دور آبیاری (استفاده از ۶۴۰ میلی‌متر آب در کل فصل و آبیاری به میزان ۴۰ میلی‌متر در هر نوبت)، نشان داد که در صورت تأمین مطمئن و به موقع آب و اجرای آبیاری در نوبت‌های بیشتر می‌توان بهره‌وری آب را نسبت به سناریوی مبنا به مقدار ۳۰٪ و عملکرد محصول را تا دو برابر شرایط موجود افزایش داد. در این سناریوها وجود رطوبت مناسب در عمق ریشه گیاه باعث افزایش محصول شده و مقدار نفوذ عمقی به شدت کاهش یافت چون میزان آب کاربردی کشاورزان به‌علل مختلف بیش از اندازه است، از این‌رو، توصیه می‌شود شیوه‌های بهبود مدیریت آبیاری و مدیریت زراعی با توجه به آب قابل دسترس در شبکه آبیاری به کشاورزان آموزش داده شود تا آن‌ها خود به توزیع آب، متناسب با نیاز واقعی گیاه و آبیاری در زمان مناسب و به میزان کفایت روی آورند.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌ریزی آبیاری، بهره‌وری آب، عمق و دور آبیاری

^۱ - آدرس نویسنده مسئول: زابل، گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک دانشگاه زابل
مقاله برگرفته از پایان‌نامه مقطع دکتری (کد گرنت: Uoz-GR2330)

مقدمه

غلات نقش زیادی در تأمین امنیت غذایی دنیا دارند. در بین غلات، گندم، ذرت و برنج با بالاترین مقدار تولید بیشترین سهم را در تأمین غذا به خود اختصاص داده‌اند. گندم به دلیل سازگاری گسترده با شرایط آب و هوایی مختلف، سهولت کاشت، امکان نگهداری طولانی مدت، ارزش غذایی زیاد و قابلیت مصرف در اشکال مختلف از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است (احمدوند و نجف‌پور، ۲۰۱۰). افزون بر این گندم غذای اصلی بسیاری از مردم را تشکیل داده و حدود ۴۰ درصد کالری مصرفی مردم از این محصول تأمین می‌شود. از این رو استفاده از زمینه‌های تحقیقاتی برای افزایش تولید گندم به عنوان مهم‌ترین محصول زراعی کشور ضروری به نظر می‌رسد (امیری، ۲۰۱۶).

با توجه به محدودیت منابع آب و سهم زیاد مصرف آب در بخش کشاورزی باید به دنبال راهکارهایی برای بهبود مدیریت آبیاری در مزارع و ارتقاء بهره‌وری آب کشاورزی بود (ملدن، ۲۰۰۷؛ استودتو و همکاران، ۲۰۰۷). از این رو بایستی برای افزایش بهره‌وری آب در شرایط مختلف دسترسی به آب، دور و عمق بهینه آبیاری را تعیین شود. برای بررسی گزینه‌های مختلف می‌توان از آزمایش‌های مزرعه‌ای و یا مدل‌های شبیه‌سازی استفاده کرد. اجرای آزمایش‌های مزرعه‌ای با محدودیت‌هایی از قبیل هزینه‌بر و زمان‌بر بودن، عدم امکان اجرای گزینه‌های متعدد و پیچیده مدیریت آبیاری و محدود بودن صحت نتایج به دست آمده به یک منطقه خاص و شرایط آزمایش، همراه است (اکبری، ۱۳۹۰).

مدل‌های شبیه‌سازی رشد یکی از ابزارهای کارآمد برای پایش رشد محصولات کشاورزی و بررسی محدودیت‌های ممکن و مدیریت‌های مختلف در مزرعه است (احمدی و همکاران، ۲۰۱۵). از طرفی صحت مدل‌های شبیه‌سازی عمدتاً به دقت داده‌های ورودی بستگی دارد و در صورتی که به‌درستی واسنجی شده‌وند،

به‌دون محدودیت زم-انی و مک-انی موجود در آزمایش‌های مزرعه‌ای و نیز صرف زمان و هزینه زیاد، می‌توانند برای شبیه‌سازی سناریوهای مختلف مدیریت آبیاری به کارگرفته شوند (مصطفی‌زاده فرد و همکاران، ۲۰۰۹). واسنجی مدل‌های شبیه‌سازی نیز نیاز به داده‌های آزمایشگاهی و مزرعه‌ای دارد که در برخی موارد در دسترس نبوده و یا از نظر زمانی متفاوت هستند (استودتو و همکاران، ۲۰۰۹؛ دروگرز و همکاران، ۲۰۰۱).

برآورد عملکرد محصول در مدیریت کشاورزی و اتخاذ تصمیم‌های به‌موقع برای تأمین غذا اهمیت بسیار دارد. ایران دارای سطوح وسیع کشت محصولات مختلف است و برآورد عملکرد محصول گیاهان در زمان مناسب و با دقت مطلوب ضروری است. مدل‌های شبیه‌سازی رشد گیاه، در مقیاس کوچک، ابزار تحقیقاتی قدرتمندی است که در پیش‌بینی عملکرد گیاه در سامانه‌های زراعی مختلف استفاده می‌شود (مختاری، ۱۳۹۰). از این مدل‌ها می‌توان به مدل Wofost (دایپن و همکاران، ۱۹۸۹)، CERES (گادوین و جونز، ۱۹۹۱)، WTGROWS (اگارول و همکاران، ۱۹۹۴)، SVAT (مو و لیو، ۲۰۰۱) و SWAP (کروس و ون دم، ۲۰۰۳) اشاره کرد.

مدل SWAP^۱ برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی عملکرد، زهکشی، مدیریت آبیاری در کشت آبی و بیلان آب در سیستم‌های هیدرولوژیکی و جریان آب و املاح در سیستم‌های هیدرولوژیکی کشاورزی در کشورهای مختلف و همچنین ایران مورد ارزیابی قرار گرفته و نتایج خوبی در مقایسه با اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای داشته است. اساس مدل ارتباط فیزیکی پارامترهای خاک، آب، اتمسفر و گیاه است و از متغیرهای مختلف اقلیمی، آب، خاک و گیاه به‌عنوان ورودی استفاده می‌کند (وظیفه دوست و همکاران، ۲۰۰۸؛ سینگ و همکاران، ۲۰۰۶؛ هامادا و همکاران، ۲۰۲۰). همچنین محققان زیادی در کشورهای

¹ Soil Water Atmosphere Plant

مختلف از مدل SWAP برای مدیریت آبیاری و برآورد عملکرد گیاهان زراعی و باغی استفاده کرده‌اند که از آن‌ها می‌توان به تحقیق در مزارع نیشکر کوبا (روئیز و آتست، ۲۰۰۳)، در زاراکوزای اسپانیا (آتست و همکاران، ۲۰۰۷) و در مزارع گندم و جو و پنبه هند (سینگ و همکاران، ۲۰۰۶) اشاره کرد. بررسی مطالعات انجام شده در برآورد عملکرد محصول با استفاده از مدل SWAP نشان می‌دهد که دقت این مدل به صحت داده‌های ورودی بستگی زیادی دارد (بادیه‌نشین و همکاران، ۱۳۹۳).

کو مار و همکاران (۲۰۱۵)، در تحقیقی مدل SWAP را برای شبیه‌سازی حرکت نمک در لایه‌های مختلف نیم‌رخ خاک و بررسی عملکرد نسبی چهار رقم گندم تحت رژیم‌های مختلف آبیاری شور را مورد ارزیابی قرار دادند و به نتایج قابل قبولی دست یافتند. در تحقیقی دیگر سه مدل شناخته شده SWAP، CropSyst و MACRO در شبیه‌سازی رطوبت نیم‌رخ خاک در مزارع تحت کشت ذرت در مناطق شمالی ایتالیا مورد مقایسه و بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که هر سه مدل عملکرد مشابهی دارند. در مجموع مدل SWAP به دلیل بهره‌گیری از روش‌های متفاوت حل عددی معادله ریچاردز با توجه به در نظر گرفتن شرایط مرزی مناسب در بالا و پایین نمونه خاک عملکرد بهتری نشان داد (بنفانت و همکاران، ۲۰۱۰). همچنین حرکت آب در خاک و اجزای بیلان آب با استفاده از مدل SWAP و سنجش از دور در مزارع تحت کشت گندم در شمال غربی چین شبیه‌سازی شد. نتایج نشان داد از مدل SWAP می‌توان به عنوان ابزاری مفید برای شبیه‌سازی حرکت و توزیع رطوبت در خاک و محاسبه اجزای بیلان آب استفاده کرد (سینگ و همکاران، ۲۰۱۰). مدل SWAP نیز قابلیت شبیه‌سازی رشد گیاه در شرایط تنش‌های خشکی و شوری را دارد. ولی شرایط محیطی رشد گیاه را از نظر مواد غذایی، آفات و بیماری‌ها بهینه و نامحدودکننده فرض می‌کند و این امر باعث ایجاد خطا در نتایج می‌شود (کروس و ون دم، ۲۰۰۳).

سینگ و همکاران (۲۰۰۶) نیز برای بررسی شاخص بهره‌وری مصرف آب در منطقه Sirsa هند از مدل SWAP استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که در مزارع گندم با بهبود مدیریت‌های گیاهی می‌توان میزان بهره‌وری مصرف آب را ۱/۵ برابر افزایش داد. اکبری و همکاران (۱۳۸۷) نیز با استفاده از مدل SWAP نشان دادند که در صورت اصلاح تقویم آبیاری محصول گندم در شبکه آبیاری آبشار، عملکرد محصول ۱۵ درصد و بهره‌وری مصرف آب ۴۰ درصد افزایش خواهد یافت. وردی‌نژاد و همکاران (۱۳۸۹) از مدل SWAP برای تعیین عمق بهینه آبیاری و مدیریت‌های مختلف آبیاری با آب شور بر عملکرد محصولات زراعی در رود شت اصفهان استفاده کردند. این محصولات شامل گندم، جو، پنبه، چغندر قند، پیاز، آفتابگردان و ذرت علوفه‌ای بود. نتایج نشان داد در شرایط محدودیت کمی آب و برای ۱۰۰۰۰ مترمکعب در هکتار آب در دسترس، حداکثر سود خالص از کشت پیاز حاصل شد. دهقان و همکاران (۱۳۹۰) شاخص‌های بهره‌وری مصرف آب در مزارع گندم دشت نیشابور را با استفاده از مدل SWAP مورد بررسی قرار دادند و اظهار داشتند که در صورت برنامه‌ریزی صحیح آبیاری ضمن کاهش آب مصرفی، شاخص‌های WP_{ETQ} و WP_{ITR} به ترتیب ۴۸ و ۶۱ درصد افزایش می‌یابد. حسن‌لی و همکاران (۲۰۱۶) برای برآورد عملکرد علوفه ذرت سه مدل AquaCrop، SALTMED و SWAP را بررسی کردند. نتایج نشان داد مدل‌های SALTMED و SWAP در برآورد عملکرد ذرت تحت تنش شوری عملکرد بهتری نسبت به مدل AquaCrop داشتند.

در مطالعه‌ای برای تعیین بهره‌وری آب در سطوح مختلف حوضه و شبکه‌های آبیاری از نتایج شبیه‌سازی بیلان آب در خاک و رشد محصول استفاده شده است (اکبری، ۱۳۹۰). در مطالعه‌ای دیگری از مدل SWAP در شرایط کم آبیاری راهبردهای مختلفی بر روی کشت برنج آزمایش شد. هدف از این آزمایش

آینده استفاده شد. از نتایج جنبی این پژوهش می‌توان به بررسی مدیریت آبیاری و تعیین کارایی آب در وضعیت فعلی آب آبیاری اشاره کرد.

مواد و روش

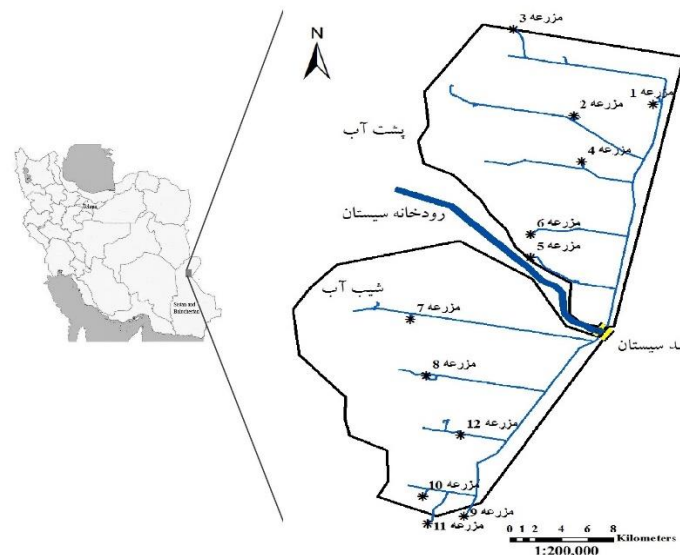
معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه مطالعه شده اراضی تحت پوشش شبکه آبیاری سد سیستان در استان سیستان و بلوچستان در جنوب شرقی ایران است (شکل ۱). ارتفاع متوسط دشت از سطح دریای آزاد ۴۸۰ متر است و براساس شاخص دوامرتن (DAI^۱) دارای آب و هوای فراخشک است (طاوسی و همکاران، ۱۳۹۸). میانگین بارندگی سالانه ۵۸ میلی‌متر و میزان تبخیر پتانسیل نزدیک به ۵۰۰۰ میلی‌متر در سال است. تنها منبع تأمین آب دشت سیستان رودخانه سیستان است. رودخانه سیستان ضمن عبور از دشت سیستان آب مورد نیاز اراضی تحت پوشش سد سیستان (شیب‌آب و پشت‌آب) را تأمین می‌کند و در خارج از فصول آبیاری، مخازن چاه نیمه را نیز آبیاری می‌کند. مساحت اراضی تحت پوشش شبکه آبیاری سد سیستان ۶۰۰۰۰ هکتار است که وسعتی معادل ۴۷۳۰۰ هکتار اراضی خالص زراعی را در برمی‌گیرد. بافت خاک غالب این اراضی متوسط است و معمولاً در تمامی این اراضی کشت‌های زراعی از جمله گندم، جو و هندوانه کشت می‌شود و آبیاری اراضی به روش سطحی انجام می‌شود (محمدی و همکاران، ۱۳۹۹).

انتخاب بهترین روش مدیریت آبیاری برای افزایش بهره‌وری آب برنج در مناطق کم‌آب با حداقل اثر سو بر رشد و پتانسیل تولید محصول است (جنوبای و همکاران، ۲۰۱۸). در تحقیقی دیگر از مدل SWAP برای شبیه‌سازی و بهینه‌سازی برنامه آبیاری ذرت استفاده کردند. نتایج نشان داد که مدل در شبیه‌سازی رطوبت خاک، شوری خاک و عملکرد گیاه ذرت با مقادیر اندازه‌گیری شده مطابقت خوبی دارد. همچنین برنامه آبیاری مناسبی برای آبیاری ذرت شبیه‌سازی شد (پن و همکاران، ۲۰۲۰). در تحقیقی از مدل SWAP برای برآورد عملکرد برنج استفاده شد. مقایسه متغیرهای آماری نشان داد که میانگین مقادیر ضریب تعیین (R^2) و ضریب کارایی مدل (EF) در برآورد عملکرد اجزای برنج در مراحل مختلف رشد با مدل SWAP به ترتیب بیش از ۰/۷۰ و ۰/۹۰ و با یک خطای ۱/۹۳ تا ۶/۵۴ درصد معادل ۱۳۴/۲۱ تا ۴۷۰/۴۳ کیلوگرم در هکتار بود؛ بنابراین نتایج آن‌ها نشان داد مدل SWAP عملکرد برنج را در منطقه مورد مطالعه با صحت مناسب تخمین می‌زند (پاندی و همکاران، ۲۰۲۰).

با توجه به موارد فوق و نتایج رضایت‌بخش کاربرد مدل‌های شبیه‌سازی در بررسی وضعیت موجود و بهبود مدیریت آبیاری در سطح جهان، در پژوهش حاضر از مدل شبیه‌سازی SWAP و داده‌ها و اطلاعات موجود برای بررسی تأثیر برنامه‌ریزی آبیاری و مدیریت زراعی بر عملکرد محصول، بهره‌وری آب در شرایط گوناگون مدیریت آبیاری در سطح مزارع گندم شبکه آبیاری سد سیستان و ارائه گزینه‌هایی برای بهبود کارایی آب در

^۱ De Martonne Aridity Index



شکل ۱- موقعیت منطقه مطالعه شده در دشت سیستان

مدل SWAP

مدل SWAP یک مدل شبیه‌سازی خاک، آب، اتمسفر و گیاه است که بر اساس قوانین فیزیکی و قطعی حاکم بر فرایندهای آب‌شناختی و شیمیایی موجود در زنجیر پیوست آب، خاک، گیاه و اتمسفر تدوین و توسعه یافته است (کروس و ون دم، ۲۰۰۳). این مدل جریان عمودی حرکت آب و نمک را در خاک همراه رشد گیاه شبیه‌سازی می‌کند. مدل SWAP با استفاده از معادله دیفرانسیلی یک بعدی ریچاردز که ترکیبی از دو معادله داری و پیوستگی است، انتقال آب در خاک را شبیه‌سازی می‌کند (سینگ و همکاران، ۲۰۱۰):

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = C(h) \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K(h) \frac{\partial h}{\partial z} - K(h) \right) - S_w \quad (1)$$

که در آن:

θ رطوبت حجمی خاک $[L^3 L^{-3}]$ ، $C(h)$ ظرفیت دیفرانسیلی آب خاک $(d\theta/dh)$ $[L^{-1}]$ ، h مکش ماتریک $[L]$ ، هدایت هیدرولیکی غیراشباع $[L T^{-1}]$ ، t زمان $[T]$ ، z عمق خاک $[L]$ و $S_w(z, t)$ آب جذب شده توسط ریشه $[L^3 (L^3 \cdot T)^{-1}]$ است (فدس و همکاران، ۱۹۷۸).

مدل SWAP می‌تواند مؤلفه‌های مختلف را در

یک واحد شبیه‌سازی همگن از نظر نوع خاک، زهکشی، شرایط آب زیرزمینی، شرایط آب و هوایی و بارش، گیاه یا ترکیب گیاهی و آبیاری (روش، عمق، شوری) برآورد کند. شبیه‌سازی رشد گیاه و محاسبه عملکرد محصول بر اساس مدول رشد گیاه در مدل شبیه‌سازی SWAP انجام می‌شود. این مدل بر اساس مدل WOFOST است و عملکرد پتانسیل را بر اساس شرایط محیطی و ویژگی‌های گیاهی برآورد می‌کند.

داده‌های ورودی به مدل

داده‌های ورودی مدل عبارت‌اند از: داده‌های مربوط به هواشناسی، داده‌های خاک، داده‌های گیاهی و مدیریت آبیاری. داده‌های هواشناسی مورد نیاز شامل: حداکثر و حداقل دمای هوا، رطوبت هوا، میزان تشعشع، سرعت باد و بارندگی روزانه از ایستگاه هواشناسی زابل که ایستگاه هواشناسی سینوپتیک واقع در منطقه مورد مطالعه است، جمع‌آوری گردید. بر اساس بافت خاک مزارع پایش، تعداد لایه‌های نیمرخ خاک مشخص و به مدل معرفی گردید. از بین پارامترهای هیدرولیکی خاک حساس‌ترین

ساده موجود در مدل SWAP استفاده شد. روش‌های اندازه‌گیری متغیرهای خاک و گیاه نیز تعداد دفعات اندازه‌گیری آن‌ها در طول فصل رشد در جدول یک نشان داده شدند.

پارامترها (n, θ_{sat}, K_{sat}) شناسایی و سپس بر اساس بافت خاک با استفاده از توابع انتقالی موجود در مدل SWAP برای هر لایه خاک یک تخمین اولیه برای پارامترهای هیدرولیکی خاک صورت گرفت (وردی‌نژاد و همکاران، ۱۳۸۹). برای شبیه‌سازی رشد محصول از مدل گیاهی

جدول ۱- پارامترهای اندازه‌گیری یا جمع‌آوری شده مورد نیاز مدل

پارامتر	روش اندازه‌گیری یا جمع‌آوری	تعداد دفعات نمونه‌گیری
بافت خاک	روش USDA	یکبار
چگالی ظاهری خاک	نمونه‌گیری دست نخورده	یکبار
هدایت هیدرولیکی اشباع خاک	روش بار افتان	یکبار
رطوبت خاک	روش وزنی	پیش از هر آبیاری
شوری عصاره اشباع	هدایت الکتریکی سنج	۲ بار
رطوبت FC و PWP	صفحات فشاری	یکبار
حجم (عمق) آب	کنتور حجمی	هر آبیاری
ارتفاع گیاه	اندازه‌گیری مزرعه‌ای	۴ بار
شاخص سطح برگ	LAI متر	۴ بار
عمق توسعه ریشه	اندازه‌گیری مزرعه‌ای	۴ بار
عملکردانه‌ای	اندازه‌گیری مزرعه‌ای	یکبار

در هر نوبت آبیاری در هر یک از مزارع منتخب تعیین و به‌عنوان داده ورودی به مدل داده شد. پس از پایان دوره ر شد، مقدار بهره‌وری آب بر اساس مقادیر عملکرد و کل آب ورودی به مزارع منتخب با استفاده از رابطه دو محاسبه شد:

$$CWP_i = \frac{Y_i}{I_i} \quad (2)$$

که در آن:

CWP_i بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب)، Y_i عملکرد (کیلوگرم بر هکتار)، I_i حجم آب ورودی به مزرعه منتخب و اندیس i شماره مزرعه منتخب است. مقدار برخی از متغیرهای اندازه‌گیری شده در مزارع پایش در جدول دو ارائه شد.

متغیرهای گیاهی مورد نیاز مدل SWAP که در فصل رشد اندازه‌گیری شدند عبارت بودند از: تاریخ کشت، تاریخ جوانه‌زنی، تاریخ برداشت، عمق ریشه، ارتفاع بوته و شاخص سطح برگ که در چهار نوبت در فواصل زمانی مشخص اندازه‌گیری شدند (جدول ۳).

جمع‌آوری پارامترهای اندازه‌گیری

با توجه به اهداف و فرضیات تحقیق، برای بررسی تأثیر برنامه‌ریزی آبیاری و مدیریت زراعی بر عملکرد گیاه گندم لازم است اطلاعات مورد نیاز از سطح مزارع منتخب اندازه‌گیری شود. در این تحقیق ۱۲ مزرعه گندم به‌صورت تصادفی در شبکه آبیاری شیب‌آب و پشت‌آب (منطقه مرود مطالعه) انتخاب شد (شکل ۱). مزارع انتخابی از مزارع غالب منطقه مورد مطالعه بودند که در این تحقیق از آن‌ها به‌عنوان مزارع پایش نام برده می‌شود. این مزارع غالباً از نظر اقلیم، نوع کشت، بافت خاک، منبع تأمین آب و شیوه آبیاری مشابه هستند. متغیرهای اندازه‌گیری در مزارع شامل بافت خاک، سطح زیر کشت، شوری خاک، عملکرد، حجم و دبی آب ورودی به مزرعه بودند. دبی ورودی به مزارع با استفاده از پارشال فلوم و مولینه در هر نوبت آبیاری اندازه‌گیری شد. تفاوت برخی از متغیرهای اندازه‌گیری شده در مزارع با اندازه‌گیری مدت زمان آبیاری، دبی آبیاری، حجم آب ورودی به مزرعه تعیین و سرانجام عمق آب آبیاری

جدول ۲- مقدار متغیرهای اندازه‌گیری شده در مزارع منتخب

نام مزرعه	تعداد دفعات آبیاری	کل آب ورودی به مزرعه (مترمکعب در هکتار)	عملکرد (کیلوگرم بر هکتار)	بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب)	هدایت الکتریکی خاک (دسی‌زیمنس بر متر)	بافت خاک
Fi		W	Y	CWP	EC	
F ₁	۴	۳۹۸۰	۱۱۷۶	۰/۳۰	۲/۷	loam
F ₂	۴	۳۱۱۳	۱۱۱۱	۰/۳۶	۲/۸	loam
F ₃	۴	۳۰۸۷	۱۲۵۰	۰/۴۰	۳/۵	silty clay loam
F ₄	۴	۳۹۶۷	۱۵۳۸	۰/۳۹	۲/۵	sand
F ₅	۴	۲۷۵۰	۱۱۷۲	۰/۴۳	۲/۵	sandy loam
F ₆	۴	۴۲۰۰	۱۴۸۲	۰/۳۵	۳/۵	loam
F ₇	۴	۳۹۹۰	۱۶۰۰	۰/۴۰	۵/۳	silt loam
F ₈	۴	۳۹۰۸	۱۵۶۲	۰/۴۰	۳	sand
F ₉	۴	۲۹۵۰	۱۴۷۸	۰/۵۰	۳/۵	sandy loam
F ₁₀	۴	۳۵۰۷	۱۵۵۶	۰/۴۴	۳/۵	sandy loam
F ₁₁	۴	۳۱۳۳	۱۵۷۵	۰/۵۰	۳/۴	silt loam
F ₁₂	۴	۳۸۵۶	۱۹۱۶	۰/۵۰	۴	loam

جدول ۳- مقدار متغیرهای گیاهی اندازه‌گیری شده در مزارع منتخب

شماره مزرعه	مرحله اول			مرحله دوم			مرحله سوم			مرحله چهارم		
Fi	طول ریشه	ارتفاع ساقه	شاخص سطح برگ	طول ریشه	ارتفاع ساقه	شاخص سطح برگ	طول ریشه	ارتفاع ساقه	شاخص سطح برگ	طول ریشه	ارتفاع ساقه	شاخص سطح برگ
F ₁	۴/۲	۶/۲	۰/۱	۱۸	۳۸/۶	۱/۷	۲۲	۶۵/۳	۲	۲۷/۶	۹۸	۰/۹
F ₂	۳/۶	۵/۸	۰/۲	۱۷/۵	۳۶/۶	۱/۳	۲۴	۶۲/۷	۲/۲	۲۸	۱۰۰	۰/۹
F ₃	۳/۵	۵/۵	۰/۱	۱۸	۳۷/۳	۱/۵	۲۰	۶۵/۶	۲/۳	۲۸/۵	۹۷	۰/۹
F ₄	۳/۹	۳/۹	۰/۲	۱۶/۵	۴۲/۵	۱/۷	۲۱	۶۷/۲	۲/۲	۲۹	۱۰۲	۱/۲
F ₅	۴	۳/۶	۰/۱	۱۸	۳۸/۶	۲	۲۴	۶۵/۶	۲	۲۸	۱۰۸	۱
F ₆	3/4	۴/۹	۰/۱	۱۸/۵	۳۲/۵	۲/۲	۲۴	۶۰/۵	۲/۴	۲۹	۱۰۰	۱
F ₇	۳/۱	۶/۱	۰/۲	۱۶	۴۰	۱/۷	۲۵	۶۳/۶	۲	۳۰	۱۰۰	۱/۱
F ₈	۳/۳	۵/۸	۰/۱	۱۷/۵	۳۳/۴	۱/۵	۲۱	۷۲	۲/۳	۲۸/۶	۹۹	۱
F ₉	۳	۵/۴	۰/۲	۱۶	۴۴	۱/۷	۲۳	۶۶	۲	۳۱	۱۰۰	۱
F ₁₀	۳/۸	۶	۰/۱	۱۹	۳۲	۱/۷	۲۴	۶۳/۴	۲	۳۱	۱۰۱	۱
F ₁₁	۲/۳	۵/۹	۰/۱	۱۸	۳۳	۱/۵	۲۵	۶۰/۷	۲/۱	۳۰	۹۵	۱
F ₁₂	۴/۴	۴/۳	۰/۲	۱۸	۳۸/۳	۱/۷	۲۳	۷۰	۲	۳۰	۹۸	۱/۲

واسنجی و صحت‌سنجی مدل

در این تحقیق برای واسنجی مدل SWAP، ۵۰

درصد مزارع پایش انتخاب شد و با استفاده از اطلاعات این مزارع مدل اجرا و عملکرد شبیه‌سازی شده با عملکرد اندازه‌گیری شده مقایسه شد. در حالتی که عملکرد شبیه‌سازی شده با عملکرد اندازه‌گیری شده تطبیق نداشت شاخص‌های مورد نظر در دامنه مجاز بر اساس داده‌های اندازه‌گیری یا جمع‌آوری شده

تغییر داده شدند. این مراحل تا آنجا تکرار شد که نتایج عملکرد شبیه‌سازی شده بر عملکرد اندازه‌گیری با دقت قابل قبولی منطبق شود. برای صحت‌سنجی مدل، با استفاده از مدل واسنجی و به کارگیری اطلاعات اندازه‌گیری شده در ۵۰ درصد باقی‌مانده مزارع پایش شبیه‌سازی و با عملکرد اندازه‌گیری شده مقایسه شدند.

بررسی صحت برآورد و ارزیابی مدل

برای بررسی کارایی مدل، از شاخص‌های ارزیابی از جمله ضریب تعیین (R^2)، ریشه میانگین مربعات خطا ($RMSE^2$) و ضریب مقدار باقیمانده (CRM^3) استفاده شد. ضریب R^2 نشان‌دهنده چگونگی برازش مدل و $RMSE$ نشان‌دهنده صحت مدل هستند. هر اندازه مقدار $RMSE$ کمتر و میزان R^2 بیشتر باشد، مدل اعمال شده دارای صحت برآورد بیشتری خواهد بود. شاخص CRM نشان‌دهنده مقادیر شبیه سازی شده خیلی بزرگ یا خیلی کوچک نسبت به مقادیر اندازه‌گیری شده است. در حالت ایده‌آل چنانچه تمامی مقادیر پیش‌بینی و اندازه‌گیری شده با هم برابر شوند مقدار این شاخص برابر صفر می‌شود. روابط محاسبه آن‌ها به شرح زیر است (چای و دراکسلر، ۲۰۱۴؛ مینزنی و مک برتنی، ۲۰۰۷):

$$R^2 = \frac{(O_i \cdot P_i)^2}{\sum_{i=1}^n O_i^2 \cdot \sum_{i=1}^n P_i^2} \quad (3)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{n}} \quad (4)$$

$$CRM = \frac{(\sum_{i=1}^n O_i - \sum_{i=1}^n P_i)}{\sum_{i=1}^n O_i} \quad (5)$$

در روابط بالا O_i مقدار اندازه‌گیری شده، P_i مقدار تخمین زده شده و n تعداد نقاط اندازه‌گیری شده است.

گزینه‌های برنامه‌ریزی آبیاری

برای ارزیابی مدیریت آبیاری موجود در منطقه و برنامه‌ریزی مناسب آبیاری در شرایط مختلف مزرعه‌ای و بررسی تأثیر تغییرات کمی آب آبیاری بر بهره‌وری مصرف آب از مدل واسنجی شده $SWAP$ استفاده شد. به‌طورکلی پنج گزینه بررسی شدند (جدول ۴):

بخش اول: تاریخ‌ها و عمق آبیاری بر اساس برنامه آبیاری موجود در منطقه به مدل داده و به‌عنوان گزینه مبنا در نظر گرفته شد. بر اساس اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای بهره‌برداران برای آبیاری گندم چهار نوبت آبیاری انجام

می‌دهند و در هر نوبت ۱۰۰ میلی‌متر آب آبیاری بکار برده می‌شود.

بخش دوم: فرض شد که امکان تغییر تاریخ و عمق آب آبیاری در منطقه وجود ندارد و زارع فقط می‌تواند تعدادی از نوبت‌های آبیاری را حذف کند و یا امکان دارد به علت محدودیت منابع آب، امکان آبیاری در یک یا دو نوبت از آبیاری فراهم نشده باشد. گزینه‌های حذف ترکیب‌های مختلف نوبت‌های آبیاری مورد بررسی قرار گرفت و بهترین گزینه حذف نوبت آبیاری بر اساس عملکرد محصول و میزان بهره‌وری مصرف آب برای منطقه مورد مطالعه در این بخش پیشنهاد شد.

بخش سوم: فرض شد که امکان تغییر تاریخ آبیاری‌ها در منطقه وجود ندارد و آب کافی در دسترس نیست ولی زارع می‌تواند با مدیریت زراعی مناسب عمق آب آبیاری را به میزان ۲۰ درصد کاهش دهد؛ به عبارت دیگر در تمام گزینه‌های بخش اول و دوم کاهش ۲۰ درصدی عمق آب آبیاری بررسی و بهترین گزینه پیشنهاد شد.

بخش چهارم: در این گزینه فرض شد که آب کافی در دسترس و قابلیت انعطاف در مدیریت توزیع آب از طریق امکان تغییر تاریخ آبیاری‌ها برای بهره‌برداران فراهم بوده و عمق آب آبیاری ثابت در نظر گرفته شد. با توجه به مقدار حداکثر تخلیه مجاز گیاه گندم (۰/۶۵) از گزینه مدیریتی تخلیه مجاز از کل آب در دسترس (TAW) برای ارائه تقویم آبیاری توسط مدل استفاده شد (اکبری و همکاران، ۱۳۹۰).

بخش پنجم: با فرض اینکه عمق و تاریخ‌های آبیاری در منطقه مورد مطالعه قابل تغییر است، برنامه آبیاری برای دو عمق آب آبیاری ۸۰ و ۱۰۰ میلی‌متر (عمق آبیاری مرسوم در منطقه) بر اساس مقادیر تنش مجاز روزانه (Tre) (۰/۴ تا ۰/۹۹) توسط مدل $SWAP$ تعیین شد و بهترین برنامه آبیاری برای منطقه مطالعاتی از بین گزینه‌های پیشنهادی مدل انتخاب شد.

³ Coefficient of Residual Mass

¹ correlation coefficient

² Root Mean Square Error

جدول ۴- مشخصات گزینه‌های مختلف آبیاری در شرایط موجود و بهبود مدیریت زراعی و آبی در منطقه مورد مطالعه

شرح سناریو	سایر آبیاری‌ها (میلی‌متر)	آبیاری اول (میلی‌متر)	سناریوها	فرض‌ها	بخش اول
سناریوی مبنا	۱۰۰	۱۰۰	۱	تاریخ و عمق آب آبیاری ثابت	بخش اول
حذف آبیاری دوم در شرایط موجود	۱۰۰	۱۰۰	۲	حفظ تاریخ‌ها و عمق آب آبیاری	بخش دوم
حذف آبیاری سوم در شرایط موجود	۱۰۰	۱۰۰	۳		
حذف آبیاری دوم و چهارم در شرایط موجود	۱۰۰	۱۰۰	۴		
کاهش ۲۰ درصدی عمق آب سایر آبیاری‌ها در سناریوی ۱	۸۰	۱۰۰	۵	کاهش عمق آب آبیاری‌ها به جز آبیاری اول	بخش سوم
کاهش ۲۰ درصدی عمق آب سایر آبیاری‌ها در سناریوی ۲	۸۰	۱۰۰	۶		
کاهش ۲۰ درصدی عمق آب سایر آبیاری‌ها در سناریوی ۳	۸۰	۱۰۰	۷		
کاهش ۲۰ درصدی عمق آب سایر آبیاری‌ها در سناریوی ۴	۸۰	۱۰۰	۸		
خاک آب + انجام ده آبیاری (در تاریخ پیشنهادی مدل)	۱۰۰	۱۰۰	۹	عمق آبیاری، تعداد و تاریخ‌های آبیاری قابل تغییر	بخش چهارم
خاک آب + انجام ده آبیاری (در تاریخ پیشنهادی مدل)	۹۰	۹۰	۱۰		
خاک آب + انجام ده آبیاری (در تاریخ پیشنهادی مدل)	۸۰	۸۰	۱۱		
خاک آب + انجام یازده آبیاری (در تاریخ پیشنهادی مدل)	۷۰	۷۰	۱۲		
خاک آب + انجام دوازده آبیاری (در تاریخ پیشنهادی مدل)	۶۰	۶۰	۱۳		
خاک آب + انجام پانزده آبیاری (در تاریخ پیشنهادی مدل)	۴۰	۴۰	۱۴		
نسبت تعرق واقعی به پتانسیل ۵۰ درصد	۱۰۰	۱۰۰	۱۵	عمق آبیاری ثابت، تعداد و تاریخ آبیاری بر اساس پیشنهاد مدل	بخش پنجم
نسبت تعرق واقعی به پتانسیل ۶۰ درصد	۱۰۰	۱۰۰	۱۶		
نسبت تعرق واقعی به پتانسیل ۷۰ درصد	۱۰۰	۱۰۰	۱۷		
نسبت تعرق واقعی به پتانسیل ۸۰ درصد	۱۰۰	۱۰۰	۱۸		
نسبت تعرق واقعی به پتانسیل ۹۰ درصد	۱۰۰	۱۰۰	۱۹		
نسبت تعرق واقعی به پتانسیل ۹۵ درصد	۱۰۰	۱۰۰	۲۰		
نسبت تعرق واقعی به پتانسیل ۵۰ درصد	۸۰	۸۰	۲۱		
نسبت تعرق واقعی به پتانسیل ۶۰ درصد	۸۰	۸۰	۲۲		
نسبت تعرق واقعی به پتانسیل ۷۰ درصد	۸۰	۸۰	۲۳		
نسبت تعرق واقعی به پتانسیل ۸۰ درصد	۸۰	۸۰	۲۴		
نسبت تعرق واقعی به پتانسیل ۹۰ درصد	۸۰	۸۰	۲۵		
نسبت تعرق واقعی به پتانسیل ۹۵ درصد	۸۰	۸۰	۲۶		

نتایج و بحث

پس از انتخاب مزارع، داده‌های مورد نیاز این تحقیق در مزارع منتخب اندازه‌گیری و یادداشت‌برداری شد (جدول ۲). بافت خاک غالب در مزارع پایش از سبک (شنی) تا به نسبت سنگین (سیلتی رسی لوم) بود؛ بنابراین بر اساس نتایج بافت خاک مزارع پایش، بافت خاک منطقه

به‌طور کلی لومی در نظر گرفته شد. تغییرات هدایت الکتریکی خاک‌های مطالعه شده، برابر ۲/۵ تا ۵/۳ دسی‌زیمنس بر متر (جدول ۲)، کل آب ورودی به مزرعه، ۲۷۵۰ تا ۴۷۰۰ مترمکعب بر هکتار، عملکرد محصول ۱۱۱۱ تا ۱۹۱۶ کیلوگرم بر هکتار و بهره‌وری آب ۰/۳۰ تا ۰/۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب بود (جدول ۵).

جدول ۵- خلاصه آمار توصیفی متغیرهای اندازه‌گیری شده در مزارع منتخب

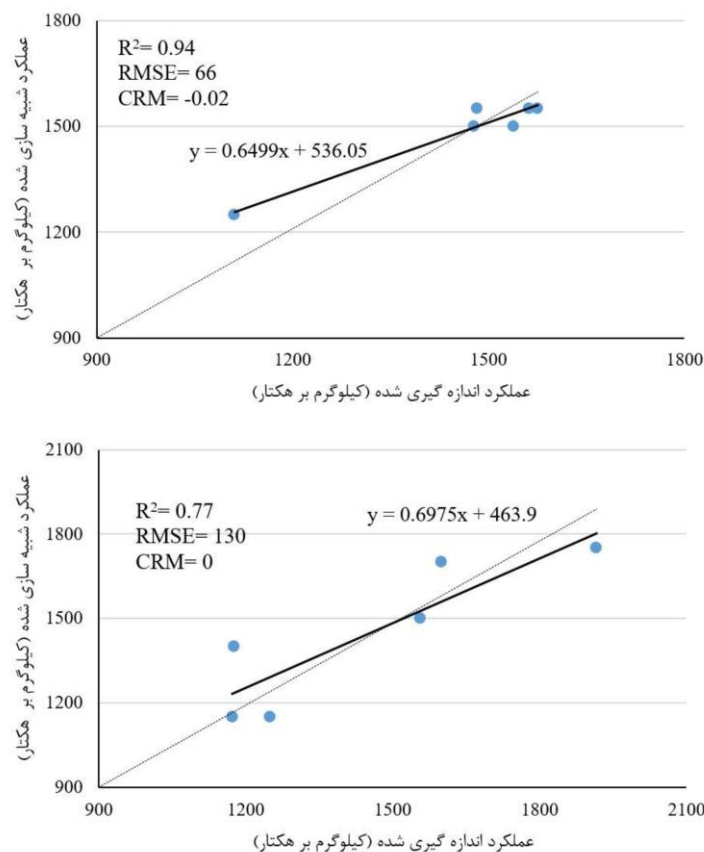
پارامتر	کل آب ورودی به مزرعه (مترمکعب در هکتار)	عملکرد (کیلوگرم بر هکتار)	بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب)	هدایت الکتریکی خاک (دسی‌زیمنس بر متر)
	W	Y	CWP	EC
میانگین	۳۵۳۶	۱۴۵۱	۰/۴۱	۳/۳
حداقل	۲۷۵۰	۱۱۱۱	۰/۳۰	۲/۵
حداکثر	۴۲۰۰	۱۹۱۶	۰/۵۰	۵/۳
انحراف معیار	۵۰۲	۲۳۲	۰/۰۶	۰/۷۷

برای واسنجی و صحت‌سنجی مدل، مزارع به دو قسمت تقسیم شدند. از ۵۰ درصد مزارع (۶ مزرعه منتخب) برای واسنجی و ۵۰ درصد دیگر (۶ مزرعه) برای صحت‌سنجی استفاده شد (جدول ۶). شکل ۲-الف نتایج حاصل از واسنجی مدل در پیش‌بینی عملکرد را نشان می‌دهد. همچنین نتایج حاصل از صحت‌سنجی مدل در شکل ۲-ب آورده شده است. نتایج شاخص‌های آماری واسنجی و صحت‌سنجی مدل SWAP ارائه شده در شکل دو نشان داد مدل صحت قابل قبولی دارد و می‌توان از آن به‌عنوان ابزاری برای بررسی عملکرد محصول و برنامه‌ریزی آبیاری استفاده کرد. مقایسه شاخص‌های ارزیابی مدل نشان داد که مقدار ضریب تعیین داده‌ها (R^2) برای واسنجی و صحت‌سنجی مدل به ترتیب ۰/۹۴ و ۰/۷۷ تعیین شد که بیانگر همبستگی بالا بین مقادیر عملکرد اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده

توسط مدل SWAP است. همچنین ریشه میانگین مربعات خطاها (RMSE) برای واسنجی و صحت‌سنجی مدل به ترتیب ۶۶ و ۱۳۰ کیلوگرم بر هکتار به دست آمد. روشن است عملکرد گیاه به عواملی مانند میزان کود، اثر آفات و بیماری‌ها، تراکم علف‌های هرز و مدیریت آبیاری بستگی دارد، ولی در شبیه‌سازی‌ها از این محدودیت‌ها صرف‌نظر شده است. مقدار منفی CRM نیز نشان می‌دهد مدل SWAP مقدار عملکرد را حدود دو درصد بیشتر از مقادیر اندازه‌گیری شده برآورد می‌کند؛ بنابراین می‌توان گفت مدل SWAP توانایی دارد مقادیر عملکرد را با صحت قابل قبولی برآورد کند. اکبری و همکاران (۱۳۸۷) نیز نشان دادند که این مدل قابلیت خوبی برای پیش‌بینی و مدیریت آبیاری در شرایط متفاوت آب و هوایی دارد که با نتایج این تحقیق مطابق است.

جدول ۶- مقایسه متغیرهای واسنجی و صحت‌سنجی شده مدل SWAP

واسنجی				صحت‌سنجی			
شماره مزرعه	ضریب Ky	عملکرد اندازه‌گیری شده (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد شبیه‌سازی شده (کیلوگرم در هکتار)	شماره مزرعه	ضریب Ky	عملکرد اندازه‌گیری شده (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد شبیه‌سازی شده (کیلوگرم در هکتار)
F ₂	۰/۲۵	۱۱۱۱	۱۲۵۰	F ₁	۰/۲۴	۱۱۷۶	۱۴۰۰
F ₄	۰/۳۱	۱۵۳۸	۱۵۰۰	F ₃	۰/۲۵	۱۲۵۰	۱۱۵۰
F ₆	۰/۳۰	۱۴۸۲	۱۵۵۰	F ₅	۰/۳۲	۱۶۰۰	۱۷۰۰
F ₈	۰/۳۱	۱۵۶۲	۱۵۵۰	F ₇	۰/۳۸	۱۹۱۶	۱۷۵۰
F ₉	۰/۳۰	۱۴۷۸	۱۵۰۰	F ₁₀	۰/۲۳	۱۱۷۲	۱۱۵۰
F ₁₁	۰/۳۲	۱۵۷۵	۱۵۵۰	F ₁₂	۰/۳۱	۱۵۵۶	۱۵۰۰



شکل ۲- نتایج واسنجی (الف) و صحت‌سنجی (ب) مدل SWAP در پیش‌بینی عملکرد

تأثیر تغییرات کمی آب آبیاری بر عملکرد محصول

نتایج بیان آب در خاک و پارامترهای مختلف آن برای تمامی گزینه‌های تعریف شده در بخش مواد و روش‌ها (جدول ۴) برای هر گزینه در جدول هفت نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد گزینه مبنا از مجموع ۴۰۰ میلی‌متر آب قابل دسترس، ۱۸۱ میلی‌متر به مصرف واقعی گیاه (تعرق واقعی) و حدود ۵۴ درصد آب قابل دسترس به شکل‌های مختلف از جمله نفوذ عمقی (۱۱۰ میلی‌متر) از دسترس خارج شده است.

جدول هفت همچنین نشان می‌دهد که در شرایط موجود از آب قابل دسترس به شکل مناسبی بهره‌برداری نمی‌شود و نیاز است با راهکارهای کاربردی برای بهبود بهره‌وری آب اقدام شود. محمدی و همکاران (۱۳۹۹) نیز در تحقیق خود در شبکه آبیاری سد سیستان به نتایج مشابهی دست یافتند. روشن است که آبیاری به میزان کفایت و در زمان مورد نیاز به‌ترین

گزینه خواهد بود. اما این راهکار با شرایط واقعی کشاورزی موجود در منطقه مطابقت ندارد و لازم است که با توجه به شرایط واقعی موجود از راهکاری نزدیک به شرایط بهینه انتخاب شود. در بخش دوم از این پژوهش فرض شد که کشاورز امکان حذف تعدادی از نوبت‌های آبیاری را دارد. این افراد، برای کاهش آب آبیاری و افزایش سودمندی آب فقط می‌توانند تعدادی از دفعات آبیاری را که اهمیت کمتری دارند را حذف کنند (گزینه‌های ۲ تا ۴). نتایج تجزیه و تحلیل‌ها نشان داد که از نظر بهره‌وری آب تفاوت فاحشی بین گزینه‌ها وجود ندارد اما با کاهش ۵۰ درصد آب آبیاری، عملکرد گیاه حدود ۴۰ درصد کاهش نشان داد. این یافته‌ها نشان داد که در شرایط تنش خشکی و بسته به زمان وقوع آن و بسته به میزان آب قابل دسترس امکان دستیابی به محصول مناسب با تنش آبی وجود دارد.

در بخش سوم امکان دارد به علت خشکسالی یا محدودیت منابع آب، عمق آبیاری کاهش و بعضی از نوبت های آبیاری برای کشاورزان حذف شده باشد (گزینه ۵ تا ۸). همان طور که نتایج نشان می دهد گزینه ۵ (کاهش ۲۰ درصدی عمق آب آبیاری در گزینه مبنا) در این بخش بیشترین بهره وری آب را داشته (۰/۴۶) هرچند میزان محصول نسبت به گزینه یک ۹۰ کیلوگرم در هکتار کاهش نشان داد اما بهره وری آب افزایش نشان داد. همچنین میزان نفوذ عمقی در این گزینه حدود ۵۰ درصد نسبت به گزینه مبنا کاهش داشت از این رو از گزینه های ارائه شده در این بخش می توان بسته به میزان آب قابل دسترس برای شرایط کم آبی و سال های خشک سالی به عنوان یک راهنمای آبیاری با بهره وری آب مناسب استفاده کرد. هرچند در گزینه ۵ در عمل کم آبیاری وجود داشته است اما با کاهش ۱۵ درصد آب آبیاری، عملکرد محصول ۵ درصد کاهش و کارایی مصرف آب ۱۲ درصد افزایش یافته - سه اس - ت. دروگ - رز و تراپ - سی (۲۰۰۲) نیز در مطالعه ای با استفاده از مدل شبیه سازی SWAP روی مدیریت مصرف آب در شبکه های آبیاری در حوضه زاینده رود، بهبود برنامه ریزی آبیاری را برای افزایش عملکرد محصول و کارایی مصرف آب توصیه کردند که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. این محققان همچنین کم آبیاری و کاهش سطح زیر کشت را در شرایط کم آبی و خشک سالی پیشنهاد کرده اند.

روشن است که عملکرد محصول متأثر از عواملی از جمله تغییرات کمی آب آبیاری است. زمان کاربرد آب آبیاری و متناسب بودن آن با نیاز گیاه اهمیت زیادی دارد. در ادامه تأثیر تغییرات کمی آب آبیاری بر عملکرد محصول گندم در شبکه آبیاری سیستان توسط مدل SWAP مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در بخش چهارم گزینه های این پژوهش عمق آبیاری ها در هر گزینه ثابت و تاریخ های آبیاری قابل تغییر و برابر تاریخ پیشنهادی مدل در نظر گرفته شد (گزینه ۹ تا ۱۴). در این

گزینه ها به ترتیب عمق آبیاری کم شد تا شرایطی که امکان آبیاری با عمق کم وجود داشته باشد و در صورت امکان نتیجه مطلوب به کشاورزان توصیه شود. همان طور که نتایج نشان می دهد در این بخش هر چه عمق آبیاری کاهش می یابد و دور آبیاری کوتاه تر می شود بهره وری آب افزایش می یابد.

نتایج بررسی این گزینه ها نشان می دهد که آبیاری در زمان مورد نیاز بیشترین بهره وری را دارد. در گزینه ۱۴ با استفاده از ۶۴۰ میلی متر آب و آبیاری به میزان ۴۰ میلی متر در هر نوبت، عملکرد محصول دو برابر بیشتر شد. ضمن اینکه کارایی مصرف آب (۰/۵۳) نسبت به گزینه مبنا حدود ۳۰ درصد افزایش نشان داد و مقدار نفوذ عمقی به شدت کاهش یافته و نزدیک به صفر شد، در نتیجه به عنوان گزینه برتر در کل گزینه های مورد بررسی انتخاب و برای شرایطی که امکان آبیاری با عمق کم (۴۰ میلی متر در هر نوبت) در زمان مناسب فراهم باشد و در شرایط نرمال آبی قابل توصیه است. اگرچه برای فراهم نمودن امکان آبیاری با عمق کم (حدود ۴۰ میلی متر در هر نوبت آبیاری) به مدیریت زراعی بالایی نیاز است و بدون انجام تسطیح مناسب و اقدامات به زراعی قابل انجام نخواهد بود ولی با اندک اصلاحات به زراعی دستیابی به استفاده از سناریوهای ۱۱ و ۱۲ به سادگی امکان پذیر است. در بخش پنجم گزینه های این پژوهش زمان آبیاری بر اساس در صدی از نسبت تعرق واقعی به تعرق پتانسیل مشخص شد (گزینه ۱۵ تا ۲۶). در این گزینه ها مقدار آب مصرفی و به دنبال آن مقدار نفوذ عمقی نسبت به گزینه مبنا به شدت افزایش پیدا کرد. اگرچه عملکرد محصول نزدیک به سه برابر افزایش داشت (گزینه ۲۱) ولی مقدار بهره وری آب حدود ۵۰ درصد کاهش یافت. این گزینه ها به ویژه گزینه ۲۱ (نسبت تعرق واقعی به پتانسیل ۵۰ درصد و عمق آب آبیاری ۸۰ میلی متر) را می توان برای سال های پربابی به کشاورزان منطقه معرفی کرد.

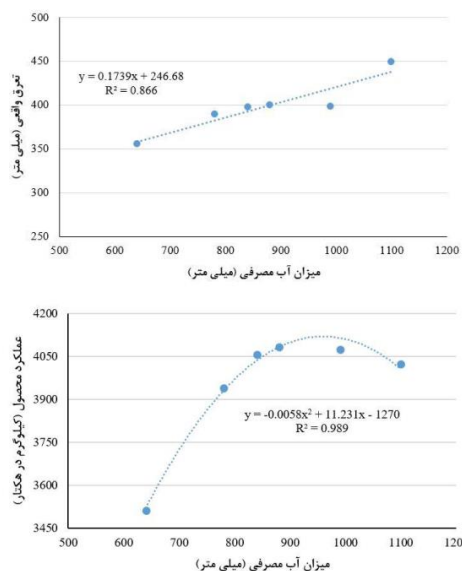
جدول ۷- نتایج متغیرهای مختلف بیلان آب برای گزینه‌های مختلف آبیاری گندم با استفاده از مدل SWAP

فرض‌ها	گزینه‌ها	آبیاری	نفوذ عمقی	تعرق واقعی	تعرق پتانسیل	تبخیر واقعی	تبخیر پتانسیل	عملکرد	بهره‌وری آب
		۱	۴۰۰	۱۱۰	۱۸۱	۴۶۵	۱۶۹	۱۰۸۳	۱۶۴۰
بخش اول	تاریخ و عمق آبیاری ثابت	۱	۴۰۰	۱۱۰	۱۸۱	۴۶۵	۱۶۹	۱۰۸۳	۱۶۴۰
بخش دوم	حفظ تاریخ‌ها و عمق آبیاری (امکان حذف نوبت‌های آبیاری)	۲	۳۰۰	۹۵	۱۱۲	۴۶۵	۱۱۶	۱۰۸۳	۱۲۰۴
		۳	۳۰۰	۱۱۴	۹۶	۴۶۵	۱۳۰	۱۰۸۳	۹۲۱
		۴	۲۰۰	۹۷	۸۵	۴۶۵	۱۰۹	۱۰۸۳	۹۷۵
بخش سوم	کاهش عمق آبیاری‌ها به‌جز آبیاری اول	۵	۳۴۰	۶۸	۱۷۲	۴۶۵	۱۵۹	۱۰۸۳	۱۵۵۰
		۶	۲۶۰	۹۱	۱۰۵	۴۶۵	۱۱۲	۱۰۸۳	۱۱۴۶
		۷	۲۶۰	۹۸	۸۹	۴۶۵	۱۲۷	۱۰۸۳	۸۷۵
		۸	۱۸۰	۹۰	۸۰	۴۶۵	۱۰۴	۱۰۸۳	۹۳۸
بخش چهارم	عمق آبیاری ثابت و تاریخ‌های آبیاری قابل تغییر	۹	۱۱۰۰	۳۲۰	۴۴۹	۴۶۰	۳۷۲	۱۰۱۲	۴۰۲۵
		۱۰	۹۹۰	۲۱۲	۳۹۹	۴۶۵	۴۰۲	۱۰۳۶	۴۰۷۰
		۱۱	۸۸۰	۱۳۳	۴۰۰	۴۶۵	۳۹۰	۱۰۶۷	۴۰۸۳
		۱۲	۸۴۰	۷۷	۳۹۷	۴۶۵	۳۷۵	۱۰۳۶	۴۰۶۰
		۱۳	۷۸۰	۴۲	۳۸۹	۴۶۵	۳۶۱	۱۰۴۲	۳۹۴۰
		۱۴	۶۴۰	۱۶	۳۵۵	۴۶۵	۳۳۱	۱۰۳۶	۳۵۲۰
بخش پنجم		۱۵	۱۰۰۰	۳۹۳	۳۸۱	۴۶۵	۳۹۰	۱۱۰۹	۳۸۲۰
		۱۶	۱۳۰۰	۴۱۰	۳۹۷	۴۶۵	۴۸۳	۱۱۰۹	۴۰۲۰
		۱۷	۱۶۰۰	۵۶۶	۴۰۹	۴۶۵	۵۹۰	۱۱۱۰	۴۱۹۰
		۱۸	۱۹۰۰	۷۷۵	۴۲۰	۴۶۵	۷۰۶	۱۱۱۰	۴۳۳۰
		۱۹	۲۳۰۰	۹۳۴	۴۲۸	۴۶۵	۸۳۳	۱۱۱۰	۴۴۶۰
		۲۰	۲۷۰۰	۱۳۵۰	۴۲۹	۴۶۵	۹۱۵	۱۱۱۰	۴۴۷۰
		۲۱	۲۱۶۰	۱۲۱	۴۴۵	۴۶۵	۹۱۲	۱۱۰۹	۴۷۰۰
		۲۲	۱۰۴۰	۱۹۳	۴۰۲	۴۶۵	۴۷۴	۱۱۰۹	۴۱۰۰
		۲۳	۱۲۰۰	۲۸۱	۴۱۷	۴۶۵	۵۸۵	۱۱۱۰	۴۲۹۰
		۲۴	۱۵۲۰	۴۲۴	۴۲۹	۴۶۵	۷۰۳	۱۱۱۰	۴۴۸۰
		۲۵	۱۸۴۰	۶۳۰	۴۴۲	۴۶۵	۸۳۱	۱۱۱۰	۴۶۵۰
		۲۶	۲۱۶۰	۷۹۷	۴۴۵	۴۶۵	۹۱۳	۱۱۱۰	۴۷۰۰

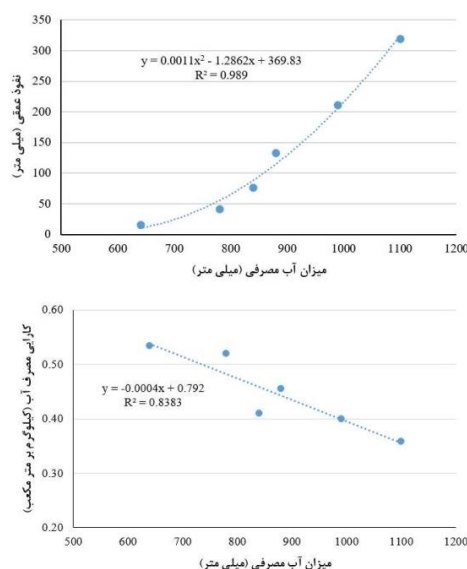
به‌طور کلی بهترین نتایج مدل از نظر بهره‌وری آب در گزینه‌های بخش چهارم (گزینه ۹ تا ۱۴) دیده می‌شود و به‌خوبی می‌توان تغییرات کمی آب آبیاری بر پارامترهای بیلان آب در خاک را مشاهده کرد (شکل ۳). نتایج و روند تغییرات پارامترهای بیلان آب در خاک نشان می‌دهد که روند تغییرات میزان عملکرد محصول و نفوذ عمقی با میزان آب کاربردی از یک تابع درجه دوم تبعیت می‌کند و روند تغییرات تعرق واقعی و بهره‌وری آب با

میزان آب مصرفی از یک تابع درجه اول تبعیت می‌کند که با نتایج بررسی‌های دیگر محققان از جمله گارسیا و همکاران (۲۰۰۹)، دروگوز و ترابی (۲۰۰۳) و اکبری (۱۳۹۰) مطابقت دارد. نتایج بررسی گزینه‌های مختلف نشان داد که بیشترین مقدار عملکرد با کاربرد ۸۸۰ میلی‌متر آب به دست آمده است اما بیشترین بهره‌وری آب و بیشترین درصد افزایش کارایی مصرف آب نسبت به شرایط موجود بهره‌برداری (گزینه مبنا)، مربوط

نسبتاً زیاد افزایش می‌یابد. از این رو میزان ۶۴۰ میلی‌متر آب مصرفی به‌عنوان عمق فعالیت آبیاری محصول گندم برای منطقه مطالعه شده در نظر گرفته شد. ولی در شرایطی که هیچگونه محدودیت آب در منطقه وجود نداشته باشد، می‌توان از دیگر گزینه‌های ارائه شده در جدول شش به عنوان راهنما استفاده کرد.



به استفاده از ۶۴۰ میلی‌متر آب آبیاری است (گزینه ۱۴). این شاخص با مقادیر آب مصرفی نسبت عکس دارد با افزایش آب مصرفی به شدت کاهش می‌یابد. روند تغییرات نفوذ عمقی هم بیانگر آن است که در مقادیر کمتر از ۶۴۰ میلی‌متر آب کاربردی، میزان نفوذ عمقی کم (۱۶ میلی‌متر) است؛ اما با افزایش میزان آب مصرفی، نفوذ عمقی به صورت خطی و با شیب



شکل ۳- نتایج تغییرات کمی آب آبیاری (سناریوهای ۹ تا ۱۴) بر پارامترهای بیلان آب در خاک در آبیاری گندم با مدل SWAP

امکان‌پذیر است. برای این منظور در تحقیق حاضر گزینه‌های مختلفی با کمک مدل SWAP برای آبیاری مزارع گندم اراضی دشت سیستان تعریف شد و نتایج آن‌ها در رابطه با عملکرد محصول تولیدی و بهره‌وری آب مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد مقدار آب مصرفی و تعداد دفعات آبیاری فعلی مزارع کافی نبوده و باعث کاهش بهره‌وری و عملکرد محصول شده است. بررسی نتایج نشان داد که آبیاری در زمان مورد نیاز بیشترین بهره‌وری را در پی خواهد داشت. به‌عنوان نمونه انتظار می‌رود آبیاری به میزان ۶۴۰ میلی‌متر و مقدار ۴۰ میلی‌متر در هر نوبت در زمان مورد نیاز، عملکرد محصول را تا دو برابر افزایش داده و بهره‌وری آب نیز ۳۰ درصد افزایش یابد. همچنین در این گزینه مقدار نفوذ عمقی به

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که از مدل SWAP می‌توان برای شبیه‌سازی جریان آب در خاک، برنامه‌ریزی آبیاری، بیلان آب در خاک و رشد محصول در شرایط متفاوت قابلیت دسترسی به آب بهره گرفت و نتایج رضایت‌بخش به دست آورد. این نتایج با نتایج تحقیقات سایر محققان از جمله فراهانی و همکاران (۲۰۰۹)، رائز و همکاران (۲۰۰۹)، حسینی و همکاران (۲۰۱۵) و اکبری (۱۳۹۰) مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری

بهبود مدیریت آبیاری در مزارع از طریق کاربرد عمق مناسب آبیاری، برنامه‌ریزی صحیح آبیاری و بهبود مدیریت زراعی در شرایط مختلف

از میزان آب مورد نیاز گیاه، بیش از اندازه است، توصیه می‌شود شیوه‌های بهبود مدیریت آبیاری و مدیریت زراعی با توجه به آب قابل دسترس در شبکه آبیاری به کشاورزان آموزش داده شود تا آن‌ها خود به توزیع آب، متناسب با نیاز واقعی گیاه و آبیاری در زمان مناسب و به میزان کفایت روی آورند.

شدت کاهش یافته و نزدیک به صفر شده است از این‌رو برای شرایطی که امکان آبیاری با عمق کم (۴۰ میلی‌متر در هر نوبت) در زمان مناسب فراهم است، در شرایط نرمال آبی قابل توصیه است. از آنجا که منابع آب در دشت سیستان محدود، میزان آب کاربردی کشاورزان به‌علل مختلف از جمله توزیع گردشی آب بین حقابه‌داران، نفوذپذیری بالای خاک در آبیاری اول و ناآگاهی زارعین

فهرست منابع

۱. اکبری م، دهقانی سانپج ح و میرلطیفی م، ۱۳۸۷. تأثیر اصلاح تقویم آبیاری در بهره‌وری آب در کشاورزی. صفحه‌های ۲۳ تا ۲۵. سومین کنفرانس مدیریت منابع آب در ایران. مهرماه، دانشکده عمران، دانشگاه تبریز.
۲. اکبری م، ۱۳۹۰. بیلان آب خاک و عملکرد محصول گندم با استفاده از مدل شبیه سازی AquaCrop (مطالعه موردی در شبکه آبیاری آبشار اصفهان). مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، ۱۲ (۴): ۱۹-۳۴.
۳. بادیه‌نشین ع ر، نوری ح و وظیفه‌دوست م، ۱۳۹۳. بهبود برآورد عملکرد محصول در مدل شبیه‌سازی SWAP با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای. تحقیقات آب و خاک ایران، ۴۵ (۴): ۳۷۹-۳۸۸.
۴. دهقان ه، علیزاده ا، انصاری ح و نادریان‌فر م، ۱۳۹۰. ارزیابی روش‌های افزایش عملکرد و بهره‌وری آب گندم با استفاده از گزینه‌های مدل SWAP (مطالعه موردی: منطقه نیشابور). چهارم کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، ۱۳-۱۴ اردیبهشت، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران.
۵. طاوسی ت، شجاع ف و عسگری ا، ۱۳۹۸. بازنگری پهنه‌های اقلیمی شمال شرق ایران بر پایه کاربرد تلفیقی تغییر شاخص خشکی. نشریه مدیریت بیابان، ۱۳: ۱۱۷-۱۳۴.
۶. محمدی ا، دلبری م، ابول‌پور ب، افراسیاب پ و محمدرضاپور ا، ۱۳۹۹. بررسی عوامل مبهم در تخصیص آب شبکه آبیاری سد سیستان. نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران، ۱۰ (۳۹): ۱۷۴-۱۵۹.
۷. مختاری، شیدا، ۱۳۹۰. توسعه و کاربرد یک مدل ساده (VSM) جهت تخمین منطقه‌ای عملکرد برنج با بهره‌گیری از داده‌های ماهواره‌ای. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان.
۸. وردی‌نژاد و، سهرابی ت، حیدری ن، عراقی‌نژاد ش و فیضی م، ۱۳۸۹. تعیین عمق بهینه آبیاری محصولات زراعی در شرایط شوری با استفاده از مدل SWAP. نشریه آب و خاک، ۲۴ (۳): ۴۶۳-۴۷۵.
۹. وردی‌نژاد و، سهرابی ت، فیضی م، حیدری ن و عراقی‌نژاد ش، ۱۳۸۹. الگوبندی عملکرد محصولات مختلف در شرایط شوری آب آبیاری با استفاده از مدل SWAP. مجله دانش آب و خاک، ۲۰ (۴): ۹۷-۱۱۱.
10. Ahmadi A, Moridi A and Han D, 2015. Uncertainty assessment in environmental risk through Bayesian networks. Journal of Environmental Informatics, 25(1): 46-59.
11. Ahmadvand, MR and Najafpur ZA, 2010. Investigation of cultivation surface, production and supportive policies of wheat during the first to fourth development plans. 2Quarterly Journal of Economic Research and Policies, 18(53): 59-76.
12. Aggarwal PK, Kalra N, Singh AK and Sinha SK, 1994. Analyzing the limitations set by climatic factors, geotype, and water and nitrogen availability on productivity of wheat I. The model description, parameterization and validation, Field Crops Research. 38(12), 73-91.

13. Amiri E, 2016. Assessment of CERES-Wheat Model in simulation of varieties of wheat yield under different irrigation treatments. *Journal of Soil and Water Resources Conservation*, 5(3): 73-85
14. Bonfante A, Basile A, Acutis M, De Mascellis R, Manna P, Perego A and Terribile F, 2010. SWAP, CropSyst and MACRO comparison in two contrasting soils cropped with maize in Northern Italy. *Agricultural Water Management*. 97, 1051–1062.
15. Chai T and Draxler RR, 2014. Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE) Arguments against avoiding RMSE in the literature. *Geosci. Model Dev.* 7 (3), 1247–1250.
16. Diepen CA, Van Wolf J and van Keulen H, 1989. WOFOST: a simulation model of crop production. *Soil Use Manage.* 5(1), 16–24.
17. Droogers P, Torabi M, Akbari M and Pazira E, 2001, Field-scale modeling to explore salinity problems in irrigated agriculture. *Irrig. Drain.* 50, 77-90
18. Droogers P and Torabi M, 2002. Field scale scenarios for water and salinity management by simulation modeling in the Zayandeh Rud basin. Esfahan Province. Iran. IAERI-IWMI Research Reports 12
19. Farahani HJ, Izzi G, Steduto P and Oweis TY, 2009. Parameterization and evaluation of AquaCrop for full and deficit irrigated cotton. *Agron. J.* 101, 469-476.
20. Feddes RA, Kowalik PJ and Zarandy H, 1978. Simulation of Field Water Use and Crop Yield. Pudoc, Wageningen.
21. Garcia-Vila M, Fereres E, Mateos L, Orgaz F and Steduto P, 2009. Deficit irrigation optimization of cotton with AquaCrop. *Agron. J.* 101, 477-487.
22. Godwin DC and Jones CA, 1991. Nitrogen dynamics in soil–plant systems, In: R. J. Hanks, J. T. Ritchie (Eds.). *Modelling plant and soil systems*, Agron. Monog. 31, ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI, USA.
23. Hamada K, Inoue H, Mochizuki H, Asakura M, Shimizu Y and Takemura T, 2020. Evaluating Maize Drought and Wet Stress in a Converted Japanese Paddy Field Using a SWAP Model. *Water*, 12(5): 1-15.
24. Hassanli M, Ebrahimian H, Mohammadi E, Rahimi A and Shokouhi A, 2016. Simulating maize yields when irrigating with saline water, using the AquaCrop, SALTMED, and SWAP models. *Agric. Water Manage.* 176:91-99.
25. Jonubi R, Rezaverdinejad V and Salemi H, 2018. Enhancing field scale water productivity for several rice cultivars under limited water supply. *Paddy and water environment*, 16(1):125-141.
26. Kroes J G and Van Dam JC, 2003. Reference Manual SWAP version 3.03. (Ed). Alterra-report: Alterra Green WorldResearch (Vol. 773). (pp.1-211).MI: Wageningen University and Research Centre.
27. Kumar P, Sarangi A, Singh DK, Parihar SS and Sahoo RN, 2015. Simulation of salt dynamics in the root zone and yield of wheat crop under irrigated saline regimes using SWAP model. *Agric. Water Manage.* 148, 72–83
28. Minasny B, McBratney AB, 2007. Spatial prediction of soil properties using EBLUP with the Matérn covariance function. *Geoderma* 140, 324–336.
29. Mo X and Liu S, 2001. Simulating evapotranspiration and photosynthesis of winter wheat over the growing season. *Agricultural and Forest Meteorology*, 109(10), 203–222.
30. Molden D, 2007. Water for food, water for life: A comprehensive assessment of water management in agriculture. Earthscan. London.
31. Mostafazadeh-fard B, Mansouri H, Mousavi SF and Feyzi M, 2009. Effects of different levels of irrigation water salinity and leaching on yield and yield components of wheat in an arid region. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 135(1):32-38.
32. Pan Y, Yuan C and Jing S, 2020. Simulation and optimization of irrigation schedule for summer maize based on SWAP model in saline region. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 13(3):117-122.

33. Pandi H, Asadi Kapourchal S, Vazifedoust M and Rezaei M, 2020. Simulation of Rice Yield and its Components Using SWAP Model and Remote Sensing Technology for Optimal Use of Water and Soil. *Environment and Water Engineering*, 6(4):374-387.
34. Raes D, Steduto P, Hsiao TC and Fereres E, 2009. AquaCrop. The FAO crop model to simulate yield response to water: II. Main algorithms and software description. *Agron. J.* 101, 438-447.
35. Ruiz ME and Utset A, 2003. Models for predicting water use and crop yields. Report of college on soil Physics. 323-328.
36. Singh R, Van Dam JC and Feddes RA, 2006. Water Productivity analysis of irrigated crops in Sirsa district, India. *Agriculture Water Management*. 82:253-278.
37. Singh UK, Ren L and Kang S, 2010. Simulation of soil water in space and time using an agro hydrological model and remote sensing techniques, *Agricultural Water Management*, 97 (8): 1210- 1220.
38. Steduto P, Hsiao TC and Fereres E, 2007. On the conservative behavior of biomass water productivity. *Irrig. Sci.* 25, 189-207.
39. Steduto P, Hsiao TC, Raes D and Fereres E, 2009. AquaCropThe FAO crop model to simulate yield response to water: I. Concepts and underlying principles. *Agron. J.* 101, 426-437.
40. Utset A, Velicia H, Delrio B, Morillo R, Centenio JA and Martinez JC, 2007. Calibrating and validating an agrohidlogical model to simulate sugar beet water use under Mediterranean conditions. *Agricultural Water Management*, 94(3): 11-21.
41. Vazifedoust M, van Dam JC, Feddes RA and Feizi M, 2008. Increasing water productivity of irrigated crops under limited water supply at field scale. *Agricultural Water Management*, 95(2): 89-102.

اثر سطوح مختلف آبیاری و کود بر بهره‌وری آب و نیتروژن در کاهو

محمد سعید جعفری نجف‌آبادی، حمیده نوری^۱، عبدالمجید لیاقت و حامد ابراهیمیان

دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

m.saeedjafari@ut.ac.ir

دانشیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

hnoory@ut.ac.ir

استاد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

aliaghat@ut.ac.ir

دانشیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

ebrahimian@ut.ac.ir

دریافت: خرداد ۱۳۹۹ و پذیرش: اسفند ۱۳۹۹

چکیده

کاهو یکی از مهم‌ترین سبزی‌های برگی است که بیشتر برای مصارف تازه‌خوری و سالادی استفاده می‌شود. هدف از انجام این پژوهش بررسی تأثیر هم‌زمان سطوح مختلف آب و نیتروژن بر عملکرد کاهو رقم آیسبرگ و یافتن بهترین میزان آبیاری و کودآبیاری نیتروژن برای تولید این گیاه در روش آبیاری قطره‌ای بود. کشت کاهو رقم آیسبرگ، به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار، در سال ۱۳۹۷ شامل سه تیمار آبیاری (I_1 ، I_2 و I_3 به ترتیب برای تأمین ۱۰۰٪، ۸۰٪ و ۶۰٪ تبخیر- تعرق گیاه) و چهار تیمار نیتروژن (N_1 ، N_2 ، N_3 و N_4 به ترتیب مجموعاً ۱۰۵، ۷۰ و ۳۵ و صفر کیلوگرم نیتروژن در هکتار) و در سال ۱۳۹۸ شامل دو تیمار آبیاری (I_1 و I_3) و دو تیمار نیتروژن (N_1 و N_4) بود. نتایج حاکی از تأثیر تیمارهای آبیاری، نیتروژن، و اثر متقابل آن‌ها بر عملکرد بازارپسند کاهو بود اما ماده خشک تولیدی تنها تحت تأثیر تیمارهای آبیاری و نیتروژن قرار گرفت. حداکثر عملکرد بازارپسند و ماده خشک تولیدی، به ترتیب برابر با ۶۶/۱ تن در هکتار و ۲۷۲۸/۲ کیلوگرم در هکتار برای تیمار آبیاری کامل با ۱۰۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (I_1N_1) به‌دست آمد. حداقل عملکرد بازارپسند و ماده خشک تولیدی نیز مربوط به تیمار ۶۰٪ تبخیر- تعرق با ۳۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (I_3N_3)، به ترتیب برابر با ۳۷/۵ تن در هکتار و ۱۹۲۹/۶ کیلوگرم در هکتار بود. حداکثر و حداقل بهره‌وری آب آبیاری برای عملکرد بازارپسند کاهو به ترتیب برابر ۲۱/۶۳ و ۱۵/۳۸ کیلوگرم بر مترمکعب برای تیمار I_2N_1 و I_3N_3 به‌دست آمد. تابع‌های تولید خطی و غیرخطی عملکرد-آب و عملکرد-نیتروژن برای کاهو رقم آیسبرگ به‌دست آمد که در شرایط محیطی مشابه در تحقیقات و کاربردهای اجرایی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: تابع تولید، کم‌آبیاری، کود نیتروژن، عملکرد بازارپسند، کاهو رقم آیسبرگ

^۱ آدرس نویسنده مسئول: البرز، کرج، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی

مقدمه

کاهو با نام علمی (*Lactuca sativa* L.) یکی از مهم‌ترین سبزی‌های برگی است که عمدتاً برای مصارف تازه‌خوری و سالادی استفاده می‌شود و اولین گیاه سالادی کشت‌شده و تجاری‌سازی‌شده در سطح جهان است (ابوریان و همکاران، ۲۰۰۴). این گیاه با توجه به میزان مصرف، از جمله محبوب‌ترین سبزی‌ها و دارای اهمیت اقتصادی بالا در سراسر جهان است (کولهو و همکاران، ۲۰۰۵). کاهو دارای ارقام متنوع از تیپ‌های مختلف اعم از برگی، ساقه‌ای، رومن^۲ و آیسبرگ^۳ است. در کشور ما، کاهو یکی از معروف‌ترین و متداول‌ترین سبزی‌های برگی به شمار می‌رود که روند افزایش سطح زیر کشت این محصول طی سال‌های اخیر بسیار چشمگیر بوده است و بر اساس آمار منتشرشده از سوی وزارت جهاد کشاورزی، سطح زیر کشت شش هزار هکتاری سال ۱۳۸۸ به ۱۱ هزار هکتار در سال ۱۳۹۴ افزایش یافته است. بخش اعظمی از سطح زیر کشت کاهو در کشور ما را کاهوهای تیپ رومن تشکیل می‌دهند اما به موازات آن تولید کاهوی تیپ آیسبرگ اعم از بهاره و پاییزه در سال‌های اخیر مورد استقبال گسترده‌ای قرار گرفته است. این تیپ دارای برگ‌های بسیار ترد و شکننده بوده و برگ‌ها یک هد فشرده و سخت را تولید می‌کنند که نسبت به فشار و ضربه مقاوم و برای حمل به نقاط دور مناسب هستند؛ بنابراین در مواقعی از سال که در برخی از مناطق، امکان تولید کاهوهای رومن فراهم نیست، توجه به تولید این تیپ، استمرار تولید و تأمین نیاز بازار داخل به‌ویژه در مناطق دوردست را میسر می‌سازد (آقابیکی و همکاران، ۱۳۹۶).

افزایش بهره‌وری آب و کود به همراه افزایش تولید در واحد سطح در سال‌های اخیر در مجامع علمی مورد توجه جدی قرار گرفته است. محدودیت منابع آب از نظر کمی و کیفی، برنامه‌ریزی خاص تحت عنوان استفاده بهینه از واحد آب مصرفی را ایجاب می‌نماید که این امر می‌تواند در قالب کاربرد سامانه‌های مختلف آبیاری

تحت فشار (نظیر سامانه‌های آبیاری قطره‌ای و بارانی) و برنامه‌ریزی دقیق آبیاری تحقق یابد. به‌طور کلی، در صورتی که تبخیر خاک نسبت به تبخیر-تعرق گیاه زیاد باشد، سرعت رشد دوره ابتدایی کند باشد، مقدار آبیاری مطابق با نیاز محصول نباشد و ریشه‌ها به دلیل عمق کم قادر به استفاده از رطوبت عمق‌های پایین نباشند، بهره‌وری آب پایین خواهد بود. این مشکلات به‌ویژه در تولید سبزی‌ها که معمولاً مقادیر زیاد آب و کود در تولید آن‌ها به کار می‌رود، رایج است (استارک و همکاران، ۱۹۸۳؛ دورج و همکاران، ۱۹۹۱). از سوی دیگر، یکی از چالش‌های کشاورزی مدرن دستیابی به حداکثر عملکرد با حداقل کردن تأثیرات زیست‌محیطی کشاورزی است. میزان نیتروژن مصرفی در کشت سبزی و صیفی‌جات معمولاً بسیار بیشتر از مقادیر توصیه‌شده است که منجر به تجمع نیترات در گیاه و تلفات آبشویی بالای نیترات می‌شود (راموس و همکاران، ۲۰۰۲؛ تامپسون و همکاران، ۲۰۰۷).

میزان آب مصرفی و تبخیر-تعرق کاهو در طول فصل رشد به رقم کشت‌شده، تراکم کشت، مدیریت زراعی، زمان کاشت، میزان بارندگی و عوامل محیطی وابسته است. کرم و همکاران (۲۰۰۲) نشان دادند میزان تبخیر-تعرق تیمار آبیاری کامل برای ۷۰ روز ۴۱۳ میلی‌متر به دست آمد. بوزکورت و همکاران (۲۰۰۹) مقدار آبیاری کاهو بر اساس تشت تبخیر را ۳۶۵ میلی‌متر برای محیط گلخانه در ترکیه گزارش کردند. بوزکورت و منصورقلو (۲۰۱۱) مقدار آبیاری انجام‌شده برای تیمار آبیاری کامل کاهو را ۲۳۹ میلی‌متر و میزان تبخیر-تعرق را ۴۵۲ میلی‌متر در کشت فضای باز در ترکیه طی ماه‌های اکتبر تا ژانویه گزارش کردند که اختلاف تبخیر-تعرق با میزان آبیاری ناشی از بارندگی‌های پایان فصل بود. پاتیل و همکاران (۲۰۱۳) میزان آب آبیاری محاسبه‌شده به روش پنمن مانیتث برای کاهو کشت‌شده طی فصل زمستان در هند را ۱۶۸ میلی‌متر گزارش کردند. ساهین و همکاران (۲۰۱۶) حداکثر تبخیر-تعرق کاهو در دو سال را به‌طور متوسط ۲۱۴ میلی‌متر در

ترکیه در بازه زمانی می تا ژانویه گزارش کردند. میرداد (۲۰۱۶) نشان داد کل آب مصرفی در دوره رشد کاهو آیسبرگ از نوامبر ۲۰۱۱ تا فوریه ۲۰۱۲ در منطقه عربستان ۳۰۱ میلی‌متر بود.

کل کود نیتروژن توصیه‌شده برای کاهو بین ۱۵۰ تا ۲۰۰ کیلوگرم بر هکتار منهای نیتروژن معدنی موجود در ناحیه ریشه در ابتدای فصل است (دوجر و همکاران، ۱۹۹۱؛ سورنسن و همکاران، ۱۹۹۴؛ کرم و همکاران، ۲۰۰۲). رینکون و همکاران (۱۹۹۸) گزارش دادند افزایش نیتروژن تا ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار عملکرد کاهو را افزایش داد اما مصرف ۱۵۰ تا ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار باعث کاهش آن شد. بررسی‌های تیتونل و همکاران (۲۰۰۳) روی کاهو نشان داد افزایش نیتروژن مصرفی از ۰ تا ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار وزن تازه گیاه را افزایش داد. شاهبازی (۲۰۰۵) گزارش کرد افزایش کود نیتروژن مصرفی باعث افزایش عملکرد کاهو شد اما با مصرف بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد. بررسی‌های صورت گرفته توسط محمودی (۲۰۰۵) روی کاهو (رقم سیاه کرج) هم نتایج مشابه شاهبازی (۲۰۰۵) نشان داد و بیشترین عملکرد کاهو در مصرف ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. بروجردنیا و همکاران (۲۰۰۷) هم نشان دادند افزایش کود نیتروژن مصرفی تا ۱۲۰ کیلوگرم بر هکتار به‌طور فاحشی عملکرد کاهو را افزایش داد درحالی‌که در مقادیر بالاتر عملکرد کاهش یافت. میرداد (۲۰۱۶) نشان داد کاهو آیسبرگ با دریافت ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بیشترین عملکرد و وزن تر و خشک برگ‌های بیرونی را داشت.

رشد کاهو در دوره ابتدایی رشد، کند است و اغلب تولید زیست‌توده آن و جذب آب و نیتروژن ناشی از آن در هفته‌های منتهی به برداشت صورت می‌گیرد (تامپسون و همکاران، ۱۹۹۶؛ گالاردو و همکاران، ۱۹۹۶). گالاردو و همکاران (۱۹۹۶) نشان دادند طی فصل رشد کاهو که ۶۳ روز به طول انجامید، در بازه زمانی ۴۵ روز بعد از کاشت، تبخیر مؤلفه اصلی تبخیر-تعرق کاهو بود. آن‌ها نتیجه گرفتند تلفات تبخیر بالا در اوایل و اواسط فصل

رشد و عدم حساسیت ظاهری کاهو به حجم آبیاری در این دوره می‌تواند فرصتی برای کاهش عمق آبیاری باشد. به‌طورکلی در مورد کاهو امکان کاهش آبیاری بدون از دست دادن عملکرد دور از انتظار نیست (شولباخ، ۱۹۸۸؛ جکسون و همکاران، ۱۹۹۴). سامانه آبیاری قطره‌ای علاوه بر راندمان بالای کاربرد آب، میزان آبشویی نیتروژن را نسبت به روش‌های آبیاری بارانی و جویچه‌ای کاهش می‌دهد و آب و کود را در مدت‌زمان بیشتری در محیط ریشه در افق‌های بالایی خاک نگه می‌دارد. استفاده از سامانه آبیاری قطره‌ای برای اضافه کردن کودهای نیتروژن مؤثرتر از روش‌های پخش کود گرانوله، چال کود یا کود آبیاری در آبیاری سطحی است (شاک، ۱۹۹۸). آبیاری قطره‌ای باعث می‌شود تا آب و نیتروژن به‌طور مستقیم و یکنواخت به ناحیه ریشه گیاه منتقل شود (سامیس، ۱۹۸۰) که می‌تواند علاوه بر افزایش راندمان کاربرد آب، راندمان کاربرد نیتروژن را هم نسبت به سایر روش‌های آبیاری افزایش دهد (میلر و همکاران، ۱۹۸۱؛ فیگین و همکاران، ۱۹۸۲).

گالاردو و همکاران (۱۹۹۶) دریافتند که رابطه بین عملکرد خشک و بازارپسند کاهو با میزان آب استفاده‌شده به‌صورت خطی بود. سامیس و همکاران (۱۹۸۸)، کرنیک و همکاران (۲۰۰۲)، کاسلو و همکاران (۲۰۰۸)، یازگان و همکاران (۲۰۰۸)، سنجیت و کاپلان (۲۰۱۳) و ساهین و همکاران (۲۰۱۳) نیز نتایج مشابهی گرفتند. در سوی دیگر، کاپرا و همکاران (۲۰۰۸)، بوزکورت و همکاران (۲۰۰۹) و بوزکورت و منصورقلو (۲۰۱۱) رابطه بین این دو را از نوع چندجمله‌ای دانستند. گرچه عملکرد خشک کمتر از عملکرد بازارپسند تحت تأثیر میزان آبیاری بود، اما عملکرد کاهو با کاهش آب آبیاری به‌شدت کاهش یافت (بوزکورت و همکاران، ۲۰۰۹). چالا و یوهانس (۲۰۱۵) نتیجه گرفتند کاهو تحت تیمار آبیاری کامل به‌طور چشمگیری عملکرد بالاتری نسبت به سایر تیمارها داشت. موناغان و همکاران (۲۰۱۷) دریافتند هرچه زمان کم‌آبیاری در کاهو آیسبرگ به انتهای دوره رشد نزدیک‌تر شد تأثیر

آن روی عملکرد بازارپسند کاهو افزایش یافت. همچنین افزایش مدت کم‌آبیاری باعث کاهش عملکرد کاهو شد.

در سوی دیگر اثر کود نیتروژن و اثر متقابل آبیاری و کود نیتروژن بر عملکرد بازارپسند کاهو اهمیت زیادی دارد. کرم و همکاران (۲۰۰۲) نشان دادند کم‌آبیاری باعث کاهش عملکرد تازه و خشک کاهو شد و راندمان کاربرد نیتروژن در تیمارهای با کمترین آبیاری، به کمترین میزان خود رسید. بروجردنیا و عالم‌زاده انصاری (۲۰۰۷) در پژوهشی پیرامون تأثیر سطوح مختلف نیتروژن بر عملکرد کاهو نتیجه گرفتند سطوح مختلف کود نیتروژن تأثیر معنی‌داری روی تمام مشخصات رشد کاهو داشت و با افزایش نیتروژن عملکرد افزایش یافت. اوزونیدو و همکاران (۲۰۱۳) در بررسی تأثیر کود نیتروژن و میزان آبیاری روی عملکرد کاهو دریافتند رابطه بین عملکرد کاهو و نیتروژن داده‌شده خطی است و کاهش آبیاری کاهش عملکرد و کیفیت کاهو را در پی داشت و مصرف نیتروژن مازاد از نیاز کاهو به عملکرد بهتر منجر نشد. دی‌جیویه و همکاران (۲۰۱۷) نشان دادند مقادیر مختلف کود نیتروژن تأثیر قابل توجهی روی عملکرد کاهو داشت و رابطه بین عملکرد بازارپسند و خشک کاهو با میزان نیتروژن داده‌شده از نوع رابطه چندجمله‌ای درجه دو بود و بهتر از رابطه خطی گزارش شد. انصاری و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند زیست‌توده کاهو با افزایش سطوح آبیاری و کود نیتروژن داده‌شده افزایش قابل توجهی یافت. راندمان کاربرد نیتروژن نیز با افزایش آبیاری بیشتر شد اما افزایش نیتروژن داده‌شده در تیمار آبیاری یکسان، به کاهش راندمان کاربرد نیتروژن انجامید. یافته‌های آن‌ها نشان داد کمترین راندمان کاربرد نیتروژن در تیمار با حداکثر نیتروژن داده‌شده رخ داد که با یافته‌های فرانچسکو (۲۰۱۳) مطابقت داشت. همچنین طبق مطالعه آن‌ها، با افزایش مقدار آبیاری روند کاهشی در راندمان کاربرد آب مشاهده شد.

مرور مطالعات صورت گرفته در زمینه تأثیر مقادیر مختلف آب آبیاری و کود نیتروژن داده‌شده در طول فصل نشان داد که اغلب آن‌ها به بررسی نقش آب و نیتروژن

به صورت مجزا پرداختند و مطالعات اندکی تأثیر متقابل آن‌ها را روی عملکرد کاهو بررسی کردند. از سوی دیگر با توجه به گستردگی ارقام کاهو، پیشرفت روش‌های مدیریت مزرعه و بهبود عملکرد ارقام مختلف تجاری در سال‌های متمادی، ضرورت تکرار مطالعات صورت گرفته در گذشته، برای بررسی تأثیر مقادیر مختلف آب و کود نیتروژن و اثر متقابل آن‌ها روی عملکرد کاهو را دوچندان می‌کند. برای نمونه، سیمکو و همکاران (۲۰۱۴) گزارش دادند عملکرد کاهو آیسبرگ در آمریکا طی سال‌های ۱۹۵۰ تا ۲۰۱۲، ۱۸۳ درصد افزایش یافته که ناشی از توسعه ارقام مقاوم به آفات و بیماری‌ها و به‌کارگیری روش‌های جدید مدیریت مزرعه بوده است. با توجه به شرایط خاص منابع آب‌و‌خاک در ایران و ویژگی‌های گیاه کاهو، هدف از انجام این پژوهش بررسی تأثیر مقادیر مختلف آب و نیتروژن بر عملکرد کاهو آیسبرگ، یافتن بهترین میزان آبیاری و کود آبیاری نیتروژن برای تولید این محصول و در نهایت ارائه توابع تولید آب و نیتروژن بود.

مواد و روش‌ها

کشت کاهوی آیسبرگ رقم ساهارا (عملکرد بالا و رنگ برگ سبز تیره) در تابستان ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ در مزرعه پژوهشی گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران واقع در کرج انجام شد. این مزرعه از نظر موقعیت جغرافیایی دارای طول جغرافیایی ۵۹° ۵۰' شرقی، عرض جغرافیایی ۴۸° ۳۵' شمالی و ارتفاع ۱۳۳۷ متر از سطح دریا است. بر اساس آمار بلندمدت ایستگاه هواشناسی کرج، شهرستان کرج دارای میانگین بارندگی سالیانه ۲۴۷/۳ میلی‌متر و میانگین سالیانه دمای هوا ۱۴/۴ درجه سانتی‌گراد است. تیرماه با میانگین (حداکثرها) ۳۴/۶ درجه سانتی‌گراد، گرم‌ترین ماه و بهمن‌ماه با میانگین (حداقلها) ۲/۹- درجه سانتی‌گراد، سردترین ماه سال است. کرج با میانگین رطوبت نسبی ۵۳ درصد و تبخیر سالانه ۲۱۸۴ میلی‌متر، دارای اقلیم نیمه‌خشک با زمستان نسبتاً سرد و تابستان نسبتاً معتدل است. سرعت متوسط باد روزانه ۲/۲ متر بر ثانیه و جهت

ظرفیت زراعی به کمک دستگاه صفحات فشاری، چگالی ظاهری به کمک نمونه خاک دست‌نخورده، شوری و اسیدیته عصاره اشباع خاک به کمک دستگاه AZ^۵، رطوبت اولیه خاک به روش وزنی و نیتروژن خاک در ابتدای فصل به کمک روش سمی میکرو-کج‌لدال^۶ (برمنر و کینی، ۱۹۶۵) تعیین گردید (جدول ۱). حداکثر عمق نمونه‌برداری ۶۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد زیرا کاهو دارای ریشه سطحی است و نفوذ آب و ریشه کاهو به عمقی بیش از این مقدار با توجه به مشاهدات غیرمحتمل ارزیابی شد. همچنین آب مورد استفاده جهت آبیاری دارای شوری ۰/۶۷ دسی‌زیمنس بر متر، اسیدیته ۷/۷۲ و مقدار نیترات ۳/۷۶ میلی‌اکی‌والان بر لیتر بود.

غالب آن شمال غرب به جنوب شرق است. میانگین سالیانه جمع ساعات آفتابی ۲۸۹۹ ساعت به‌دست‌آمده است. بررسی آمار و اطلاعات ماهانه و فصلی بارندگی شهرستان کرج نشان می‌دهد که از مجموع بارندگی سالانه مقدار ۱۷۲/۳ میلی‌متر (۶۹/۷٪) در نیمه اول سال زراعی (پائیز و زمستان) و میزان ۶۹/۹ میلی‌متر (۲۸/۲٪) در سه‌ماهه سوم (بهار) و بقیه ۵/۲ میلی‌متر (۲/۱٪) نیز در فصل تابستان توزیع می‌گردد که نشانگر ناچیز بودن بارندگی در فصل تابستان در این منطقه است.

خاک مزرعه آزمایشی برای بررسی در سه عمق و در قسمت‌های مختلف به‌گونه‌ای که معرف کل مزرعه آزمایشی و تغییرات خاک باشد نمونه‌برداری شد و بافت خاک از طریق مثلث بافت خاک USDA، رطوبت حد

جدول ۱- خصوصیات خاک مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

عمق (سانتیمتر)	بافت خاک	ظرفیت زراعی (cm ³ /cm ³)	نقطه پژمردگی (cm ³ /cm ³)	چگالی ظاهری (g/cm ³)	شوری (dS/m)	اسیدیته (pH)	رطوبت اولیه خاک (cm ³ /cm ³)	نیترات (ppm)
۲۰-۰	لوم رسی	۰/۳۰۹	۰/۱۳۵	۱/۴	۲/۶	۷/۴	۰/۱۰۸	۷۸/۰۵
۴۰-۲۰	لوم رسی	۰/۳۰۵	۰/۱۳۵	۱/۴	۱/۵۳	۷/۲۴	۰/۱۷۱	۴۰/۳۲
۶۰-۴۰	لوم رسی	۰/۲۹۶	۰/۱۳۷	۱/۴۵	۱/۵	۷/۲	۰/۱۶۷	۳۱/۴۳

اول اما با دو سطح آبیاری (I₁ و I₃) و دو سطح نیتروژن (N₁ و N₄) در سه تکرار انجام شد. با توجه به نتایج سال اول و تفاوت اندک بین نتایج سطوح آبیاری I₁ و I₂ و سطوح نیتروژن N₁ و N₂ و از دست رفتن نتایج سطح N₄، برای سال دوم از بین سطوح آبیاری، I₁ و I₃ و از بین سطوح نیتروژن، N₁ و N₄ انتخاب شد. هر تیمار با سه تکرار مجموعاً به مساحت ۲۵ مترمربع (شامل چهار ردیف کاهو با فاصله ۵۰ سانتی‌متر از هم) بود که ردیف‌های کناری به‌عنوان حاشیه در نظر گرفته شد و تنها دو ردیف وسط برای اندازه‌گیری استفاده شد (شکل ۱). کشت کاهو به‌صورت نشا با فاصله ۲۵ سانتی‌متر از هم (فاصله روی

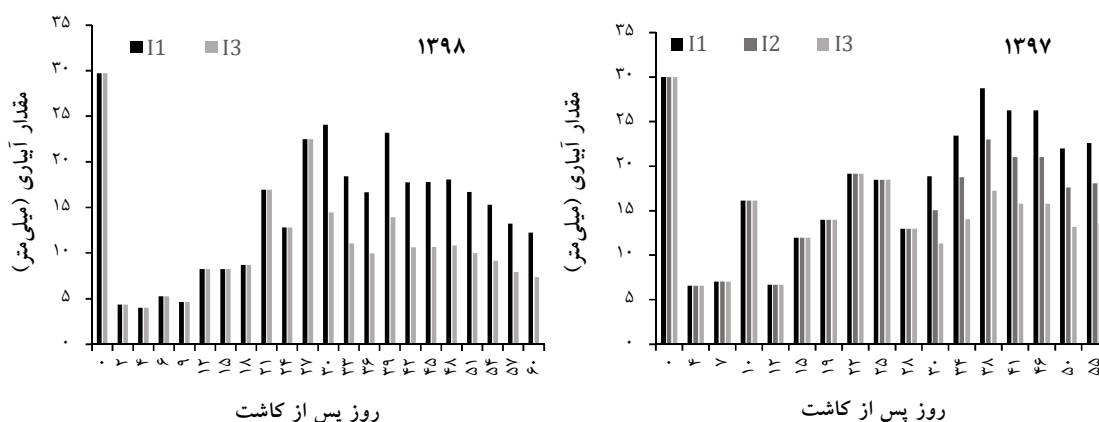
سال اول (۱۳۹۷) آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی شامل ترکیب سه سطح آبیاری (I₁، I₂ و I₃) به ترتیب به شکل تأمین ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد تبخیر-تعرق گیاه هر سه روز یک‌بار) و چهار سطح نیتروژن (N₁، N₂، N₃ و N₄) به ترتیب مجموعاً ۱۰۵، ۷۰، ۳۵ و صفر کیلوگرم نیتروژن در هکتار)، در سه تکرار صورت گرفت. سطوح نیتروژن بر اساس مقادیر توصیه‌شده در منابع علمی و نیتروژن اولیه خاک تعیین گردید (دوگر و همکاران، ۱۹۹۱؛ سورنسن و همکاران، ۱۹۹۴؛ کرم و همکاران، ۲۰۰۲، بروجردنیا و همکاران، ۲۰۰۷؛ میرداد، ۲۰۱۶). طرح آزمایشی سال دوم (۱۳۹۸) هم مشابه سال

^۵Semi micro-Kjeldahl^۶ 86502 AZ Water Quality Professional Benchtop Meter (pH/ORP/mV)

شامل حداقل و حداکثر دما، حداقل و حداکثر رطوبت نسبی، ساعت آفتابی و میانگین روزانه سرعت باد بود. از آنجاکه کاهو گیاهی کندرشد است و عمده رشد آن در یک ماه منتهی به برداشت صورت می‌گیرد، کم‌آبیاری ۲۵ روز پس از کاشت نشا آغاز شد تا استقرار نشا به صورت کامل انجام‌شده باشد. کم‌آبیاری ۲۰ و ۴۰ درصد در تیمارهای I₂ و I₃ در ۳۵ روز انتهایی صورت گرفت و از زمان کاشت نشا تا ۲۵ روز پس‌از آن آبیاری همه تیمارها مشابه تیمار I₁ انجام شد (شکل ۲).



شکل ۱- کشت کاهو آیسبرگ در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران



شکل ۲- برنامه آبیاری تیمارهای آزمایشی ۱۳۹۷ (سمت راست) و ۱۳۹۸ (سمت چپ)

کود به سامانه آبیاری بود. کود نیتروژن در نظر گرفته‌شده برای هر تیمار از نوع نیترات و به صورت کودآبیاری در دو نوبت، ۳۰ و ۴۰ روز پس از کاشت نشا، برای تیمارهای N₁، N₂ و N₃ انجام شد. تیمار N₄ نیز تیمار بدون کاربرد کود

آبیاری از طریق سامانه آبیاری قطره‌ای با نوارهای آبیاری پلاک‌دار با فاصله ۲۰ سانتی‌متر و دبی ۲/۱ لیتر در ساعت انجام شد. سامانه کودآبیاری نیز شامل یک مخزن کود ۲۰۰ لیتری و پمپ تزریق کود بمنظور تزریق یکنواخت

بود. برداشت کاهو ۶۰ روز پس از کاشت نشا با برداشت قسمت خارج از خاک گیاه کاهو و حذف برگ‌های اضافی بیرونی انجام شد و وزن تر کاهو (محصول بازارپسند) اندازه‌گیری شد. سپس برگ‌ها از هم جدا شده و به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد خشک شدند تا وزن ماده خشک اندازه‌گیری شود.

بهره‌وری آب آبیاری از تقسیم وزن عملکرد بازارپسند و ماده خشک تولیدی کاهو بر حجم آب آبیاری مورد استفاده در طول فصل رشد به دست آمد (هاول، ۲۰۰۱). همچنین بهره‌وری نیتروژن از تقسیم وزن عملکرد بازارپسند و ماده خشک تولیدی کاهو بر کل نیتروژن داده‌شده در طول فصل رشد محاسبه شد.

تحلیل آماری نتایج به‌دست‌آمده و رسم نمودارها، به کمک نرم‌افزار SPSS و Origin Pro انجام شد و تأثیر تیمارهای آبیاری، تیمارهای کودآبیاری نیتروژن و اثر متقابل آبیاری و کودآبیاری نیتروژن بر عملکرد کاهو مورد ارزیابی قرار گرفت. همچنین میانگین عملکرد تیمارها با آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد مورد مقایسه قرار گرفت.

نتایج و بحث

مجموع آبیاری انجام‌شده برای تیمارهای آبیاری I_1 ، I_2 و I_3 در سال ۱۳۹۷، به ترتیب، ۳۱۱، ۲۷۷/۴ و ۲۴۳/۸ میلی‌متر و در سال ۱۳۹۸ برای تیمارهای I_1 و I_3 به ترتیب، ۳۱۸/۸ و ۲۴۱/۵ میلی‌متر بود. مقدار آبیاری در روزهای ابتدایی رشد کم بود اما با رشد گیاه و افزایش درصد سایه‌اندازی و افزایش سرعت رشد کاهو، مقدار آبیاری افزایش یافت. بمنظور بررسی اثر تیمارها، میانگین عملکرد بازارپسند و ماده خشک تولیدی در تیمارهای مختلف آبیاری و نیتروژن در سطح احتمال پنج درصد با آزمون توکی مورد ارزیابی قرار گرفت (جدول ۳). حداکثر عملکرد بازارپسند طی دو سال، در تیمار آبیاری کامل با کودآبیاری ۱۰۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار برابر با ۶۶/۱ تن در هکتار

محقق شد. در نتایجی مشابه، بررسی‌های کوئلهو و همکاران (۲۰۰۵) و بوزکورت و همکاران (۲۰۰۹) نشان داد تیمار با آبیاری کامل و بیشترین نیتروژن مصرف‌شده، حداکثر عملکرد کاهو را داشت. کاپرا و همکاران (۲۰۰۸)، کاسلو و همکاران (۲۰۰۸)، یازگان و همکاران (۲۰۰۸)، منصورقلو و همکاران (۲۰۱۰)، مولینا-مونتنگرو و همکاران (۲۰۱۱)، چالا و یوهانس (۲۰۱۵)، ساهین و همکاران (۲۰۱۶) و سانتوش و همکاران (۲۰۱۷) در نتایجی مشابه نشان دادند که عملکرد کاهو با آبیاری کامل به‌طور معنی‌داری بیشتر است. حداکثر ماده خشک تولیدی برابر ۲۷۲۸/۲ کیلوگرم در هکتار نیز متعلق به تیمار آبیاری کامل با کودآبیاری ۱۰۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بود. حداقل عملکرد بازارپسند و ماده خشک تولیدی نیز متعلق به تیمار آبیاری I_3 با کودآبیاری ۳۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به ترتیب برابر ۳۷/۵ تن در هکتار و ۱۹۲۹/۶ کیلوگرم در هکتار بود. همچنین نتایج تیمارهای مشابه در دو سال تفاوت معنی‌داری نداشت. لازم به ذکر است در سال ۱۳۹۷، عملکرد تیمارهای بدون کود (N_4) به دلیل تأثیر سایه‌اندازی کشت ذرت در مجاورت آن، اندازه‌گیری نشد و در سال ۱۳۹۸ مجدداً تکرار شد.

به‌طورکلی کم‌آبیاری و کاهش کود نیتروژن داده‌شده، باعث کاهش عملکرد بازارپسند و ماده خشک تولیدی کاهو آیسبرگ شد که با نتایج سانچز (۲۰۰۰)، اوزونیدو و همکاران (۲۰۱۳)، پاتیل و همکاران (۲۰۱۳) و انصاری و همکاران (۲۰۱۹) مطابقت دارد. نتایج آنالیز واریانس برای سطوح مختلف آبیاری و نیتروژن در کاهو آیسبرگ نشان داد سطوح مختلف آبیاری و نیتروژن روی عملکرد بازارپسند تأثیر معنی‌دار دارد و اثر متقابل آبیاری و کود نیتروژن داده‌شده نیز معنی‌دار بود (جدول ۲). همچنین سطوح مختلف آبیاری و نیتروژن به‌تنهایی روی ماده خشک تولیدی تأثیر معنی‌دار دارد اما اثر متقابل این دو روی ماده خشک معنی‌دار نبود.

جدول ۲- نتایج آنالیز واریانس برای سطوح مختلف آبیاری و نیتروژن و اثر متقابل آن‌ها

متغیر وابسته	منابع واریانس	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	f	P
عملکرد بازارپسند	تکرار	۰/۰۱۵	۲	۰/۰۰۸ ^{NS}	۰/۰۰۱	۰/۹۹۹
	سطوح آبیاری	۲۰۹۶/۳۹۹	۲	۱۰۴۸/۲*	۱۴۴/۱۷۳	۰/۰۰۰
	سطوح نیتروژن	۵۶۰/۱۷۲	۳	۱۸۶/۹۵۷*	۲۵/۷۱۵	۰/۰۰۰
	سال	۲/۱۳۴	۱	۲/۱۳۴ ^{NS}	۰/۲۹۳	۰/۵۹۳
	اثر متقابل آبیاری و نیتروژن	۱۷۹/۶۸۳	۵	۳۵/۹۳۷*	۴/۹۴۳	۰/۰۰۳
	خطا	۱۸۱/۷۶۱	۲۵	۷/۲۷		
	کل	۱۰۵۷۳۱/۴	۳۹			
ماده خشک	تکرار	۹۲۴۸/۹۲۹	۲	۴۶۲۴/۴۶۵ ^{NS}	۰/۲۱۴	۰/۸۰۹
	سطوح آبیاری	۱۵۲۵۹۶۹/۱۲	۲	۷۶۲۹۸۴/۵۵۸*	۳۵/۲۸۷	۰/۰۰۰
	سطوح نیتروژن	۵۴۵۲۲۷/۱۲۲	۳	۱۸۱۷۴۲/۳۷۴*	۸/۴۰۵	۰/۰۰۰
	سال	۶۹۵۴/۳۴۲	۱	۶۹۵۴/۳۴۲ ^{NS}	۰/۳۲۲	۰/۵۷۶
	اثر متقابل آبیاری و نیتروژن	۳۴۴۹۹/۸۹۵	۵	۶۸۹۹/۹۷۹ ^{NS}	۰/۳۱۹	۰/۸۹۷
	خطا	۵۴۰۵۵۰/۷	۲۵	۲۱۶۲۲/۰۳		
	کل	۲۱۳۲۱۳۰۳۵/۴	۳۹			

* و NS به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری و عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد است. f، آماره آزمون f و P مقدار P-value است

نتایج نشان داد در تیمار آبیاری I₃ با ۴۰ درصد کم‌آبیاری تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای مختلف نیتروژن از نظر عملکرد بازارپسند و ماده خشک تولیدی وجود نداشت (جدول ۳). در تیمارهای آبیاری I₁ و I₂ نیز گرچه کاهش نیتروژن از ۱۰۵ به ۷۰ کیلوگرم در هکتار باعث کاهش معنی‌دار عملکرد بازارپسند و ماده خشک تولیدی نشد اما کاهش نیتروژن به ۳۵ کیلوگرم در هکتار باعث کاهش معنی‌دار مقادیر ذکرشده شد. مقایسه عملکرد بازارپسند کاهو در تیمارهای ۳۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار

به‌دست‌آمده در سال اول و بدون کود نیتروژن به‌دست‌آمده در سال دوم، عدم وجود تفاوت معنی‌دار را ثابت کرد. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که به‌طورکلی با کاهش نیتروژن مصرفی عملکرد بازارپسند کاهش یافت که با نتایج سورنسن و همکاران (۱۹۹۴)، شهبازی (۲۰۰۵)، بروجردنیا و عالم‌زاده انصاری (۲۰۰۷)، پاتیل و همکاران (۲۰۱۳)، دی‌جیویه و همکاران (۲۰۱۷)، سیلوستر و همکاران (۲۰۱۹) و انصاری و همکاران (۲۰۱۹) تطابق دارد.

جدول ۳- میانگین عملکرد بازاریپسند و ماده خشک کاهو آیسبرگ در تیمارهای مختلف آبیاری و نیتروژن

سطح آبیاری	سطح نیتروژن	میانگین عملکرد بازاریپسند (تن بر هکتار)		میانگین ماده خشک (کیلوگرم بر هکتار)	
		۱۳۹۷	۱۳۹۸	۱۳۹۷	۱۳۹۸
I ₁	N ₁	۶۶/۱ ^a	۶۳/۲ ^{ab}	۲۷۲۸/۲ ^a	۲۶۸۱/۵ ^{ab}
	N ₂	۵۹/۱ ^{abc}	-	۲۵۲۵/۹ ^{a-d}	-
	N ₃	۵۱/۵ ^{cde}	-	۲۳۳۳/۶ ^{a-f}	-
	N ₄	*	۵۱/۴ ^{de}	*	۲۳۸۹/۸ ^{a-e}
I ₂	N ₁	۶۰ ^{ab}	-	۲۵۴۱/۹ ^{a-c}	-
	N ₂	۵۸ ^{bcd}	-	۲۴۰۹/۶ ^{a-e}	-
	N ₃	۵۰/۷ ^{def}	-	۲۲۶۲/۹ ^{b-f}	-
I ₃	N ₁	۴۳/۴ ^{fg}	۴۴/۶ ^{efg}	۲۱۰۸/۹ ^{d-f}	۲۲۵۱/۹ ^{c-f}
	N ₂	۳۸/۲ ^g	-	۲۰۰۵ ^{ef}	-
	N ₃	۳۷/۵ ^g	-	۱۹۲۹/۶ ^f	-
	N ₄	*	۴۲ ^g	*	۲۰۱۸/۹ ^{ef}

در ستون‌های عملکرد بازاریپسند و ماده خشک به‌طور مجزا، میانگین‌ها با حداقل یک حرف مشترک در سطح احتمال پنج درصد با آزمون توکی فاقد اختلاف معنی‌دار است

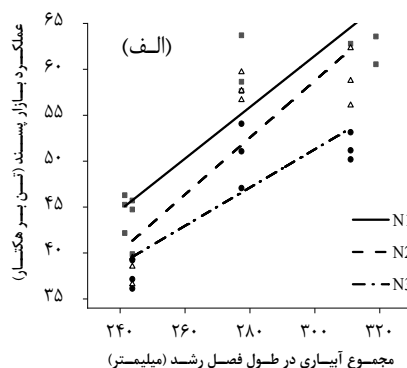
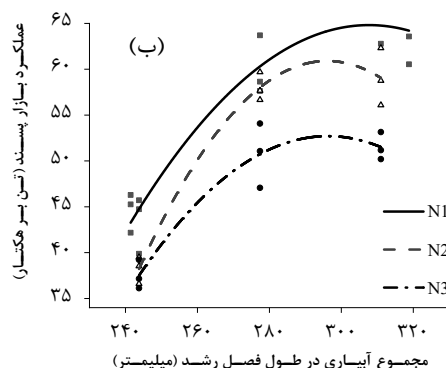
بود. در سال ۱۳۹۸ کاهش عملکرد بازاریپسند و ماده خشک تولیدی ناشی از کم‌آبیاری ۴۰ درصد به ترتیب ۲۴/۵ و ۱۵/۸ درصد نسبت به تیمار آبیاری کامل بود. مولینگا مونتنگرو و همکاران (۲۰۱۱) نیز در نتایجی مشابه، دریافتند نرخ فتوسنتز و تولید زیست‌توده در کاهو در تیمار ۵۰ درصد آبیاری مورد نیاز به مراتب کمتر از تیمارهای ۱۰۰ و ۷۵ درصد بود؛ بنابراین به‌طور کلی نتایج نشان داد تیمارهای آبیاری تأثیر معنی‌داری روی عملکرد بازاریپسند و ماده خشک تولیدی کاهو آیسبرگ داشتند گرچه اثر کاهشی در مورد عملکرد بازاریپسند بیشتر از ماده خشک تولیدی بود که با نتایج کرم و همکاران (۲۰۰۲) همخوانی دارد اما گالاردو و همکاران (۱۹۹۶) و بوزکورت و همکاران (۲۰۰۹)، عنوان کردند کم‌آبیاری تنها روی عملکرد بازاریپسند تأثیر معنی‌دار داشت.

مقایسه تفاوت بین گروهی تیمارهای نیتروژن نیز نشان داد، تفاوت عملکرد بازاریپسند بین سطح نیتروژن N₁ با N₂، N₃ و N₄ و N₂ با N₃ و N₄ معنی‌دار بود ولی بین

برای بررسی تفاوت بین گروهی در میان سطوح مختلف آبیاری و نیتروژن از آزمون توکی استفاده شد. نتایج آزمون توکی در عملکرد بازاریپسند و ماده خشک کاهو آیسبرگ حاکی از تفاوت معنی‌دار بین سطوح آبیاری I₁ و I₂ با سطح آبیاری I₃ بود اما تفاوت معنی‌دار بین سطح آبیاری I₁ با I₂ وجود نداشت، به‌طوری‌که در سال ۱۳۹۷ متوسط عملکرد بازاریپسند تیمارهای I₂ و I₃ به‌طور متوسط به ترتیب ۴/۵ و ۳۲/۵ درصد از متوسط عملکرد تیمارهای آبیاری I₁ (۵۸/۹ تن بر هکتار) کمتر شد. همچنین در سال ۹۷ این مقادیر برای ماده خشک تولیدی به ترتیب ۴/۹ و ۲۰/۴ درصد کاهش نسبت به متوسط ماده خشک تولیدی تیمار I₁ (۲۶۸۱/۵ کیلوگرم بر هکتار) نشان داد. کرم و همکاران (۲۰۰۲)، میزان کاهش عملکرد بازاریپسند و ماده خشک تولیدی برای تیمارهای با ۲۰ و ۴۰ درصد کم‌آبیاری را به ترتیب ۱۴ و ۳۹ درصد و ۳۰ و ۳۸ درصد نسبت به تیمار آبیاری کامل گزارش کردند که علت بیشتر بودن درصد کاهش در نتایج آن‌ها، مدت بیشتر اعمال کم‌آبیاری

تولیدی، تنها تفاوت N_3 و N_4 با کاهش $11/6$ و $10/6$ درصدی در مقایسه با N_1 معنی‌دار بود و بین بقیه سطوح نیتروژن تفاوت معنی‌داری حاکم نبود.

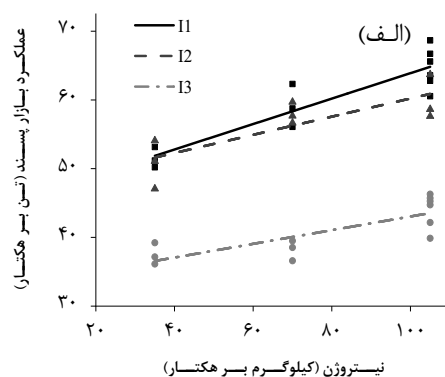
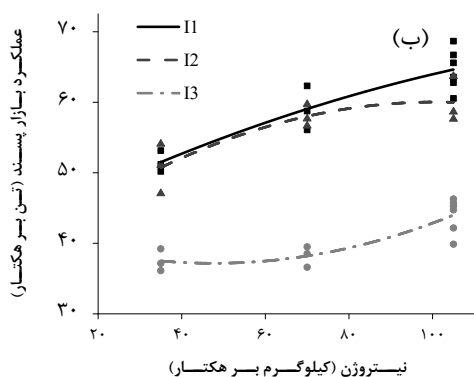
عملکرد بازارپسند سطح N_3 با N_4 تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد. به‌طور متوسط عملکرد بازارپسند در تیمارهای N_2 ، N_3 و N_4 به ترتیب کاهش $8/4$ ، $17/5$ و $17/3$ درصدی نسبت به تیمار N_1 نشان داد؛ اما در مورد ماده خشک



شکل ۳- رابطه خطی (الف) و غیرخطی (ب) بین عملکرد بازارپسند کاهو آیسبرگ و مجموع آبیاری در طول فصل رشد

بوزکورت و منصورقلو (۲۰۱۱) است و رابطه‌های خطی مطابق یافته‌های گالاردو و همکاران (۱۹۹۶)، سامیس و همکاران (۱۹۸۸)، کرنیک و همکاران (۲۰۰۲)، کاسلو و همکاران (۲۰۰۸)، یازگان و همکاران (۲۰۰۸)، سنجیت و کاپلان (۲۰۱۳)، ساهین و همکاران (۲۰۱۶) است.

شکل (۳) رابطه خطی و غیرخطی بین عملکرد بازارپسند کاهو و مجموع آبیاری در طول فصل رشد را نشان می‌دهد که هر یک از آن‌ها بر اساس دقت موردنیاز می‌تواند در شرایط محیطی مشابه در تحقیقات و کاربردهای اجرایی مورد استفاده قرار گیرد (جدول ۴). رابطه‌هایی که از نوع معادله چندجمله‌ای درجه دوم هستند مشابه یافته‌های کاپرا و همکاران (۲۰۰۸)، بوزکورت و همکاران (۲۰۰۹) و



شکل ۴- رابطه خطی (الف) و غیرخطی (ب) بین عملکرد بازارپسند کاهو آیسبرگ و نیتروژن داده‌شده

آن‌ها نیز بر اساس دقت موردنیاز می‌تواند در شرایط محیطی مشابه برای توصیه کودی نیتروژن در تحقیقات و کاربردهای اجرایی مورد استفاده قرار گیرد (جدول ۴). رابطه‌هایی از

شکل (۴) نیز رابطه خطی و غیرخطی بین عملکرد بازارپسند کاهو و نیتروژن داده‌شده در طول فصل رشد را برای تیمارهای مختلف آبیاری نشان می‌دهد که هر یک از

نوع رابطه خطی مشابه یافته‌های اوزونیدو و همکاران (۲۰۱۳) و معادله چند جمله‌ای درجه دوم مشابه یافته‌های همکاران (۲۰۱۷) و زندوکیل و همکاران (۲۰۱۹) است. بروجردنیا و عالمزاده انصاری (۲۰۰۷)، دی‌جیویه و همکاران (۲۰۱۷) و زندوکیل و همکاران (۲۰۱۹) است.

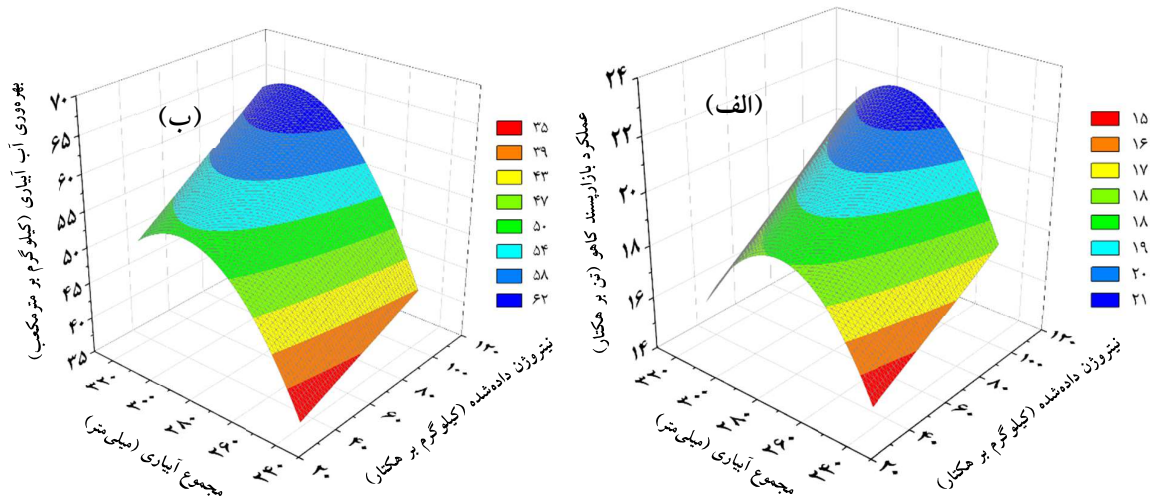
جدول ۴- توابع تولید خطی و غیر خطی کاهو آیسبرگ به ازای مقادیر مختلف آب و نیتروژن

رابطه عملکرد بازارپسند کاهو (تن بر هکتار) و مجموع آبیاری در طول فصل رشد (میلی‌متر)						
کود نیتروژن داده شده (کیلوگرم بر هکتار)	تابع تولید خطی و غیر خطی	R ²	Adj. R ²	RMSE	NRMSE	RE
N ₁	$Y = 0.28 I - 22.54$	۰/۸۵	۰/۸۴	۳/۷۵	۰/۰۷	۰/۰۵
N ₂	$Y = 0.31 I - 34.22$	۰/۷۶	۰/۷۳	۴/۷۷	۰/۰۹	۰/۰۸
N ₃	$Y = 0.21 I - 11.22$	۰/۷۲	۰/۶۹	۳/۵۳	۰/۰۸	۰/۰۶
N ₁	$Y = -0.0049 I^2 + 3.023 I - 40.28$	۰/۹۳	۰/۹۲	۲/۵۸	۰/۰۶	۰/۰۴
N ₂	$Y = -0.0083 I^2 + 4.915 I - 66.66$	۰/۹۷	۰/۹۶	۱/۷۸	۰/۰۳	۰/۰۳
N ₃	$Y = -0.0055 I^2 + 3.269 I - 43.158$	۰/۹۲	۰/۸۹	۱/۹۶	۰/۰۴	۰/۰۳
رابطه عملکرد بازارپسند کاهو (تن بر هکتار) و کود نیتروژن داده شده در طول فصل رشد (کیلوگرم بر هکتار)						
مجموع آب آبیاری (میلی‌متر)	تابع تولید خطی و غیر خطی	R ²	Adj. R ²	RMSE	NRMSE	RE
I ₁	$Y = 0.185 N + 45.39$	۰/۸۳	۰/۸۲	۲/۴	۰/۰۴	۰/۰۳
I ₂	$Y = 0.132 N + 46.997$	۰/۶۷	۰/۶۲	۲/۶۸	۰/۰۵	۰/۰۴
I ₃	$Y = 0.0996 N + 33.09$	۰/۶۵	۰/۶۱	۲/۱۲	۰/۰۵	۰/۰۵
I ₁	$Y = -0.0008 N^2 + 0.299 N + 42.02$	۰/۸۴	۰/۸۱	۲/۳۶	۰/۰۴	۰/۰۳
I ₂	$y = -0.0022 N^2 + 0.434 N + 38.18$	۰/۷۴	۰/۶۵	۲/۳۷	۰/۰۴	۰/۰۴
I ₃	$y = 0.0021 N^2 - 0.197 N + 41.88$	۰/۷۴	۰/۶۸	۱/۸۲	۰/۰۵	۰/۰۴

شکل (۵) رابطه عملکرد بازارپسند کاهو و بهره‌وری آب آبیاری را با مجموع آبیاری در طول فصل رشد و نیتروژن داده شده در طول فصل رشد نشان می‌دهد (جدول ۵). شکل (۴)-الف نشان می‌دهد به‌طور کلی افزایش آبیاری و نیتروژن باعث افزایش عملکرد بازارپسند کاهو آیسبرگ شد. شکل (۴)-ب نشان می‌دهد گرچه افزایش نیتروژن به افزایش بهره‌وری انجامید اما کاهش آبیاری تا ۲۰ درصد باعث افزایش و کاهش بیش از آن باعث کاهش بهره‌وری آب آبیاری شد.

مقادیر بهره‌وری آب آبیاری برای عملکرد بازارپسند بین ۲۱/۶۳ و ۱۵/۳۸ و برای ماده خشک بین ۰/۹۳ و ۰/۷۵ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمد (جدول ۶). نتایج نشان داد تیمار I₂ بهره‌وری آب آبیاری بیشتری نسبت به تیمارهای I₁ و I₃ داشتند (به ترتیب ۶/۶۵ و ۱۹/۶۵

درصد کاهش نسبت به I₂). نتایج نشان داد کاهش آبیاری تا ۲۰ درصد باعث افزایش بهره‌وری آب آبیاری شد اما کاهش بیشتر آبیاری باعث کاهش بهره‌وری آب آبیاری شد. نتایج کرنیک و همکاران (۲۰۰۲)، بوزکورت و منصورقلو (۲۰۱۱)، چالا و یوهانس (۲۰۱۵) و جیانینو و همکاران (۲۰۱۵) نشان داد بهره‌وری آب با کاهش آبیاری افزایش یافت. نتایج کادافیچی و همکاران (۲۰۰۴)، کاپرا و همکاران (۲۰۰۸)، کاسلو و همکاران (۲۰۰۸)، یازگان و همکاران (۲۰۰۸)، سنجیت و کاپلان (۲۰۱۳) و ساهین و همکاران (۲۰۱۶) نشان داد کاهش آبیاری باعث کاهش بهره‌وری آب شد.



شکل ۵- رابطه عملکرد بازاریپسند (الف) و بهره‌وری آب آبیاری (ب) با مجموع آب آبیاری و نیتروژن داده‌شده در کاهو آیسبرگ

جدول ۵- تابع تولید کاهو آیسبرگ به ازای مقادیر مختلف آب و نیتروژن

رابطه عملکرد بازاریپسند کاهو (تن بر هکتار) با مجموع آبیاری در طول فصل رشد (میلی‌متر) و نیتروژن داده‌شده (کیلوگرم بر هکتار)					
RE	NRMSE	RMSE	Adj. R ²	R ²	$Y = -468/48 + 3/52I - 0/18N - 0/006I^2 - 0/00004N^2 + 0/001IN$
0/04	0/05	2/44	0/93	0/94	
رابطه بهره‌وری آب آبیاری (کیلوگرم بر مترمکعب) با مجموع آبیاری در طول فصل رشد (میلی‌متر) و نیتروژن داده‌شده (کیلوگرم بر هکتار)					
RE	NRMSE	RMSE	Adj. R ²	R ²	$IWUE = -161/927 + 1/27I - 0/024N - 0/0023I^2 - 0/00005N^2 + 0/00025IN$
0/06	0/05	0/93	0/81	0/84	

جدول ۶- بهره‌وری آب آبیاری و بهره‌وری نیتروژن در تیمارهای مختلف آبیاری و نیتروژن

سطح آبیاری		سطح نیتروژن		بهره‌وری آب آبیاری (کیلوگرم بر مترمکعب)		بهره‌وری نیتروژن (کیلوگرم بر کیلوگرم)	
				عملکرد بازاریپسند	ماده خشک	عملکرد بازاریپسند	ماده خشک
I ₁	N ₁	21/24	19/84	0/88	0/84	629/06	25/98
	N ₂	18/99	-	0/81	-	843/57	36/08
	N ₃	16/56	-	0/75	-	1471/70	66/67
	N ₄	-	16/13	-	0/75	-	-
I ₂	N ₁	21/63	-	0/92	-	571/33	24/21
	N ₂	20/19	-	0/87	-	828/71	34/42
	N ₃	18/29	-	0/82	-	1449/71	64/65
I ₃	N ₁	17/82	18/46	0/87	0/93	413/71	424/50
	N ₂	15/67	-	0/82	-	545/86	28/64
	N ₃	15/38	-	0/79	-	1071/43	55/13
	N ₄	-	17/39	-	0/84	-	-

از سوی دیگر به‌طور کلی کاهش نیتروژن داده‌شده باعث کاهش بهره‌وری آب آبیاری در تیمارهای مختلف آبیاری شد که نشان از تأثیر مثبت نیتروژن در افزایش این شاخص داشت و با نتایج انصاری و همکاران (۲۰۱۹) مطابقت دارد. کاهش نیتروژن داده‌شده باعث افزایش بهره‌وری نیتروژن در تیمارهای با آبیاری مشابه شد که مطابق نتایج فرانچسکو (۲۰۱۳) و انصاری و همکاران (۲۰۱۹) بود. همچنین کم‌آبیاری باعث کاهش بهره‌وری نیتروژن شد که با نتایج کرم و همکاران (۲۰۰۲) و انصاری و همکاران (۲۰۱۹) همخوانی دارد.

جمع‌بندی

به‌طور کلی کم‌آبیاری و کاهش کاربرد کود نیتروژن، باعث کاهش عملکرد بازارپسند و ماده خشک تولیدی کاهو آیسبرگ شد. نتایج آنالیز واریانس برای سطوح مختلف آبیاری و نیتروژن در کاهو آیسبرگ نشان داد سطوح مختلف آبیاری و نیتروژن روی عملکرد بازارپسند تأثیر معنی‌دار داشت و اثر متقابل این دو نیز معنی‌دار بود. همچنین سطوح مختلف آبیاری و نیتروژن روی ماده خشک تولیدی تأثیر معنی‌دار داشت اما اثر متقابل این دو روی ماده خشک معنی‌دار نبود. حداکثر عملکرد بازارپسند طی دو سال، در تیمار آبیاری کامل با کود آبیاری

۱۰۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار محقق شد. حداکثر ماده خشک تولیدی هم متعلق به همین تیمار بود. حداقل عملکرد بازارپسند و ماده خشک تولیدی نیز متعلق به تیمار کم‌آبیاری ۴۰ درصد با کود آبیاری ۳۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بود. نتایج نشان داد کاهش آبیاری تا ۲۰ درصد باعث افزایش بهره‌وری آب آبیاری شد اما کاهش بیشتر آبیاری باعث کاهش بهره‌وری آب آبیاری شد. به‌طور کلی کاهش نیتروژن داده‌شده باعث کاهش بهره‌وری آب آبیاری در تیمارهای مختلف آبیاری شد که نشان از تأثیر مثبت نیتروژن در افزایش این شاخص داشت. کاهش نیتروژن داده‌شده باعث افزایش بهره‌وری نیتروژن در تیمارهای با آبیاری مشابه شد. همچنین کم‌آبیاری باعث کاهش بهره‌وری نیتروژن شد.

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، تیمار آبیاری کامل با ۱۰۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار جهت کشت کاهو آیسبرگ در شرایط آب و هوایی مشابه مزرعه آزمایشی منطقه مورد بررسی پیشنهاد می‌گردد. همچنین در موارد کمبود منابع آب موجود، کاهش ۲۰ درصدی آبیاری در انتهای فصل رشد، با توجه به نتایج، برای کاهو آیسبرگ قابل پیشنهاد است. در مورد کود نیتروژن نیز کاهش ۳۰ درصدی ضمن کاهش ریسک خطرات زیست‌محیطی، تأثیر معنی‌داری در کاهش عملکرد کاهو نداشت.

فهرست منابع

1. آقابگی، م.، ایمانی، م.، حاجیان فر، ر.، خدادادی، م.، رافضی، ر.، موسوی، ح. ۱۳۹۶. نشریه فنی فناوری تولید کاهوی آیسبرگ و معرفی ارقام تجاری آن. وزارت جهاد کشاورزی ایران.
2. Abu-Rayyan A., Kharawish B.H., Al-Ismael K. 2004. Nitrate content in lettuce (*Lactuca sativa* L.) heads in relation to plant spacing, nitrogen form and irrigation level. *J. Sci. Food Agric.* 84: 931–936.
3. Acharya S.K., Shukla Y.R. and Khatik P.C. 2013. Effect of water regime on growth and yield of lettuce (*Lactuca Sativa* L.). *The Bioscan. An International Quarterly Journal of Life Science.* 8(1): 201-206.
4. Allen G.R., Pereira S.L., Raes, D. and Smith M. 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirement. FAO irrigation and drainage paper, NO. 56, Rome, Italy.
5. Ansari M., Chaichi M. R., Bhandari S. and Raheja A. 2019. Water and Nitrogen use Efficiency of Lettuce under Water Stressed Growing Conditions. *Canadian Journal of Agriculture and Crops.* 4(2): 111-120.

6. Belligno A., Fisichella G., Tropea M. and Sambuci G. 1996. Effect of different nitrogen fertilizers on nitrate content in lettuce plants. *Agrochimica*. 40: 85–93.
7. Boroujerdnia M. & Alemzadeh Ansari N. 2007. Effect of different levels of nitrogen fertilizer and cultivars on growth, yield and yield components of romaine lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Middle Eastern and Russian Journal of Plant Science and Biotechnology*. 1: 47-53.
8. Bozkurt S. and Mansuroglu G.S. 2011. Lettuce yield responses to different drip irrigation levels under open field condition. *Journal of Cell and Plant Sciences*. 2(2): 12–18.
9. Bozkurt S., Mansuroglu G.S., Kara M. and Onder S. 2009. Responses of lettuce to irrigation levels and nitrogen forms. *African Journal of Agricultural Research* 4(11): 1171-1177.
10. Bremner J. M., & Keeney D. R. 1965. Steam distillation methods for determination of ammonium, nitrate and nitrite. *Analytica Chimica Acta*. 32: 485–495.
11. Capra A., Consoli S., Russo A. and Scicolone B. 2008. Integrated agroeconomic approach to deficit irrigation on lettuce crops in Sicily (Italy). *J. Irrig. Drain. Eng.* 134: 437-445.
12. Chala M. and Yohannes K.W. 2015. Effect of irrigation application levels on yield and water productivity of drip irrigated lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Gedio Zone, Southern Ethiopia. Int. J. Basic Appl. Sci.* 4: 229-234.
13. Coelho A.F.S., Gomes E.P., Sousa A.P., Gloria M.B.A. 2005. Effect of irrigation level on yield and bioactive amine content of American lettuce. *J. Sci. Food. Agric.* 85: 1026–1032.
14. Di Gioia F., Gonnella M., Buono V., Ayala O. and Santamaria P. 2017. Agronomic, physiological and quality response of romaine and red oak-leaf lettuce to nitrogen input. *Italian Journal of Agronomy*. 12(1).
15. Dobermann A. 2007. Nutrient use efficiency – measurement and management. In: *Fertilizer best management practices. General principles, strategy for their adoption and voluntary initiatives vs regulations*. IFA International Workshop on Fertilizer Best Management Practices. Brussels, Belgium. pp. 1-28.
16. Doerge T.A., Roth R.L. and Gardner B.R. 1991. Nitrogen fertilizer management in Arizona. *Univ. Arizona Publ.* 191025.
17. Feigin A., Letey J. and Jarrell W.M. 1982. Nitrogen utilization emciency efficiency by drip irrigated celery receiving preplant or water applied N fertilizer. *Agron. J.* 74: 978-983.
18. Francesco D. 2013. Nitrogen use efficiency, yield and quality response of lettuce crop to nitrogen input, in *Nitrogen, Environment, and Vegetables Conference*. Torino, Italy. pp. 31-41.
19. Gallardo M., Jackson L.E., Schulbach K., Snyder R.L., Thompson R.B. and Wyland L.J. 1996. Production and water use in lettuces under variable water supply. *Irr. Sci.* 16: 125–137.
20. Gianino D., Malladi A. and van Iersel M.W. 2015. Water use efficiency of four types of lettuce (*Lactuca sativa*) in response to different drought severities. *ASHS 2015 Annual Conference*, New Orleans, 4–7 August 2015.
21. Howell T.A. 2001. Enhancing water use efficiency in irrigated agriculture. *Agron. J.* 93: 281-289.
22. Ichi J.O., Ibrahim H., Osunde A.O. and Odojin A.J. 2018. Effect of mulch and irrigation on growth and water use efficiency of lettuce (*Lactuca sativa* L.) cultivars. *International Journal of Applied Biological Research (IJABR)* Vol. 9(2): 102 - 119.
23. Jackson L.E., Stivers L.J., Warden B.T. and Tanji K.K. 1994. Crop nitrogen utilization and soil nitrate loss in a lettuce field. *Fert. Res.* 37: 93-t05.
24. Kadayifci A., Tuylu G.İ., Ucar Y. and Cakmak B. 2004. Effects of mulch and irrigation water amounts on lettuce's yield, evapotranspiration, transpiration and soil evaporation in Isparta location, Turkey. *J. Biol. Sci.* 4: 751-755.

25. Karam F., Mounzer O., Sarkis F. and Lahoud R. 2002. Yield and nitrogen recovery of lettuce under different irrigation regimes. *J. Appl. Hortic.* 4(2): 70-76.
26. Kırnak H., Demir S., Tas İ. and Çakmaklı M. 2002. Response of different irrigation water applications on yield and growth of lettuce grown in greenhouse. *J. Agric. Fac. Harran Uni.* 6: 47-54.
27. Kuslu Y., Dursun A., Sahin U., Kiziloglu F.M. and Turan M. 2008. Effect of deficit irrigation on curly lettuce grown under semiarid conditions. *Spanish J. Agr. Res.* 6: 714-719.
28. Mahmoudi K.F. 2005. Effects of rates and sources nitrogen fertilizer on nitrate accumulation and yield of lettuce. MSc Thesis. Department of Soil Science. Science and Research Branch. Islamic Azad University. Tehran. Iran.
29. Mansuroglu G.S., Bozkurt S., Kara M. and Telli S. 2010. The effects of nitrogen forms and rates under different irrigation levels on yield and plant growth of lettuce. *Journal of Cell and Plant Sciences.* 1(1): 33-40.
30. Miller R.J., Rolston D.E., Rauschkolb R.S. and Wolve D.W. 1981. Labeled nitrogen uptake by drip-irrigated tomatoes. *Agron. J.* 73: 265-270.
31. Mirdad Z.M. 2016. Effect of N Fertigation Rates and Humic Acid on The Productivity of Crisphead Lettuce (*Lactuca sativa* L.) Grown in Sandy Soil. *Journal of Agricultural Science* 8(8): 149.
32. Molina-Montenegro M.A., Zurita-Silva A. and Oses R. 2011. Effect of water availability on physiological performance and lettuce crop yield (*Lactuca sativa*). *Cien. Inv. Agr.* 38: 65-74.
33. Monaghan J.M., Vickers L.H., Grove I.G. and Beacham A.M. 2017. Deficit irrigation reduces postharvest rib pinking in wholehead Iceberg lettuce, but at the expense of head fresh weight. *J. Sci. Food Agric.* 97: 1524-1528.
34. Ouzounidou G., Paschalidis C., Petropoulos D., Koriki A., Zamanidis P. and Petridis A. 2013. Interaction of soil moisture and excess of boron and nitrogen on lettuce growth and quality. *Hort. Sci. (Prague).* 40: 119-125.
35. Patil T., Singh M., Khanna M., Singh D.K. and Hasan M. 2013. Response of lettuce (*lactuca sativa* l.) to trickle irrigation under different irrigation intervals, n application rate and crop geometry, *Indian Journal of Agricultural Economics*, Indian Society of Agricultural Economics, vol. 68(4): 1-10.
36. Ramos C., Agut A. and Lidón A.L. 2002. Nitrate leaching in important crops of the Valencian Community region (Spain). *Environ. Pollut.* 118: 215-223.
37. Rincon L., Pellicer C., Saez J. 1998. Effect of different nitrogen application rates on yield and nitrate concentration in lettuce crops. *Agrochimica.* 42: 304-312.
38. Sahin U., Kuslu Y., Kiziloglu F.M. and Cakmakci T. 2016. Growth, yield, water use and crop quality response of lettuce to different irrigation quantities in a semi-arid region of high altitude. *Journal of Applied Horticulture.* 18(3): 195-202.
39. Sammis T. W., Kratky B.A. and Wu I.P. 1988. Effects of Limited Irrigation on Lettuce and Chinese cabbage Yields. *Irrig Sci.* 9:187-198.
40. Sammis T.W. 1980. Comparison of sprinkler, trickle, subsurface and furrow irrigation methods for row crops. *Agron. J.* 725: 701-704.
41. Sanchez Ch.A. 2000. Response of lettuce to water and nitrogen on sand and the potential for leaching of nitrate-N. *HortScience.* 35(1): 73-77.
42. Santosh D.T., Reddy R.G. and Tiwari K.N. 2017. Effect of drip irrigation levels on yield of lettuce under polyhouse and open field condition. *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci.* 6(7): 1210-1220.
43. Schulbach K. 1988. Crop water use and irrigation efficiency evaluation. Final Report, Monterey County Agricultural Extension Service, Salinas, California.
44. Şenyiğit U. and Kaplan D. 2013. Impact of different irrigation water levels on yield and some quality parameters of lettuce (*lactuca sativa* l. var. *longifolia* cv.) under unheated greenhouse condition. *Infrastructure Ecol. Rural Areas.* 2: 97-107.

45. Shahbazi M. 2005. Effects of different nitrogen levels on the yield and nitrate accumulation in the four of lettuce cultivars. MSc Thesis, Department of Horticulture, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. 99 pp. (in Farsi)
46. Shahbazie M. 2005. Effects of different nitrogen levels on the yield and nitrate accumulation in the four of lettuce cultivars. MSc Thesis. Islamic Azad University. Tahrn. Iran.
47. Shock C.C. 1998. An Introduction to Drip Irrigation [Online]. Malheur Experiment Station, Oregon Universit. Available: <http://www.cropinfo.net/drip.htm>.
48. Simko I., Hayes R.J., Mou B. and McCreight J.D. 2014. Lettuce and spinach. In Yield Gains in Major U.S. Field Crops (Madison, WI, USA: American Society for Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America). P.53–86.
49. Sorensen J.N., Johansen A.S. and Poulsen N. 1994. Influence of growth and conditions on the value of crisphead lettuce: I. Marketable and nutritional quality as affected by nitrogen supply cultivar and plant age. *Plant Foods for Human Nutrition*. 46(1): 1-11.
50. Stark J.C., Jarrell W.M., Letey J. 1983. Evaluation of irrigation-nitrogen management practices for celery using continuous-variable irrigation. *Soil Sci Soc Am J*. 47: 95-98.
51. Sylvestre T.D.B., Braos L.B., Batistella Filho F., Cruz M.C.P.D. and Ferreira M.E. 2019. Mineral nitrogen fertilization effects on lettuce crop yield and nitrogen leaching. *Sci. Hort*. 225: 153-160.
52. Thompson R.B., Martínez-Gaitán C., Gallardo M., Giménez C. and Fernández M.D. 2007. Identification of irrigation and N management practices that contribute to nitrate leaching loss from an intensive vegetable production system by use of a comprehensive survey. *Agric. Water Manag.* 89: 261–274.
53. Thompson T.L. and Doerge T.A. 1996. Nitrogen and water interactions in subsurface trickle-irrigated leaf lettuce I. Plant response. *Soil Sci. Soc. Am. J*. 60:163–168.
54. Tiftonell P.A., de Grazia J., Chiesa A. 2003. Nitrate and dry water concentration in a leafy lettuce (*Lactuca sativa* L.) cultivar as affected by N fertilization and plant population. *Agricultura Tropica and Subtropica*. 36: 82-87.
55. Yazgan S., Ayas S., Demirtas C., Büyükcangaz H. and Candogan B.N. 2008. Deficit irrigation effects on lettuce (*Lactuca sativa* var. Olenka) yield in unheated greenhouse condition. *J. Food Agr. Environ*. 6: 357-361.
56. Zandvakili O.R., Barker A.V., Hashemi M., Etemadi F., Autio W.R. and Weis S. 2019. Growth and nutrient and nitrate accumulation of lettuce under different regimes of nitrogen fertilization, *Journal of Plant Nutrition*. 42(14): 1575-1593.

تاثیر فناوری‌های به‌زراعی بر بهبود شاخص‌های بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی و کارایی مصرف آب در حوضه شرقی دریاچه ارومیه

علی سنگتراشان^۱، سید مجید میرلطیفی^۱ و حسین دهقانی‌سانج

دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشگاه تربیت مدرس.

a.sangtarashan@modares.ac.ir

دانشیار، گروه مهندسی آبیاری و زهکشی دانشگاه تربیت مدرس.

mirlat_m@modares.ac.ir

دانشیار پژوهش، موسسه تحقیقات فنی مهندسی کشاورزی سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

h.dehghanisanij@areeo.ac.ir

دریافت: اسفند ۱۳۹۸ و پذیرش: اسفند ۱۳۹۹

چکیده

تحقیق حاضر در راستای بهبود بهره‌وری آب با اعمال برخی فناوری‌های به‌زراعی مانند تغییر روش‌های خاک‌ورزی، اصلاح ابعاد کرت آبیاری، تغییر ارقام گیاهی و اصلاح برنامه کودی در هشت مزرعه کشاورزان (چهار مزرعه تیمار و چهار مزرعه شاهد) در شهرستان‌های بناب، اسکو و عجب‌شیر واقع در حوضه شرقی دریاچه ارومیه در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ اجرا گردید. در مزارع تیمار، فناوری‌های پیشنهادی بدون اعمال مدیریت کشاورزان انجام شد و در مزارع شاهد کشاورزان به‌صورت سنتی و براساس دانش بومی خود و تجربه قبلی اقدام به انجام عملیات کاشت، داشت و برداشت نمودند. آب ورودی به مزارع، رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه در طول فصل رشد، و شاخص‌های مرتبط با رشد و تولید گیاه در زمان برداشت در همه مزارع اندازه‌گیری گردید. شاخص‌های بهره‌وری آب (WP)، کارایی مصرف آب (WUE) و بهره‌وری اقتصادی آب (WP_e) برای هر یک از مزارع محاسبه شد. نتایج نشان داد که در مزارع تیمار نسبت به شاهد، آب مصرفی به میزان ۹٪ کاهش و عملکرد محصول ۳۴٪ افزایش داشت. نیز، در مقایسه با مزارع شاهد، فناوری‌های اعمال‌شده در مزارع تیمار به‌طور متوسط منجر به افزایش شاخص‌های WP، WUE و WP_e به ترتیب به میزان ۳۸٪، ۳۱٪ و ۵۶٪ گردید.

واژه‌های کلیدی: آب مصرفی، تبخیر-تعرق واقعی، روش خاک‌ورزی، مدیریت آب در مزرعه

^۱ - آدرس نویسنده مسئول: تهران، دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، گروه مهندسی آبیاری و زهکشی.

دریاچه ارومیه در سال‌های اخیر با کاهش شدید مقدار آب ورودی و خشکی گسترده‌ای مواجه شده که نگرانی‌هایی در سطح ملی و بین‌المللی به همراه داشته است (مقدسی و همکاران، ۱۳۹۴). با توجه به توسعه قابل توجه بخش کشاورزی به عنوان اصلی‌ترین بخش مصرف‌کننده منابع آب بدیهی است که تأمین تقاضای زیست‌محیطی دریاچه، نیاز به برنامه‌ریزی خاص خود را دارد که سرآمد آن‌ها ارتقاء بهره‌وری آب در بخش کشاورزی می‌باشد (احمدزاده و همکاران، ۱۳۹۳). امروزه بخش قابل‌توجهی از تحقیقات کشاورزی روی راهبردهایی برای بهینه‌سازی مصرف آب و افزایش بهره‌وری متمرکز شده است (فاطمی و همکاران، ۲۰۱۴). بی‌تردید یک احساس نیاز برای یافتن راه‌هایی جهت افزایش بهره‌وری آب از طریق بهبود ستاده‌های اقتصادی یا زراعی به ازای واحد آب مصرفی در هر دو سامانه زراعت آبی و دیم وجود دارد (کی سام و همکاران، ۲۰۰۷). از سویی دیگر با توجه به شرایط منابع و نهاده‌های کشاورزی در جهان امروز، مدیریت مناسب نهاده‌های کشاورزی به‌ویژه آب آبیاری با استفاده از فناوری مدرن برای به حداکثر رساندن تولید و ارائه بازده بالا به کشاورزان ضروری است (پاندا و همکاران، ۲۰۰۳). به عنوان یک قاعده، هر عامل مدیریتی که موجب افزایش عملکرد گیاهی شود، بهره‌وری آب را نیز افزایش می‌دهد (مؤمنی، ۱۳۹۰). البته باید به این نکته توجه نمود که افزایش عملکرد با میزان نهاده‌های کشاورزی و به‌خصوص آب مصرفی به صورتی در تعادل باشد (مهتدی و همکاران، ۱۳۹۲). روش‌های بهبود بهره‌وری آب از طریق صرفه‌جویی و جلوگیری از تلفات فیزیکی آب شامل تمامی اقدامات سخت‌افزاری و نرم‌افزاری مرتبط برای صرفه‌جویی‌های واقعی و کاهش تلفات فیزیکی آب در مقیاس‌های گیاه، مزرعه، شبکه آبیاری و حتی حوضه آبریز است (حیدری، ۱۳۹۰). از این‌رو یکی از شیوه‌های کاربردی نمودن مدیریت‌های کارا و نوین، اجرای پژوهش‌های مزرعه‌ای و

با مشارکت مؤلفه‌های درگیر (محقق، مروج و بهره‌بردار) است که امکان شکل‌گیری و فرهنگ‌سازی یک شیوه تولید را پدید می‌آورد (توکلی، ۱۳۸۹). راه‌کارهایی مانند بهبود گونه‌های گیاهی، تغییر الگوی کشت، بهبود مدیریت آبیاری، بهبود عملیات زراعی و بکارگیری روش‌های نوین آبیاری موجود از جمله این مدیریت‌ها می‌باشد (نیریزی و حلمی فخر داود ۱۳۸۲). به این منظور پژوهشگرانی بیان داشتند که اجرای تمهیدات ساده و کاربردی در مقیاس مزرعه‌ای، مانند کاربرد خاک پوشه‌ها، بی‌خاکورزی، کم آبیاری، اصلاح الگوی کشت و استفاده از ارقام اصلاح‌شده و غیره علی‌رغم افزایش عملکرد محصول و ترغیب زارع به استفاده از این تمهیدات موجب کاهش مصرف آب نیز گردیده است؛ که هر دو عامل نقش مستقیم در رابطه با افزایش بهره‌وری آب دارد (یان و همکاران، ۲۰۱۵).

سازمان محیط‌زیست کشور با همکاری وزارت جهاد کشاورزی اقدام به انجام پروژه‌ای در حاشیه شرقی دریاچه ارومیه به منظور افزایش بهره‌وری آب با حفظ درآمد کشاورزان نموده است. در این پروژه سعی بر آن است تا با آموزش و مشارکت کشاورزان منطقه، اقدام به تغییراتی در شیوه‌ی کشاورزی سنتی صورت گیرد. در این زمینه اجرای فناوری‌هایی از قبیل تغییر در روش‌های خاک‌ورزی، اصلاح ابعاد کرت آبیاری، تغییر ارقام گیاهی و اصلاح برنامه کودی صورت گرفت. این مقاله در راستای ارزیابی اثربخشی فناوری‌های اعمال‌شده بر شاخص‌های بهره‌وری آب^۱، کارایی مصرف آب^۲ و بهره‌وری اقتصادی آب^۳ برای محصولات زراعی غالب منطقه (گندم، جو و کلزا) می‌باشد.

مواد و روش‌ها

پژوهش در مناطق اسکو، عجب‌شیر و بناب واقع در استان آذربایجان شرقی و در حاشیه شرقی دریاچه ارومیه با مختصات ۴۰° ۳۷' شمالی و ۴۵° ۲۷' شرقی برای یک سال زراعی ۱۳۹۴-۱۳۹۵ انجام شد. در این مناطق هشت مزرعه کشاورزان در نظر گرفته شد که فناوری‌های به

اثر بخشی مزارع تیمار نسبت به شاهد نیز برای هر محصول و مزرعه به صورت جداگانه انجام پذیرفت. لازم به ذکر است در انتخاب جفت مزارع تیمار-شاهد تلاش گردید تا سایر فاکتورهای کشاورزی از قبیل بافت خاک، هواشناسی، روش آبیاری بین مزارع تیمار و شاهد یکسان باشد و وجه تفاوت مزارع تیمار و شاهد مربوط به فناوری های به کار رفته به زراعی در مزارع تیمار باشد (جدول ۱).

زراعی در چهار مزرعه اعمال گردید. برای مقایسه اثربخشی فناوری های اعمالی چهار مزرعه نیز با شیوه کشت سنتی و غالب منطقه انتخاب شد. در این تحقیق به مزارعی که فناوری های به زراعی در آن اعمال شده به اختصار تیمار و به مزارعی که به شیوه سنتی کشت گردیده است شاهد اطلاق می شود. سطح مزارع تیمار و شاهد با توجه به حدود مالکیت کشاورزان بوده و بر اساس آن تعیین گردید. مقایسه

جدول ۱- مشخصات عمومی و فناوری های بکار رفته در مزارع طرح

نوع محصول	شهرستان	کد مزرعه	نوع مزرعه	ابعاد کرت ها* (متر*متر)	فناوری های به کار رفته
گندم	بناب	W1	تیمار	۳۱۰۵×۳۰۷	استفاده از خاک وورزی حفاظتی، تسطیح مناسب زمین، استفاده از کود حیوانی، اصلاح کردن ابعاد کرت ها، استفاده از کود زیستی
		W2	شاهد	۴۷×۳۰۸	-
جو	بناب	B1	تیمار	۲۷×۳۰۳	استفاده از خاک وورزی حفاظتی، تسطیح مناسب زمین، استفاده از کود حیوانی، اصلاح کردن ابعاد کرت ها استفاده از کود زیستی و همچنین حفظ بقایای گیاهی محصول کشت قبل
		B2	شاهد	۴۲،۴×۴۰،۷	-
کلزا	عجب شیر	C1	تیمار	۲۹×۳۰۵	اصلاح کردن ابعاد کرت ها، تسطیح مناسب زمین و استفاده از خاک وورزی حفاظتی
		C2	شاهد	۱۳۵×۳۰۶	-
کلزا	اسکو	C3	تیمار	۱۲،۷×۱۲	استفاده از کود دامی، اصلاح ابعاد کرت و تسطیح مناسب زمین
		C4	شاهد	۲۰×۱۲	-

* ابعاد تمام کرت های موجود در هر مزرعه مطابق ارقام ذکر شده می باشد

محاسبه شاخص های بهره وری آب

به طور کلی بهره وری آب کشاورزی از دیدگاه های مختلفی مورد بحث و بررسی قرار می گیرد. به عبارتی نوع و تعداد شاخص های بهره وری با توجه به دیدگاه های گوناگون، متفاوت است (احسانی و خالدي، ۱۳۸۲). از این رو با توجه به اهداف تحقیق حاضر شاخص های بهره وری آب، کارایی مصرف آب و بهره وری اقتصادی آب مورد بحث و بررسی قرار گرفت. نحوه محاسبه شاخص های ذکر شده با استفاده از معادلات زیر می باشد (عباسی و همکاران، ۱۳۹۴).

$$WP = \frac{Y_c}{\sum I + \sum R_t} \quad (1)$$

$$WUE = \frac{Y_c}{ET_A} \quad (2)$$

$$WPe = \frac{I_N}{\sum I + \sum R_t} \quad (3)$$

در این روابط:

WP بهره وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب)، Y_c عملکرد محصول (کیلوگرم)، $\sum I$ حجم آب آبیاری در طول فصل رشد (مترمکعب)، $\sum R_t$ حجم بارش مؤثر در طول فصل رشد (مترمکعب)، WUE کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب)، ET_A تبخیر-تعرق واقعی تجمعی گیاه در طول فصل رشد (مترمکعب)، WPe بهره وری اقتصادی آب (ریال بر مترمکعب) و I_N سود خالص (که از تفاوت هزینه های انجام شده در طی فصل و درآمد ناشی از تولید برحسب ریال به دست می آید) می باشد.

همچنین با استفاده از معادلات (۴)، (۵) و (۶)،

ΔWP ، WUE ، WPe ، بین مزارع تیمار و شاهد مقایسه شدند.

$$\Delta WP = \frac{WP_t - WP_s}{WP_s} \times 100 \quad (4)$$

$$\Delta WUE = \frac{WUE_t - WUE_s}{WUE_s} \times 100 \quad (5)$$

$$\Delta WPe = \frac{WPe_t - WPe_s}{WPe_s} \times 100 \quad (6)$$

$$Q = 0.0374H^{2.64} \quad (۷)$$

$$Q = 0.0294H^{2.102} \quad (۸)$$

$$Q = 0.0232H^{2.196} \quad (۹)$$

در این روابط:

Q دبی عبوری از فلوم (لیتر در ثانیه) و H ارتفاع آب در فلوم (سانتی‌متر) می‌باشد. در هر نوبت آبیاری ارتفاع آب عبور یافته از فلوم اندازه‌گیری شد و دبی آب ورودی به مزرعه با استفاده از روابط بالا به دست آمد (چامبرلین، ۱۹۵۲). با استفاده از دبی جریان ورودی و مدت‌زمان آبیاری، حجم آب ورودی به مزارع در هر نوبت آبیاری مشخص شد. با تقسیم حجم آب ورودی بر مساحت مزارع، عمق آبیاری مشخص گردید (جدول ۲). همچنین به دلیل بسته بودن انتهای کرت‌ها آب از انتهای کرت‌ها خارج نمی‌شد.

$$I = \frac{Q \cdot t}{A} \quad (۱۰)$$

در این رابطه:

Q دبی جریان ورودی (لیتر بر ثانیه)، I عمق آب آبیاری (میلی‌متر)، t مدت‌زمان آبیاری (ثانیه) و A مساحت زمین (مترمربع) می‌باشد (علیزاده، ۱۳۹۰).

جدول ۲- اطلاعات آبیاری مزارع تحت پایش

کد مزرعه	تعداد دفعات آبیاری	عمق آبیاری در هر نوبت (میلی‌متر)				عمق تجمعی آبیاری فصلی (میلی‌متر)
		نوبت اول	نوبت دوم	نوبت سوم	نوبت چهارم	نوبت پنجم
W1	۴	۱۲۷	۲۲۵	۲۲۵	۱۸۰	۶۹۹
W2	۴	۲۱۸	۴۲۱	۲۱۸	۱۷۴	۱۰۳۱
B1	۳	۱۶۰	۲۰۸	۱۱۱	-	۴۷۹
B2	۳	۱۷۹	۲۳۹	۱۲۰	-	۵۳۸
C1	۵	۱۱۱	۱۱۱	۱۰۹	۱۲۴	۵۵۵
C2	۵	۱۳۱	۱۳۱	۱۳۱	۸۶	۶۱۰
C3	۵	۱۳۳	۱۳۳	۱۲۳	۱۱۸	۶۱۵
C4	۵	۱۰۷	۱۱۸	۱۰۷	۱۰۱	۵۳۴

نمونه‌برداری انجام گرفت. همچنین از هر مزرعه تعداد ۲۰ بوته به‌صورت کاملاً تصادفی به‌منظور تعیین اجزای عملکرد شامل تعداد دانه در سنبله (گندم و جو)، دانه در غلاف و تعداد غلاف در بوته (کلزا) و وزن هزار دانه محصولات

برداشت شاخص‌های گیاهی

به‌منظور تعیین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک از هر مزرعه به‌صورت تصادفی از سطحی به مساحت یک مترمربع و با توجه به ابعاد مزرعه از سه الی شش نقطه

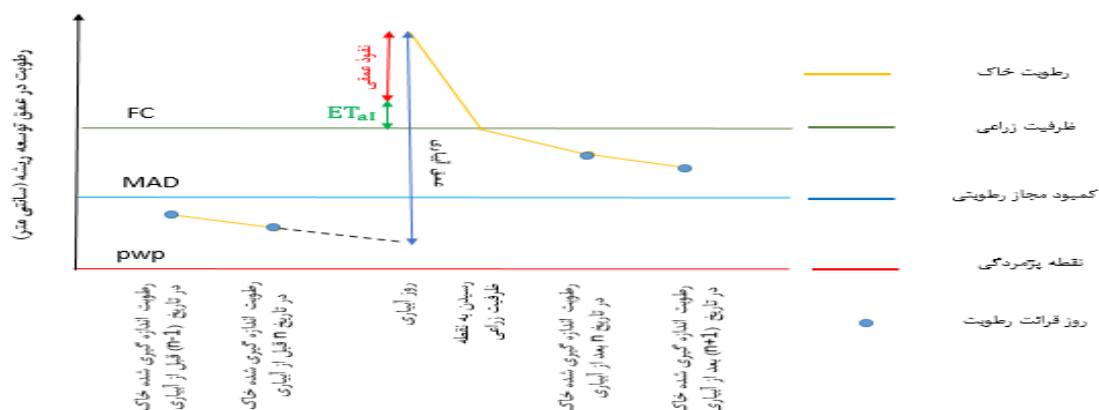
در نهایت با اختلاط خاک هر لایه و انتقال بخشی از آن به آزمایشگاه، باف خاک و سایر مشخصات مرتبط با خاک مزارع تعیین گردید. همچنین نمونه‌های دست‌نخورده خاک از اعماق اشاره‌شده، در هر مزرعه از سه نقطه به‌منظور تعیین جرم مخصوص ظاهری خاک برداشت گردید.

رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه (WC) (سانتیمتر عمق آب بر ۶۰ سانتی‌متر عمق خاک) بر اساس معادله‌ی (۱۱) و با استفاده از داده‌های رطوبتی اندازه‌گیری شده خاک محاسبه شد.

$$WC = DR_{10} \times 10 + DR_{20} \times 10 + DR_{30} \times 10 + DR_{45} \times 15 + DR_{60} \times 15 \quad (11)$$

در این رابطه:

DR_{10} رطوبت حجمی خاک در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر خاک، DR_{20} رطوبت حجمی خاک در عمق ۲۰-۱۰ سانتی-متر خاک، DR_{30} رطوبت حجمی خاک در عمق ۳۰-۲۰ سانتی‌متر خاک، DR_{45} رطوبت حجمی خاک در عمق ۴۵-۳۰ سانتی‌متر خاک و DR_{60} رطوبت حجمی خاک در عمق ۶۰-۴۵ سانتی‌متر خاک می‌باشد. (شکل ۱) تصویر شماتیک و نحوه تغییرات رطوبت خاک مزارع را نشان می‌دهد.



شکل ۱- تصویر شماتیک تغییرات رطوبت در خاک مزارع تحت پایش

متوالی و تقسیم آن بر بازه‌ی زمانی بین تاریخ‌های اندازه‌گیری رطوبت خاک میزان تبخیر-تغرق واقعی روزانه گیاه مطابق معادله زیر محاسبه شد:

$$ET_{A-D} = \frac{WC_{n-1} - WC_n}{\Delta t} \quad (12)$$

برداشت گردید. به‌منظور تعیین تراکم کشت، تعداد بوته‌های برداشت‌شده از سطح یک مترمربع برای محصولات گندم و جو شمارش گردید؛ و برای گیاه کلزا تعداد بوته‌ها در یک سطح ۲*۲ مترمربع شمارش شد. کلیه نمونه‌های گیاهی برداشت‌شده به‌منظور تعیین عملکرد مزارع و وزن خشک اندام مختلف گیاه پس از انتقال به آزمایشگاه به مدت ۴۸ ساعت و در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد داخل آون قرار گرفت و در نهایت به‌وسیله ترازو با دقت ۰,۰۱ گرم وزن نمونه‌ها اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری پارامترهای مربوط به خاک

عمق توسعه ریشه ۶۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. اندازه‌گیری رطوبت هرچند روز یک‌بار در اعماق ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۶۰ سانتی‌متر، توسط مته نمونه‌برداری و دستگاه رطوبت‌سنج خاک PR2 صورت می‌گرفت. برای بدست آوردن پارامترهای مختلف مرتبط به خاک از جمله بافت، PH، رطوبت اشباع، نقاط ظرفیت زراعی و پژمردگی و تجزیه شیمیایی از هر مزرعه از سه الی شش نقطه (متناسب با مساحت مزرعه) و در سه عمق (۰ تا ۲۰، ۲۰ تا ۴۰، ۴۰ تا ۶۰) سانتی‌متر نمونه‌گیری خاک انجام گرفت.

تبخیر-تغرق واقعی

پس از ترسیم و استخراج منحنی‌های تغییرات رطوبت خاک در هریک از مزارع در طول فصل رشد، اختلاف رطوبت خاک در یک محل اندازه‌گیری، در دو زمان

در این رابطه:

ET_{A-D} تبخیر-تعرق واقعی روزانه گیاه (میلی‌متر)، WC_n رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه (۶۰ سانتی‌متر) در تاریخ اندازه‌گیری n ام (میلی‌متر)، WC_{n-1} رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه در تاریخ اندازه‌گیری $n-1$ (سانتی‌متر) و Δt بازه‌ی زمانی بین تاریخ‌های n و $n-1$ (روز) می‌باشد. همچنین تبخیر-تعرق واقعی تجمعی گیاه در طول فصل رشد برای مزارع طرح به‌صورت زیر محاسبه شد:

$$ET_A = \sum_{i=\text{روز کاشت}}^{\text{روز برداشت محصول}} (ET_{A-D})_i \quad (13)$$

در این رابطه ET_A تبخیر-تعرق واقعی تجمعی گیاه در طول فصل رشد (میلی‌متر) و ET_{A-D} تبخیر-تعرق واقعی روزانه گیاه (میلی‌متر) می‌باشد.

نتایج و بحث

حجم آب کاربردی در مزارع

در همه مزارع تیمار به‌جز مزرعه تیمار کلزا C3، حجم آب کاربردی نسبت به مزرعه شاهد کاهش یافت (جدول ۴). درصد کاهش مصرف آب برای مزارع تیمار W1، B1 و C1 به ترتیب برابر ۳۲، ۱۱ و ۹ درصد بود. از این رو می‌توان اظهار داشت که کاهش طول کرت‌ها در مزارع W1، B1 و C1 و همچنین استفاده از کود دامی به‌ویژه در مزرعه W1 نقش عمده‌ای در کاهش مصرف آب آبیاری داشته است. مشاهدات عینی و برداشت نمونه رطوبتی از مزرعه W1 نشان‌دهنده آن بود که استفاده از کود دامی تأثیر بسزایی در نگهداشت آب مزرعه داشته است. به‌طوری‌که در مزرعه شاهد W2 علی‌رغم یکسان بودن بافت خاک در مقایسه مزرعه W1 خاک مزرعه با سرعت بیشتری رطوبت خود را از دست می‌داد. محققان زیادی افزایش نگهداشت رطوبت خاک توسط کودهای آلی را تأیید می‌کنند که می‌توان به نتایج تحقیقات، احمدآبادی و قاجار سپانلو (۱۳۹۱)، وانگ و یانگ (۲۰۰۲) و کارلن و کامپ (۱۹۸۵) اشاره نمود. در مزرعه تیمار C3 آبیاری

کرت‌ها از آبراهه اصلی انجام می‌شد و آبیاری کرت‌های شاهد C4 از انتهای کرت‌های تیمار صورت می‌گرفت. در تمام مدت آبیاری کرت‌های شاهد، آب از روی کرت‌های تیمار عبور پیدا می‌نمود. این امر در نهایت منجر به افزایش مصرف آب مزرعه تیمار C3 نسبت به مزرعه شاهد C4 شد. عمق آب آبیاری در نوبت دوم مزرعه W2 نسبت به سایر نوبت‌ها زیادتر می‌باشد (جدول ۲). در نوبت مذکور آبیاری توسط کانال آب‌رسان شبکه‌ای صورت گرفته است. به دلیل حجم بالای آب تحویلی به مزرعه (۲۰۰ لیتر بر ثانیه) و عدم مدیریت بهینه زارع در آبیاری بیش از نیاز آب وارد مزرعه شده است.

عملکرد مزارع

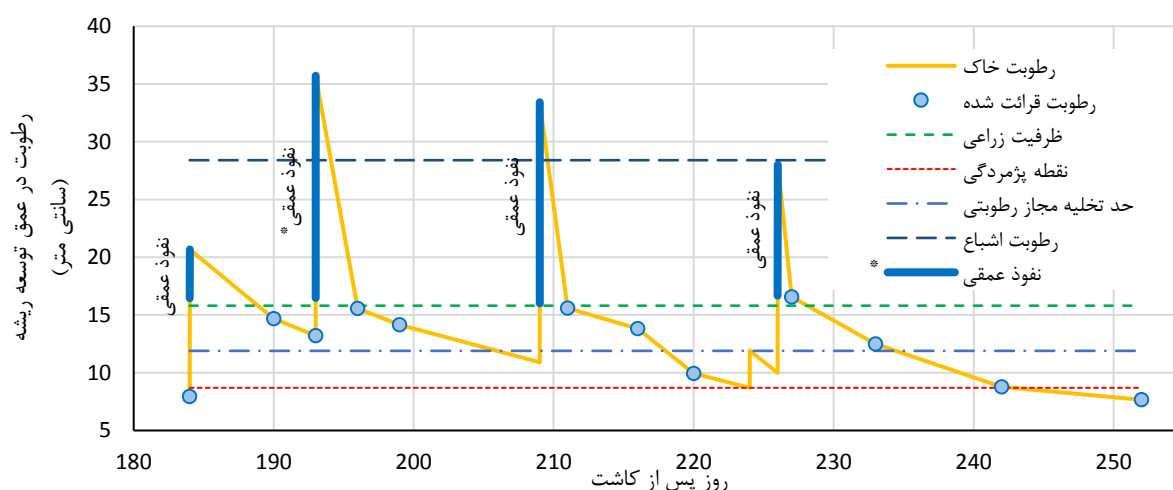
در همه مزارع عملکرد دانه در مزارع تیمار نسبت به مزارع شاهد بیشتر بود. درصد افزایش محصول مزارع تیمار W1، B1، C1 و C3 به ترتیب برابر با ۲۶، ۲۲، ۵ و ۸۳ درصد نسبت به مزرعه شاهد بود (جدول ۴). در مزرعه C1 فناوری اعمال‌شده اصلاح ابعاد کرت مزرعه نسبت به مزرعه شاهد بود؛ که گرچه این مهم بر میزان آب مصرفی تأثیر گذاشت اما تأثیر چندانی بر عملکرد محصول نداشت؛ بنابراین کمترین درصد افزایش محصول متعلق به مزرعه C1 به دست آمد.

تبخیر-تعرق واقعی

ET_a یکی از پارامترهای اصلی مورد نیاز برای محاسبه شاخص کارایی مصرف آب می‌باشد. با ترسیم منحنی‌های رطوبتی مزارع مطابق (شکل ۲) که به‌عنوان نمونه برای مزرعه گندم W1 در این مقاله آورده شده است و با استفاده از فرمول $ET_a(13)$ برای کلیه مزارع محاسبه گردید (جدول ۳). همچنین با توجه به اینکه ET_a متأثر از شرایط محیطی و اقلیمی می‌باشد (آلن و همکاران، ۱۹۹۸)، لذا اختلاف بین نتایج حاصل از این تحقیق با نتایج گزارش شده در کشور توسط سایر محققین خارج از انتظار نیست.

جدول ۳- مقایسه مقادیر تبخیر و تعرق به دست آمده در این مطالعه با مناطق مختلف کشور

تبخیر و تعرق به دست آمده توسط سایر محققین برای مناطق مختلف			تبخیر-تعرق واقعی مزارع مورد مطالعه	
محقق	Eta (میلی متر)	نام منطقه	ETa (میلی متر)	کد مزرعه
لشکری و همکاران (۱۳۸۸)	۶۷۸	سرپل ذهاب	۵۲۶	W1
	۵۸۱	روانسر		
	۵۸۱	اسلام آباد غرب	۵۷۱	W2
(حقایقی مقدم و فرزنام نیا، ۱۳۹۱)	۳۹۲	دشت نیشابور	۴۰۰	B1
(نصر اصفهانی و گلچین، ۱۳۸۷)	۴۲۹	دشت برخوار اصفهان		
(دهقان و همکاران، ۱۳۸۸)	۳۵۷	دشت بناب- مراغه	۴۱۲	B2
(مرادی دالینی و نیشابوری، ۱۳۸۴)	۵۰۵	حاجی آباد هرمزگان	۶۵۲	C1
			۶۰۰	C2
	۷۰۰ و ۷۰۹ و ۷۴۰	زرقان فارس	۴۶۲	C3
			۵۲۰	C4



شکل ۲- تغییرات رطوبت خاک در مزرعه تیمار گندم W1

* در مواقعی که رطوبت خاک در شکل، بیش از رطوبت اشباع مشاهده می شود، نشانگر آن است که بخشی از آب که در ابتدای آبیاری به پروفیل ریشه اضافه شده در حین آبیاری از پروفیل ریشه خارج شده است

جدول ۴- شاخص های بهره‌وری (WP)، کارایی مصرف (WUE) و بهره‌وری اقتصادی آب (WPe) مزارع تحت پایش

کد مزرعه	$I \sum$	$R + \sum I \sum$	ETa-s	Yc	WPe	WP	WUE
	(میلی متر)		(کیلوگرم بر هکتار)	(ریال بر مترمکعب)	(کیلوگرم بر مترمکعب)	(کیلوگرم بر مترمکعب)	(کیلوگرم بر مترمکعب)
W1	۶۹۹	۹۵۰	۵۲۶	۱۱۱۰۲	۳۲۷۵	۱۰۱۷	۲۰۱۱
W2	۱۰۳۱	۱۲۴۸	۵۷۱	۹۹۶۱	۲۱۳۲	۰۰۸	۱۰۷۴
B1	۴۷۹	۶۸۴	۴۰۶	۵۰۵۸	۸۰۲	۰۰۷۴	۱۰۲۵
B2	۵۳۸	۷۳۴	۴۱۲	۳۹۴۷	۲۳۳	۰۰۵۴	۰۰۹۶
C1	۵۵۵	۸۰۵	۶۵۲	۵۹۲۱	۳۹۲۳	۰۰۷۴	۰۰۹۱
C2	۶۱۰	۸۶۰	۶۰۰	۵۶۱۴	۳۴۰۳	۰۰۶۵	۰۰۹۴
C3	۶۱۵	۸۰۲	۴۶۲	۸۸۸۵	۶۷۲۷	۱۰۱۱	۱۰۹۲
C4	۵۳۴	۷۲۱	۵۲۰	۱۵۰۷	-۲۴۴	۰۰۲۱	۰۰۲۹

ETa: تبخیر-تعرق واقعی تجمعی گیاه در طول فصل رشد

$\sum I$: عمق تجمعی آب آبیاری در طول فصل رشد

Yc: عملکرد دانه محصولات

$\sum I + \sum R$: عمق تجمعی آب آبیاری و بارش در طول فصل رشد

شاخص‌های بهره‌وری آب

شاخص WP در مزارع تیمار در مقایسه با مزارع شاهد در هر چهار منطقه مورد مطالعه در مزارع تیمار نسبت به شاهد بیشتر بود (جدول ۴). همان‌طور که در بخش‌های قبل اشاره شد نتایج نشان‌دهنده کاهش آب مصرفی (به استثنا مزرعه C3) و افزایش عملکرد همه مزارع تیمار نسبت به مزارع شاهد بود؛ بنابراین با توجه به اینکه شاخص بهره‌وری آب با میزان عملکرد نسبت مستقیم و با آب مصرفی نسبت عکس دارد، افزایش WP مزارع تیمار نسبت به شاهد خارج از انتظار نیست. همچنین نتایج نشان‌دهنده آن می‌باشد که شاخص WUE مزارع تیمار B1، W1 و C3 نسبت به مزرعه شاهد بیشتر بوده و تنها در مزرعه تیمار C1 این شاخص نسبت به مزرعه شاهد کمتر است (جدول ۲). از آنجاکه شاخص کارایی مصرف آب با میزان عملکرد نسبت مستقیم و با تبخیر-تعرق گیاه نسبت عکس دارد و با توجه به اینکه عملکرد مزارع تیمار نسبت به شاهد بیشتر بوده و مقادیر تبخیر-تعرق گیاه مزارع شاهد و تیمار به‌طور تقریب برابر می‌باشد، لذا بیشتر بودن مقادیر WUE مزارع تیمار B1، W1 و C3 نسبت به مزرعه شاهد بدیهی است. کشت محصول در مزرعه تیمار C1 حدود ۱۲ روز زودتر و برداشت آن ۱۰ روز دیرتر از مزرعه C3 انجام گردید به نظر می‌رسد بیشتر بودن تبخیر و تعرق تجمعی این مزرعه نسبت به مزرعه C2 به این دلیل باش؛ اما علت کمتر بودن

شاخص WUE در مزرعه تیمار کلزا، سایت عجب‌شیر به سبب بیشتر بودن تبخیر-تعرق تجمعی گیاه در مزرعه تیمار نسبت به شاهد و برابر بودن تقریبی مقدار محصول به دلایل ذکر شده قبلی در مزارع تیمار و شاهد می‌باشد. به منظور اندازه‌گیری WPe کلیه هزینه‌های مراحل مختلف به دلیل به روز نبودن آمار وزارت جهاد برای سال زراعی مورد مطالعه مطابق باقیمت‌های سال زراعی ۹۱-۹۰ از آمارنامه وزارت جهاد کشاورزی اخذ گردید. قیمت تضمینی خرید محصولات مورد مطالعه نیز بر اساس نرخ مصوب ارائه شده توسط سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور در همان سال زراعی اخذ شد (جدول ۵). درنهایت سود اقتصادی با استفاده از تفاضل درآمد ناخالص از مجموع هزینه‌های انجام شده به ازای سطح کشت هر محصول حاصل گردید. همچنین به دلیل مسائل اجتماعی و مشکلات موجود امکان محاسبه هزینه اختصاصی برای هر مزرعه وجود نداشت. نتایج نشان داد که شاخص WPe نیز در هر چهار منطقه مورد مطالعه در مزارع تیمار نسبت به مزارع شاهد بیشتر بود (جدول ۴). به سبب اینکه شاخص بهره‌وری اقتصادی آب با میزان سود نسبت مستقیم و با حجم آب مصرفی نسبت عکس دارد و از آنجا که سود اقتصادی و آب مصرفی همه مزارع تیمار (به استثنا مزرعه C3) نسبت به شاهد به ترتیب بیشتر و کمتر بود، سبب گردید تا WPe مزارع تیمار نسبت به شاهد بیشتر باشد (شکل ۳).

جدول ۵- هزینه‌های مراحل مختلف کاشت به ازای هر هکتار و قیمت خرید تضمینی محصولات (واحد ۱۰ ریال)

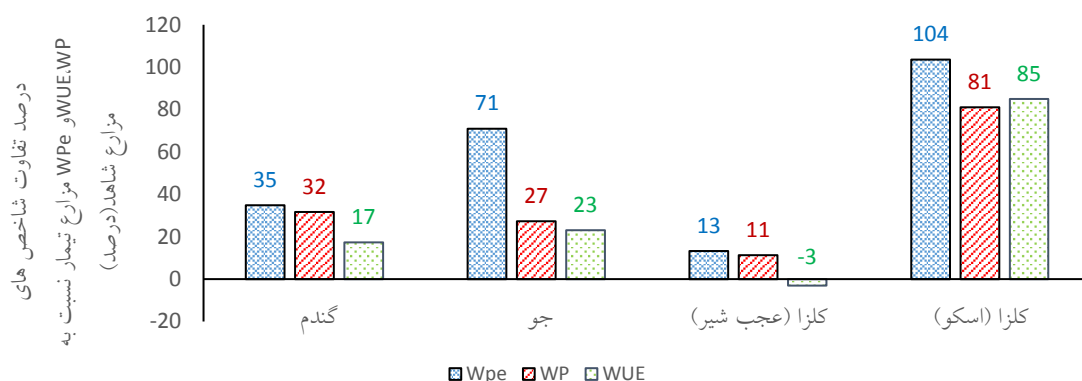
نام محصول	آماده‌سازی زمین	کاشت	داشت	برداشت	اجاره بهاء زمین	جمع کل هزینه‌ها	قیمت خرید واحد کیلوگرم
گندم	۱۵۴۳۸۱	۲۵۰۳۸۱	۳۲۸۵۶۸	۱۴۹۹۱۲	۳۸۹۹۵۶	۱۲۷۳۱۹۸	۳۹۵
جو	۱۵۰۲۳۹	۲۰۸۱۰۸	۳۶۷۰۱۱	۱۲۸۵۶۲	۳۱۶۹۰۲	۱۱۷۰۸۲۲	۳۹۴
کلزا	۱۰۵۳۱۲	۱۱۴۲۰۵	۲۳۲۵۹۰	۱۲۶۷۰۶	۷۳۵۰۶۵	۱۳۱۳۸۷۸	۷۵۵

نتایج به‌دست‌آمده دلالت بر آن دارد که فناوری‌های به‌زراعی اعمال شده در مزارع تیمار در افزایش شاخص‌های WP، WUE و WPe مؤثر واقع شده است. به نظر می‌رسد برخی از فناوری‌های اعمال شده مانند اصلاح برنامه کودی و تغییر وارته گیاهی بر افزایش مقدار محصول و برخی دیگر مانند اصلاح ابعاد کرت‌ها و تسطیح مناسب

زمین بر کاهش میزان آب مصرفی مؤثر بوده است. بااین حال به دلیل اینکه در این مطالعه مزارع به‌صورت کامل تحت مدیریت کشاورزان بود. پیاده‌سازی طرح‌های آماری در مزرعه به‌منظور مقایسه اثربخشی هر یک از فناوری‌های اعمال شده به‌صورت جداگانه و همچنین بررسی اثرات متقابل هریک بر شاخص‌های WP، WUE و WPe میسر

کود ازت در مرکبات بهره‌وری آب را ۱۵ درصد افزایش داد (کین و همکاران، ۲۰۱۶). در خصوص اصلاح ابعاد کرت در گزارشی ذکر شده است که یکنواختی و راندمان کاربرد آبیاری با کاهش طول شیار و کرت افزایش می‌یابد (سوان و فرنکین، ۲۰۰۲). همچنین شیوه مناسب خاک‌ورزی که از دیگر فناوری‌های اعمال شده در مزارع تحت پایش می‌باشد، بر میزان افزایش عملکرد و بهره‌وری آب تأثیرگذار بوده است. به‌طوری‌که محققانی گزارش نمودند که عملیات متناوب خاک‌ورزی^۱ باعث بهبود مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک شده و در نتیجه سبب افزایش عملکرد و بهره‌وری آب می‌گردد (هایو و همکاران، ۲۰۱۲).

نبود؛ اما بر طبق نتایج حاصل می‌توان ذکر نمود که مجموع فناوری‌های اعمال شده بدون در نظر گرفتن سهم هر کدام منجر به افزایش شاخص‌های مذکور شده است. تحقیقات متعددی اهمیت فناوری‌های به زارعی مختلف را به تفکیک بر بهره‌وری آب مورد بررسی قرار داده‌اند. عمده تحقیقات صورت گرفته در این زمینه بر افزایش شاخص‌های بهره‌وری توسط اعمال فناوری‌های به زارعی تأکید دارد که از این منظر با نتیجه تحقیق حاضر منطبق می‌باشد. در خصوص اصلاح برنامه کودی به عنوان یکی از فناوری‌های اعمال شده محققانی گزارش نمودند که مدیریت زارعی و مصرف کود نقش بسزایی در افزایش بهره‌وری آب دارد (اویس، ۱۹۹۹). همچنین پژوهشگرانی مشاهده کردند که مصرف بهینه‌ی



شکل ۳- میزان اثربخشی فناوری‌های به زارعی در مزارع گندم، جو و کلزا بر اساس شاخص‌های WP، WUE و Wpe

متأسفانه اغلب مقالات و رساله‌های علمی انجام شده در زمینه بهره‌وری و عوامل تأثیر گزار بر آن بدون در نظر گرفتن شرایط واقعی مزرعه و مبتنی بر نتایج مستخرج از طرح‌های ایستگاه‌های تحقیقاتی و استناد به منابع خارجی می‌باشد. این امر می‌تواند موجب ناکارآمدی تصمیمات و عدم رضایت ذینفعان گردد. چراکه بسیاری از ایده‌های تحقیقاتی به دلایل مسائل مختلف اجتماعی قابلیت اجرایی و انطباق با شرایط واقعی ندارد. به نظر می‌رسد شرط لازم برای موفقیت در افزایش بهره‌وری و منافع حاصل از آن همکاری مشترک بین محققان و کشاورزان در تحلیل مشکلات کشاورزی و آزمایش شیوه‌های کشاورزی جایگزین است. به صورتی که منافع کشاورزان به دنبال

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج این تحقیق نشان داد WP مزارع تیمار W1، C1، B1 و C3 به ترتیب برابر با ۲۷، ۱۱ و ۸۱ درصد، WUE مزارع تیمار W1، B1 و C3 به ترتیب برابر با ۱۷، ۲۳ و ۸۵ درصد و Wpe مزارع تیمار W1، B1، C1 و C3 به ترتیب برابر با ۳۵، ۷۱، ۱۳ و ۱۰۴ نسبت به مزارع شاهد افزایش و تنها در مزرعه C1 شاخص WUE به میزان سه درصد نسبت به مزرعه شاهد کاهش یافت. در مجموع به‌طور متوسط فناوری‌های به زارعی اعمال شده در همه مزارع منجر به افزایش شاخص‌های WP، WUE و Wpe به ترتیب به میزان ۳۸، ۳۱ و ۵۶ درصد گردید.

اجرای طرح تأمین گردد؛ بنابراین با رعایت اصول ذکرشده پیشنهاد می‌گردد فناوری‌های بکار گرفته‌شده در این تحقیق با مشارکت کشاورزان برای سایر مزارع منطقه اعمال گردد. تا علاوه بر ارتقا معیشت کشاورزان و افزایش بهره‌وری، کاهش برداشت از منابع آب نیز حاصل گردد. اگرچه افزایش بهره‌وری آب شرط لازم برای کاهش مصرف آب بوده و شرط کافی نمی‌باشد. همچنین پیشنهاد می‌گردد در مطالعات بعدی به‌منظور برنامه‌ریزی دقیق‌تر، با افزایش مزارع تحت مطالعه اثربخشی هریک از فناوری‌های اعمال‌شده به‌صورت جداگانه بررسی شود.

تشکر و قدردانی

این پژوهش با حمایت و پشتیبانی طرح حفاظت از تالاب‌های ایران و در قالب پروژه همکاری در احیا دریاچه ارومیه از طریق مشارکت جوامع محلی در استقرار کشاورزی پایدار و حفاظت از تنوع زیستی در معرض خطر با حمایت مالی دولت ژاپن انجام گرفت.

فهرست منابع

۱. احسانی، م. و خالدی ه (۱۳۸۲) بهره‌وری آب کشاورزی. نشریه ۸۲. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. ۱۱۵ صفحه.
۲. احمد آبادی، ز. و قاجار سپانلو م (۱۳۹۱) تأثیر کاربرد کودهای آلی روی برخی خواص فیزیکی خاک. پژوهش-های حفاظت آب و خاک. ۱۹(۲): ۹۹-۱۶۶.
۳. احمدزاده، ح.، مرید، س. و دلاور م (۱۳۹۳) ارزیابی مدل SWAT در شبیه‌سازی هم‌زمان رواناب رودخانه، تبخیر و تفرق واقعی و عملکرد محصولات کشاورزی: مطالعه موردی، حوضه زرينه‌رود. آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۸(۵): ۸۸۹-۸۷۶.
۴. توکلی، ع. ر (۱۳۸۹) بهبود بهره‌وری آب با به‌کارگیری مدیریت تلفیقی آبیاری محدود و عملیات زراعی برتر در زراعت غلات دیم. دانشگاه تهران. تهران. رساله‌ی دکتری.
۵. حقایقی مقدم، س. ا. و فرزام نیا م (۱۳۹۱) تأثیر برنامه‌ریزی آبیاری بر شاخص‌های بهره‌وری آب، مطالعه موردی: دشت نیشابور. پژوهش آب در کشاورزی. ۲۶(۲): ۱۳۱-۱۴۱.
۶. حیدری ن (۱۳۹۰) تعیین و ارزیابی شاخص کارایی مصرف آب محصولات زراعی تحت مدیریت کشاورزان در سطح کشور. مدیریت آب و آبیاری. ۱(۲): ۵۷-۴۳.
۷. دهقان، م. ذبیحی افروز، ر. ع. و حسینی ثابت م (۱۳۸۸) بهره‌وری محصولات زراعی در ازای مصرف آب در ایران و مقایسه آن با کشورهای جهان. وزارت جهاد کشاورزی. مؤسسه پژوهش‌های برنامه‌ریزی، اقتصاد کشاورزی و توسعه روستایی. ۸۲ صفحه.
۸. عزیزاده ا (۱۳۸۹) رابطه آب و خاک و گیاه. چاپ پنجم، انتشارات دانشگاه امام رضا (ع)، مشهد. ۴۷۰ صفحه.
۹. لشکری، ح. کیخسروی، ق. و رضایی ع (۱۳۸۸) تحلیل میزان کارایی مدل CROPWAT در برآورد نیاز آبی محصول گندم در غرب کرمانشاه: شهرستان‌های اسلام‌آباد غرب، سرپل زهاب و روانسر. برنامه‌ریزی و آمایش فضا. ۱۳(۱): ۲۴۷-۲۷۰.
۱۰. مرادی دالینی، ا. و نیشابوری م (۱۳۸۴) تعیین نیازآبی گیاه کلزا با استفاده از لایسیمتر در منطقه حاجی‌آباد هرمزگان. مجموع مقالات نهمین کنگره علوم خاک ایران، تهران، ایران.

۱۱. مقدسی، م.، مرید، س.، دلاور، م. و عرب پور ف (۱۳۹۴) رویکرد مدیریت آب در بخش کشاورزی در راستای احیای دریاچه ارومیه. تحقیقات منابع آب ایران. ۱۱(۱): ۱-۱۲.
۱۲. مهتدی، م.، الباجی، م. و دوست محمدی م م (۱۳۹۲) بررسی بهره‌وری آب سه محصول زراعی جو، گندم و یونجه در استان خوزستان به تفکیک شهرستان. مجموع مقالات چهارمین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران.
۱۳. مؤمنی ر (۱۳۹۰) ارزیابی سناریوهای افزایش بهره‌وری مصرف آب گندم دیم در حوزه کرخه با استفاده از آنالیزهای مدیریتی مدل رشد گیاهی CropSyst. مدیریت آب و آبیاری. ۱۱(۱): ۲۹-۴۰.
۱۴. نصر اصفهانی، ا. و گلچین ن ا (۱۳۸۷) برآورد کارایی مصرف آب محصولات زراعی در دشت برخوان اصفهان و دشت گرگان و گنبد. وزارت جهاد کشاورزی معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، مؤسسه پژوهش‌های برنامه‌ریزی و اقتصاد کشاورزی. ۴۷ صفحه.
۱۵. نیری، س. حلمی فخرداد ر (۱۳۸۲) مقایسه کارایی مصرف آب در چند نقطه خراسان. مجموعه مقالات یازدهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، تهران. ایران.
۱۶. نیازی، ج. و فولادمند ح ر (۱۳۸۵) دور و نیاز آبیاری سه رقم کلزا در منطقه زرقان استان فارس. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۰(۳): ۷۱-۸۱.
۱۷. عباسی، ف. ناصری، ا. سهراب، ف. باغانی، ج. عباسی، ن. و اکبری، م. ۱۳۹۴. ارتقای بهره‌وری مصرف آب. انتشارات سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی.
18. Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. and Smith M (1998) Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and drainage paper, No.56, FAO, Rome, Italy, 300 P.
19. Chamberlain, A (1952) Measuring water in small channels with WSC flume (Stations circular 200). State College of Washington.
20. Fatemi, Z., Paknejad, F., Amiri, E. and Eilkaee M N (2014) Capability of the CERES-Barley Model for Prediction of Barley Varieties Growth under Deficit Irrigation. Biology. 2(1):1-7.
21. Hou, X., Li, R., Jia, Z., Han, Q., Wang, W. and Yang B (2012) Effects of rotational tillage practices on soil properties, winter wheat yields and water-use efficiency in semi-arid areas of north-west China. Field crops research. 129 (2): 7-13.
22. Karlen, D. L. and Camp C R (1985) Row spacing, plant population, and water management effects on corn in the Atlantic Coastal Plain. Agronomy. 77(3):393-398.
23. Kassam, A. H., Molden, D., Fereres, E. and Doorenbos J (2007) Water productivity: science and practice—introduction. Irrigation Science. 25(3): 185-188.
24. Li, S. X., Wang, Z. H., Li, S. Q. and Gao Y J (2015) Effect of nitrogen fertilization under plastic mulched and non-plastic mulched conditions on water use by maize plants in dryland areas of China. Agricultural Water Management. 162: 15-32.
25. Oweis T (1999) Water harvesting and supplemental irrigation for improved water use efficiency in dry areas (Vol. 7). IWMI.
26. Panda, R. K., Behera, S. K. and Kashia P S (2003) Effective management of irrigation water for wheat under stressed conditions. Agricultural water management. 63(1): 37-56.
27. Qin, W., Assinck, F. B., Heinen, M and Oenema O (2016) Water and nitrogen use efficiencies in citrus production: A meta-analysis. Agriculture, Ecosystems &

- Environment. 222: 103-111.
28. Savva, A. P and Frenken K (2002) Irrigation manual. Planning, development monitoring and evaluation of irrigated agriculture with farmer participation. FAO.
 29. Wang, M. C. and Yang C H (2002) Effect of paddy-upland crop rotation with various fertilizations on soil physical and chemical properties. In 17. World congress of soil science, Bangkok. Thailand
 30. Yan, N., Wu, B., Perry, C and Zeng H (2015) Assessing potential water savings in agriculture on the Hai Basin plain, China. Agricultural Water Management. 154: 11-19.

مکانیابی مناطق مستعد اجرای سامانه‌های آبیاری سطحی و تحت فشار با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی در دشت دز

حامد پورصمصام، الهام اکبری^۱، علی محمد آخوندعلی و سعید برومندنسب

کارشناس آبیاری، مدیریت جهاد کشاورزی شهرستان دزفول، دزفول، ایران.

Hamed_poorsamsam@yahoo.com

کارشناس ارشد مهندسی رودخانه و کارشناسی آبیاری، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

Elliakbari@yahoo.com

استاد، گروه هیدرولوژی و منابع آب، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

Aliakh@scu.ac.ir

استاد، گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

Boroomand@scu.ac.ir

دریافت: آبان ۱۳۹۹ و پذیرش: اسفند ۱۳۹۹

چکیده

روش‌های آبیاری تحت فشار می‌تواند یک راه حل مناسب برای استفاده بهینه از منابع آب باشد، به شرطی که انتخاب، طراحی، اجرا و بهره‌برداری سامانه‌های آبیاری با دقت کافی و به‌طور اصولی انجام گیرد. در تصمیم‌گیری و اجرای سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار در مقیاس ناحیه‌ای و منطقه‌ای، عوامل متعددی همچون شرایط آب، خاک و اقلیم در کنار سایر عوامل اقتصادی- اجتماعی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. دشت دز (شامل دشت‌های لور، دیمچه، دزغری، دز شرقی و سبیلی) پهناورترین دشت و از مهمترین قطب‌های کشاورزی استان خوزستان می‌باشد. در این پژوهش با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی AHP در محیط نرم افزار GIS امکان اجرای سامانه های مختلف آبیاری (موضعی، کلاسیک ثابت، آبفشان غلطان، مکانیزه دوار، مکانیزه خطی، ارا به ای، کم فشار و سطحی) در دشت دز مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور معیارهای تأثیرگذار شامل دو معیار اقتصادی اجتماعی و شرایط فیزیکی مزرعه در اجرای هر یک از روش‌های آبیاری در نظر گرفته شد. معیار اقتصادی- اجتماعی به چهار زیرمعیار نگهداری- بهره برداری، هزینه، مهارت کارگران، و فرهنگ و معیار شرایط فیزیکی مزرعه به چهار زیرمعیار آب، اقلیم منطقه، خاک، و توپوگرافی تقسیم‌بندی شد و در نهایت نقشه نهایی مکان‌یابی در محیط نرم افزار GIS تهیه گردید. نتایج نشان داد که ۶۲/۷۷٪ از مساحت کل دشت برای مجموع سامانه- های آبیاری بارانی، ۱۴/۶٪ برای آبیاری موضعی، ۱۴/۳٪ برای آبیاری کم فشار و ۸/۳٪ از مساحت کل دشت برای آبیاری سطحی از امتیاز خیلی مستعد برخوردار می‌باشد همچنین در بین تمام روش‌های آبیاری، سامانه آبیاری بارانی کلاسیک در تمامی نقاط محدوده مورد مطالعه بالاترین امتیاز را کسب کرده است و در مجموع ۱۵/۰۴٪ از کل دشت کاملاً مستعد برای اجرای آبیاری کلاسیک ثابت می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری بارانی کلاسیک، آبیاری موضعی، آبیاری کم فشار

^۱- اهواز، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران.

مقدمه

کشور ایران از نظر موقعیت جغرافیایی جزو مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان است و بنابراین، در رابطه با آب در شرایط بحرانی‌تری به سر می‌برد (میرزایی تختگاهی و همکاران، ۱۳۸۵). در کشورهای با وضعیت اقلیمی خشک و نیمه‌خشک با توزیع غیریکنواخت بارندگی و عدم تناسب میزان و مدت بارندگی با آب مورد نیاز گیاهان زراعی، آبیاری مناسب به‌عنوان یک ابزار مهم در توسعه کشاورزی به شمار می‌رود. در یک پروژه آبیاری انتخاب روش آبیاری مناسب نقش بسیار با اهمیتی در موفقیت آن پروژه ایفا می‌کند (بینا و زرشناس، ۱۳۸۵). در تصمیم‌گیری و اجرای سامانه‌های آبیاری تحت فشار در مقیاس ناحیه‌ای و منطقه‌ای، عوامل متعددی همچون آب، خاک و اقلیم در کنار سایر عوامل اقتصادی-اجتماعی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) یکی از جامع‌ترین سیستم‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است (ساعتی، ۱۹۷۷). زیرا امکان در نظر گرفتن معیارهای کمی و کیفی را فراهم می‌کند. در مدل (AHP) با ایجاد یک ماتریس نسبت به مقایسه دو به دو معیارها پرداخته می‌شود و بنا به ادعای محققین دارای دو خصوصیت مهم است. یکی در نظر گرفتن فاکتورهای کمی و کیفی متعدد در حل مسئله و دیگری قابلیت تجزیه و تحلیل مسائل پیچیده از طریق سلسله‌مراتبی معیارها است (ساعتی، ۱۹۸۰).

بسیاری از مسائل در حوزه محیط زیست و کشاورزی شامل مکان یابی مناطق و بررسی کیفیت آب های زیرزمینی (مالیک و همکاران، ۲۰۲۰؛ نیر نیتیا و همکاران، ۲۰۱۹؛ داز و پال، ۲۰۱۹؛ کارکوس، ۲۰۱۸) و نیز در زمینه پتانسیل‌یابی امکان اجرای آبیاری تحت فشار (رمزی و همکاران، ۱۳۹۳؛ آزاد طلائی و همکاران، ۱۳۹۷؛ احمدی و همکاران، ۱۳۹۷؛ انانه و همکاران، ۲۰۱۲؛ نیسی و همکاران، ۲۰۲۰) با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره حل شده است. در انتخاب مناطق مناسب روش‌های متنوع آبیاری لازم است زیرمعیارهای مختلف مؤثر در

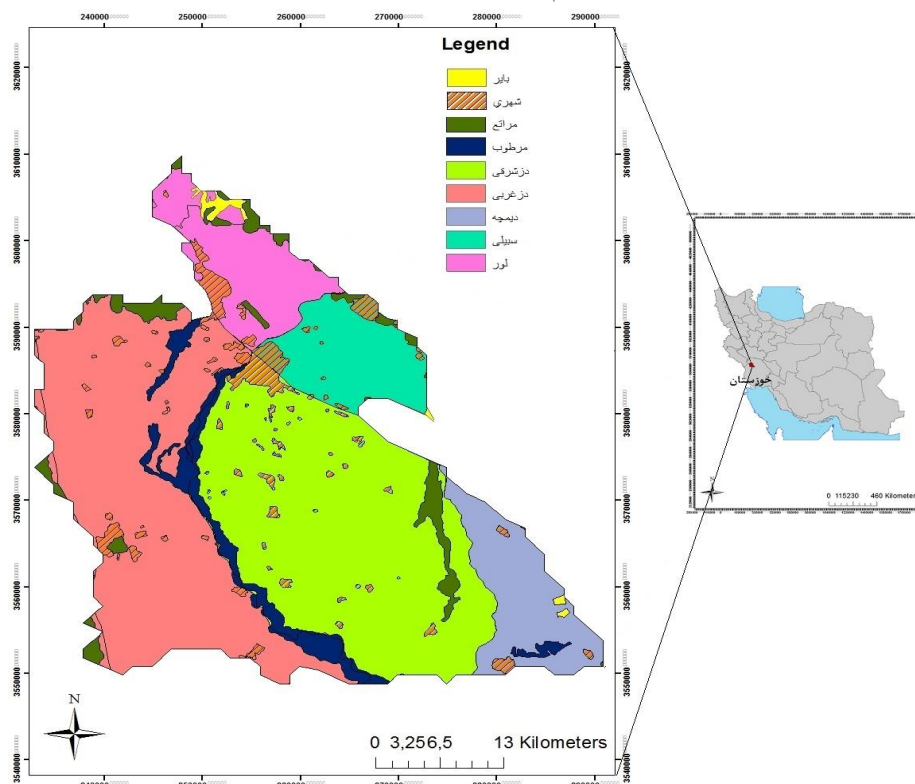
انتخاب بهترین سیستم آبیاری در نظر گرفته شوند. روش تحلیل سلسله‌مراتبی قابلیت برقراری ارتباط بین زیرمعیارهای مختلف را دارد و با ایجاد ارتباط بین زیرمعیارها می‌تواند عمل اولویت‌بندی را انجام دهد و تصمیم‌گیری به‌منظور انتخاب بهترین سامانه آبیاری برای منطقه‌ی مورد نظر را سریع‌تر و دقیق‌تر کند. در منطقه دشت دز به دلیل توسعه و رونق کشاورزی و وجود منابع آب، استفاده درست از این منابع منوط به انتخاب بهترین سیستم آبیاری در منطقه است. سامانه آبیاری سطحی، رایج‌ترین سامانه آبیاری مورد استفاده در این منطقه است با توجه به اجرای موفق سیستم‌های آبیاری تحت فشار در سال‌های اخیر در منطقه لزوم مکان یابی سامانه‌های آبیاری با در نظر گرفتن زیرمعیارهای مختلف تأثیرگذار بر عملکرد آنها امری ضروری می‌باشد که در این پژوهش به این مهم پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

معرفی دشت

دشت دز با وسعت ۲۰۷۳ کیلومتر مربع به عنوان یکی از وسیع‌ترین دشت‌های استان خوزستان، دارای پنج زیر دشت به نام‌های دشت سبیلی واقع در شمال شرقی شهرستان دزفول، دشت لور واقع در شمال غربی شهرستان دزفول، دشت‌های دز شرقی و دز غربی به ترتیب در شرق و غرب رودخانه دز و دشت دیمچه واقع در غرب رودخانه کهنک می‌باشد (شکل ۱). در قسمت اعظمی از محدوده مطالعاتی، بهره‌برداری از آب سطحی توسط شبکه گسترده آبیاری و زهکشی سد دز انجام می‌شود. در دشت دیمچه، برداشت از سد تنظیمی گتوند توسط کانال‌های انتقال آب و در برخی مناطق برداشت مستقیم از رودخانه دز صورت می‌گیرد. منابع اصلی تأمین آب سطحی منطقه سد مخزنی دز، رودخانه و شبکه آبیاری پایین دست سد و سد تنظیمی گتوند می‌باشد. علاوه بر آب سطحی منبع دیگر تأمین آب منطقه، آب زیرزمینی با استفاده از چاه‌های عمیق و نیمه عمیق در سطح دشت است که تراکم چاه‌ها

نیازها از آب زیرزمینی تأمین می شود و در دشت دیمچه آب کشاورزی از منبع آب سطحی و آب شرب از منبع آب زیرزمینی تأمین می گردد. جهت بررسی پهنه بندی کیفی آب های زیرزمینی این دشت، از اطلاعات کیفی ۹۳ حلقه چاه برداشت شده توسط سازمان آب و برق خوزستان طی سال های ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۸ استفاده شده است.



شکل ۱- موقعیت مکانی منطقه مورد مطالعه

دارد (ساعتی، ۱۹۸۰). در شکل ۲ نمودار سلسله مراتبی معیارها و زیرمعیارها در رابطه با انتخاب بهترین سامانه آبیاری نشان داده شده است. همانطور که از این شکل مشخص است، برای گریز از ناهمگنی قضاوت ها در مقایسه ی دودویی، معیارها و زیرمعیارها به گونه ای انتخاب شده اند که ابعاد ماتریس مقایسه کوچک باشد و مقایسه به سهولت صورت گیرد. در این شکل، سطح هدف که انتخاب سامانه آبیاری مناسب می باشد در بالاترین قسمت نمودار قرار گرفته است. معیارها که شامل دو معیار اقتصادی - اجتماعی و فیزیکی هستند، در سطح اول قرار گرفته اند و بعد از معیارها، زیرمعیارها قرار گرفته اند که به عنوان سطح

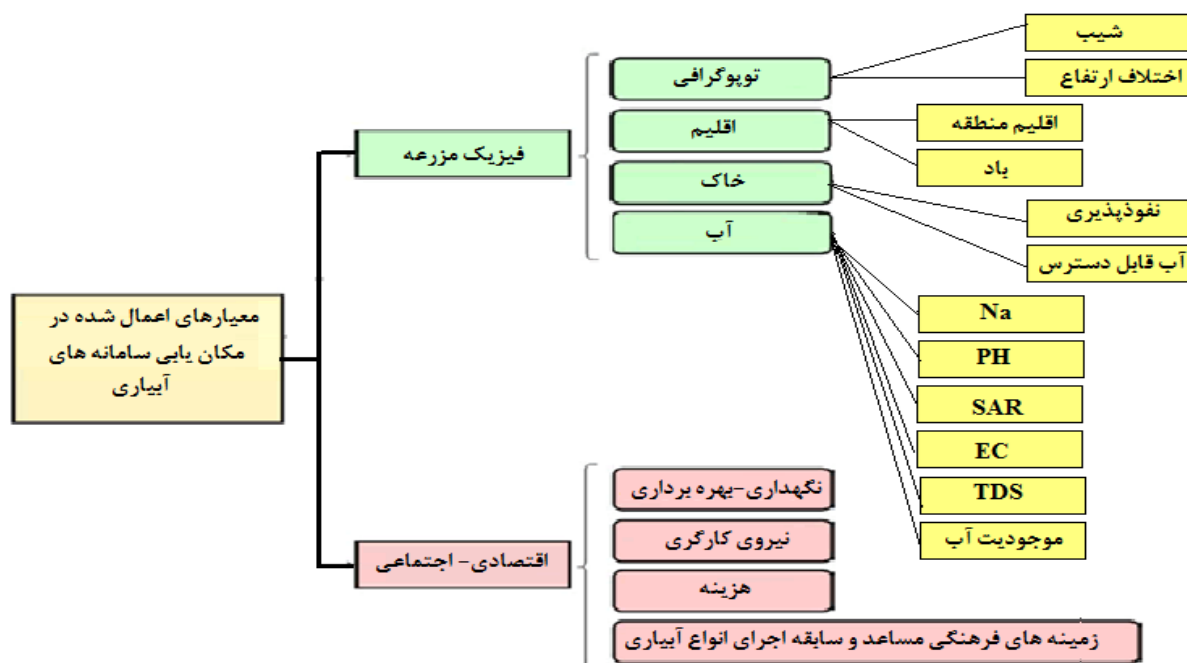
بخصوص در نیمه شمالی دشت به علت آبدهی مناسب و عدم وجود شبکه آبیاری، بیشتر است. به دلیل وجود سازند نفوذ پذیر کنگلومرای بختیاری و امکان تغذیه آبخوان های موجود در اکثر مناطق دشت، بیش از ۳۰۰۰ حلقه چاه حفر شده است (خواجه پور و همکاران، ۱۳۹۰) نیازهای آبی در دشت های دزغربی، دزشرقی و سیلی از دو منبع آب سطحی و زیرزمینی تأمین می شود. در دشت لور تمام

مراحل انجام تحلیل سلسله مراتبی در محیط نرم افزار GIS

در تحقیق حاضر برای آنکه وزن دهی معیارها و قضاوت ها با ذهن و طبیعت بشری مطابق و همراه باشد، از روش AHP استفاده شد. اولین قدم در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، ایجاد یک نمایش گرافیکی از مسئله می باشد که در رأس آن هدف کلی مسئله و در سطوح بعدی معیارها و گزینه ها نشان داده می شوند. هر چند که یک قاعده ثابت و قطعی برای رسم سلسله مراتبی وجود ندارد ولی در یک نگاه کلی می توان گفت که روش ساختن یک سلسله مراتبی به نوع تصمیمی که باید اتخاذ شود بستگی

زیرمعیارهای واضحی است و وجود زیرمعیارهایی در سطح سوم در این معیار توصیه نمی‌شود، اما میزان مزیت زیرمعیارهای معیار اقتصادی-اجتماعی در هر سامانه آبیاری متفاوت است. زیرمعیارهای فیزیکی مزرعه در سطح دوم به‌طور مشخصی جزئیات مد نظر را بیان نمی‌کند و لازم است زیرمعیارهایی در سطح سوم در نظر گرفته شوند که بیانگر جزئیات بیشتری باشند و دقت مطالعه افزایش یابد.

دوم در این نمودار محسوب می‌شوند و این زیرمعیارها نیز خود به چندین زیرمعیار دیگر تقسیم می‌شوند که این معیارها در سطح سوم قرار می‌گیرند. با توجه به اینکه امتیازدهی معیارها با مشورت متخصصان این زمینه انجام شد و حتی نظر بهره‌برداران درباره پذیرش انواع سامانه های آبیاری در قالب زیر معیار زمینه های فرهنگی معیار اقتصادی- اجتماعی اعمال گردید، لازم به ذکر است که معیار اقتصادی- اجتماعی در منطقه‌ی مورد مطالعه دارای



شکل ۲- نمودار سلسله‌مراتبی معیارها و زیرمعیارها در رابطه با انتخاب بهترین سامانه آبیاری

استفاده شد (جدول ۱). با توجه به اینکه امتیازدهی معیارها با مشورت اساتید دانشکده علوم آب شهید چمران اهواز و نیز کارشناسان آب و خاک جهاد کشاورزی منطقه انجام شد، وزن هر کدام از معیارها بدست آمد. سپس با ضرب کردن این وزن‌ها در امتیازهای کسب شده وزن هر زیرمعیار به‌دست می‌آید و امتیاز نهایی هر زیرمعیار محاسبه می‌شود. با جمع جبری امتیازهای نهایی زیرمعیارها، امتیاز کل برای هر یک از مناطق محدوده مورد مطالعه طرح در رابطه با هر یک از گزینه‌های سامانه‌های آبیاری به‌دست می‌آید.

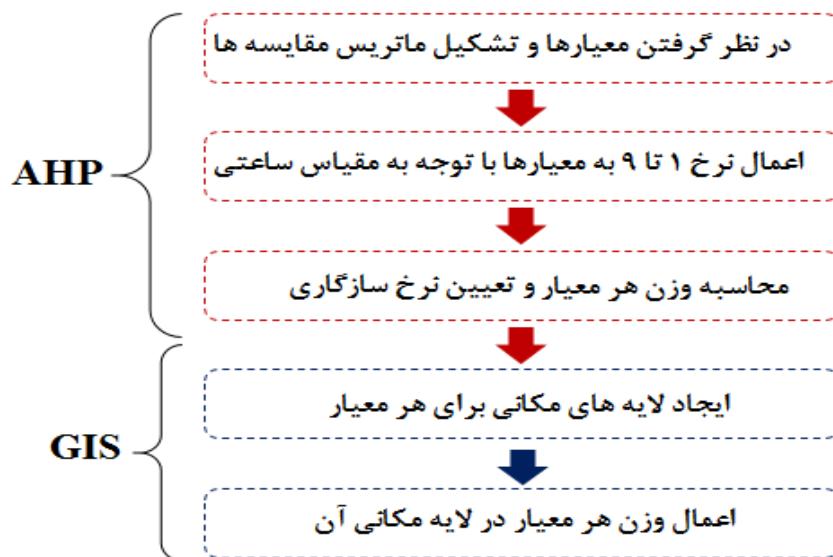
به‌دلیل اینکه هر یک از متغیرها تأثیر متفاوتی روی انتخاب نوع آبیاری دارند و متغیرهای مؤثر بیش از یک فاکتور بوده و ارجحیت فاکتورها نسبت به هم سنجید می‌شوند، از روش مقایسه زوجی استفاده شد. در روش مقایسه زوجی، معیارها دو به دو با یکدیگر مقایسه شد و اهمیت آنها نسبت به یکدیگر بر اساس نظر کارشناسی تعیین گردید (قدسی‌پور، ۱۳۹۲) برای مقایسه زوجی متغیرها به صورت طبقه بندی کمی بین ۱ تا ۹ از جدول قیاسی که توسط ساتی (ساتی، ۱۹۷۷) بیان شده است

جدول ۱- مقیاس نه کمیته ساعتی برای مقایسه زوجی معیارها (ساعتی، ۱۹۷۷)

ردیف	ترجیحات	امتیاز
۱	اهمیت مساوی	۱
۲	اهمیت اندکی بیشتر	۳
۳	اهمیت بیشتر	۵
۴	اهمیت خیلی بیشتر	۷
۵	اهمیت مطلق	۹
۶	ترجیحات بین فواصل فوق	۸۶،۴،۲

یکی از مزیت های روش AHP امکان بررسی سازگاری در قضاوت های انجام شده برای تعیین ضریب اهمیت معیارها است. سازوکار بررسی این سازگاری، محاسبه ضریبی به نام ضریب ناسازگاری (CR) است (ساعتی، ۱۹۷۷). این معیار بایستی کمتر از ۰/۱ باشد در صورتی که مقدار ضریب بیشتر باشد، می بایست در اهمیت

نسبی پارامترها تجدید نظر صورت گیرد (قدسی پور، ۱۳۹۲). تمامی این فرایندها در سامانه GIS انجام شده و خروجی برای سامانه های مورد مطالعه به دست آمدند. سرانجام مطابق با مراحل شکل ۳ روند مربوط به مکان-یابی انواع سامانه های آبیاری برای منطقه مورد مطالعه حاصل گردید.

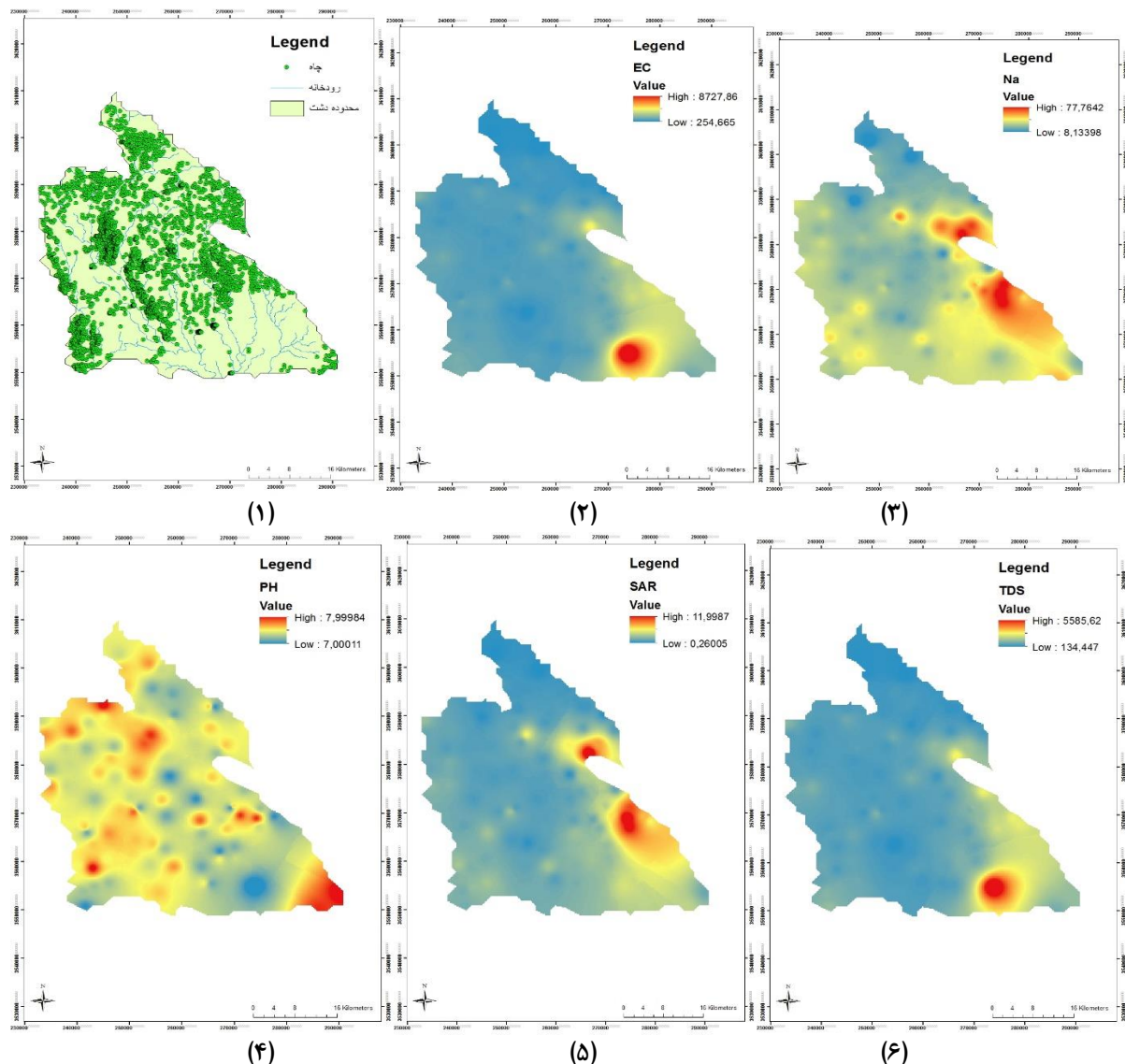


شکل ۳- روش شناسی گام ها در امکان یابی سامانه های مختلف آبیاری

نتایج و بحث

مکان یابی مناطق دشت دز برای انواع سامانه های آبیاری با تشکیل لایه های مکانی و تلفیق آنها در وزن های مربوطه برای هر کدام از سامانه ها براساس روش تحلیل سلسله مراتبی انجام گردید. باتوجه به اهمیت معیار آب

در آبیاری تحت فشار، برای نمونه نقشه های پهنه بندی این زیرمعیار در شکل ۴ ارائه شده است. به عنوان نمونه برای آبیاری موضعی، مطابق جدول ۲، ماتریس مقایسه های این سامانه با توجه به شرایط منطقه و نیز نظر کارشناسان در سطح اول، معیار فیزیک مزرعه وزن بیشتری نسبت به معیار اقتصادی-اجتماعی دارد.



شکل ۴- نقشه لایه‌های گرافیکی زیرمعیار فیزیکی و شیمیایی مربوط به خصوصیات آب زیرزمینی دشت دز
(۱) موجودیت آب و پراکندگی چاه‌ها (۲) EC (۳) Na (۴) PH (۵) SAR (۶) TDS

جدول ۲- ماتریس مقایسه معیارهای فیزیک مزرعه و اقتصادی - اجتماعی در سطح اول

وزن	فیزیک مزرعه	اقتصادی- اجتماعی	عوامل مؤثر
۰/۲۵	۰/۳۳۳	۱	اقتصادی- اجتماعی
۰/۷۵	۱	۳	فیزیک مزرعه

CR : ۰/۰

هزینه‌ی این سامانه نسبت به سایر سامانه‌ها با توجه به شرایط اقتصادی است. در ماتریس مقایسه‌های فیزیک مزرعه (جدول ۴) زیرمعیار آب دارای اهمیت بیشتری می‌باشد، زیرا این سیستم نسبت به کیفیت آب (با توجه به شرایط منطقه‌ی مورد مطالعه) حساس می‌باشد.

جداول ۳ و ۴ ماتریس مقایسه‌های زیرمعیارهای اقتصادی- اجتماعی و فیزیک مزرعه را در سطح دوم نشان می‌دهد. ماتریس مقایسه‌های اقتصادی- اجتماعی (جدول ۳) نشان می‌دهد که زیرمعیار هزینه در این مقایسه‌ها دارای وزن نهایی بالاتر و دارای اهمیت بیشتر نسبت به سایر زیرمعیارها دارد که دلیل این امر بالاتر بودن

مقدار ضریب سازگاری (CR) از مهمترین عوامل کنترل‌کننده در صحت وزن دهی به ماتریس‌ها می‌باشد که این مقدار باید از ۰/۱ کمتر باشد ملاحظه می‌گردد این مقدار برای ماتریس‌های آبیاری موضعی بین دو مقدار صفر و ۰/۰۰۱ می‌باشد. بعد از تأیید سازگاری ماتریس-ها مقدار وزن‌های نهایی محاسبه شده به سیستم اطلاعات جغرافیایی وارد شدند. نتایج محاسبات وزن نهایی برای هر

کدام از سامانه‌های آبیاری مورد مطالعه در جدول ۵ ارائه گردید. در نهایت برای هر سامانه آبیاری مورد مطالعه نقشه‌ای به عنوان خروجی نهایی به دست آمد که با استفاده از نقشه‌ها، برای مناسب بودن سامانه آبیاری برای منطقه‌ی مورد مطالعه تصمیم‌گیری شد. شکل ۵ نقشه خروجی امتیاز نهایی منطقه را برای سامانه آبیاری موضعی نشان می‌دهد.

جدول ۳- ماتریس مقایسه زیرمعیارهای اقتصادی - اجتماعی در سطح دوم

وزن	فرهنگی	هزینه	نیروی کارگری	نگهداری - بهره برداری	اقتصادی - اجتماعی
۰/۱۱۱	۱	۰/۱۶۷	۱	۱	نگهداری - بهره برداری
۰/۱۱۱	۱	۰/۱۶۷	۱	۱	نیروی کار
۰/۶۶۷	۶	۱	۶	۶	هزینه
۰/۱۱۱	۱	۰/۱۶۷	۱	۱	فرهنگی
CR: ۰/۰۰۱	۰/۰۲۸	۰/۱۶۷	۰/۰۲۸	۰/۰۲۸	وزن نهایی

جدول ۴- ماتریس مقایسه زیرمعیارهای فیزیک مزرعه در سطح دوم

وزن	خاک	آب	اقلیم	توپوگرافی	فیزیک مزرعه
۰/۱	۱	۰/۱۴۳	۱	۱	توپوگرافی
۰/۱	۱	۰/۱۴۳	۱	۱	اقلیم
۰/۷	۷	۱	۷	۷	آب
۰/۱	۱	۰/۱۴۳	۱	۱	خاک
CR: ۰/۰۰۱	۰/۰۷۵	۰/۵۲۵	۰/۰۷۵	۰/۰۷۵	وزن نهایی

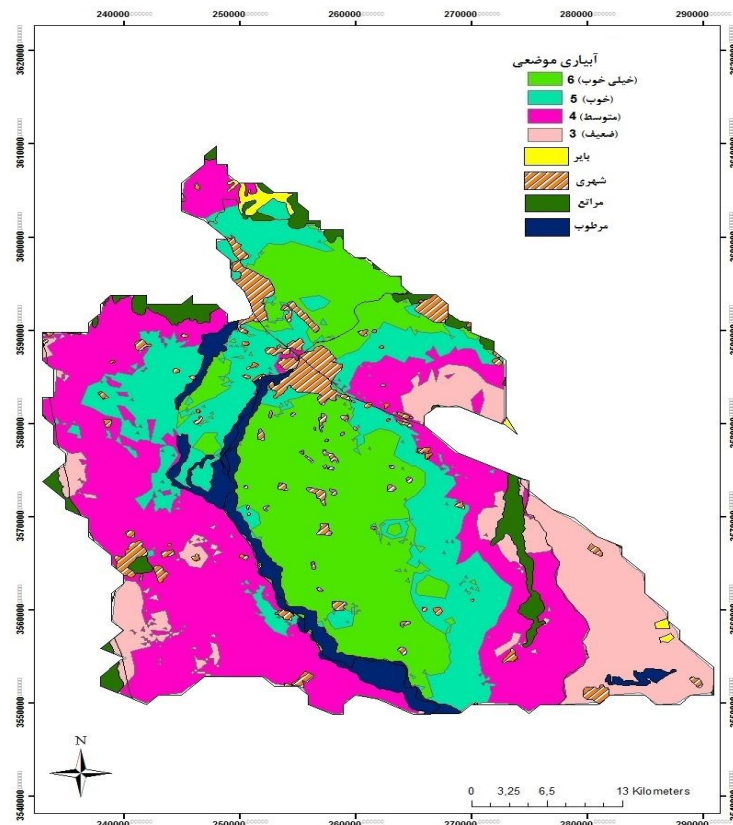
جدول ۶، درصد مساحت‌های مناطق دشت را بر حسب درجه مستعد بودن سامانه آبیاری موضعی نشان می‌دهد. مطابق جدول و با توجه به نقشه‌ی خروجی و امتیازبندی سامانه آبیاری مناسب‌ترین مکان‌ها برای اجرای آبیاری موضعی در منطقه مورد مطالعه تعیین گردید و امتیاز نهایی سامانه آبیاری موضعی برای دشت دز محاسبه شد.

در این تحقیق مطابق با روند مدل‌سازی آبیاری موضعی و تشکیل ماتریس مقایسه‌ها، برای آبیاری کلاسیک ثابت، آبفشان غلطان، ارابه‌ای، مکانیزه دوار، مکانیزه خطی، کم‌فشار و سطحی نیز با توجه به شرایط منطقه و نوع آبیاری و با استناد به نظر کارشناسان، تحلیل‌ها انجام گردید و برای هر سامانه آبیاری خروجی گرافیکی

به دست آمد و نتیجه‌گیری نهایی بر اساس بالاترین امتیاز به دست آمده توسط خروجی‌های گرافیکی تعیین شد. نقشه‌های نهایی به چندین سطح امتیازی طبقه‌بندی و امتیاز نهایی هر سامانه آبیاری با میانگین‌گیری وزنی نسبت به درصد مساحت حاصل شد (زبردست، ۱۳۸۰) و این امتیاز نهایی مربوط به هر نوع آبیاری در جدول ۶ ارائه گردیده است. به کمک سامانه GIS، نقشه نهایی امتیازگذاری همه سامانه‌های آبیاری بر روی هم گذاشته شد و مکان‌های مناسب برای هر سامانه آبیاری معین و در شکل ۶ ارائه گردید. درصد مساحت مربوط به مستعدترین مناطق در جهت اجرای هر سامانه آبیاری برای کل دشت و نیز به تفکیک زیردشت‌ها در جدول ۷ محاسبه گردید.

جدول ۵- نتایج محاسبات و وزن نهایی سامانه‌های آبیاری مورد مطالعه

وزن نهایی انواع سامانه آبیاری	معیار اصلی	زیرمعیار در سطح اول	زیرمعیار در سطح دوم	ارابه ای	آبشار غلطان	کلاسیک ثابت	مکانیزه دوار	مکانیزه خطی	موضعی	کم فشار	سطحی
نگهداری - بهره برداری				۰/۰۳۳	۰/۰۴۲	۰/۰۱۸	۰/۰۶۳	۰/۰۶۳	۰/۰۲۸	۰/۰۲۵	۰/۰۲۵
اقتصادی -		نیروی کار		۰/۰۳۳	۰/۰۴۲	۰/۰۱۶	۰/۰۲۱	۰/۰۲۱	۰/۰۲۸	۰/۰۴۸	۰/۰۴۸
اجتماعی		هزینه		۰/۰۳۳	۰/۰۴۲	۰/۰۹۴	۰/۰۶۳	۰/۰۶۳	۰/۰۶۷	۰/۰۴	۰/۰۴
		فرهنگی		۰/۰۶۶	۰/۰۴۲	۰/۰۳۸	۰/۰۲۱	۰/۰۲۱	۰/۰۲۸	۰/۰۳۳	۰/۰۳۳
		توپوگرافی	اختلاف ارتفاع	۰/۰۹۷	۰/۰۶۲	۰/۰۶۲	۰/۰۶۲	۰/۰۶۲	۰/۰۳۸	۰/۰۱۷	۰/۰۱۱۴
			شیب	۰/۱۴۶	۰/۱۸۷	۰/۱۸۷	۰/۱۸۷	۰/۱۸۷	۰/۰۳۸	۰/۰۱۷	۰/۰۲۲۷
		اقلیم	اقلیم منطقه	۰/۰۷۸۵	۰/۰۴۲	۰/۰۴۲	۰/۰۴۹	۰/۰۴۹	۰/۰۵۶	۰/۰۸۲	۰/۰۱۱۹
			باد	۰/۰۷۸۵	۰/۱۲۵	۰/۱۲۵	۰/۱۴۵	۰/۱۴۵	۰/۰۱۹	۰/۰۳۹	۰/۰۳۹
فیزیک		خاک	نفوذپذیری	۰/۱۰۳	۰/۱۲۵	۰/۱۲۵	۰/۱۲۵	۰/۱۲۵	۰/۰۱۹	۰/۰۲۴	۰/۰۲۴
مزرعه			آب قابل دسترس	۰/۱۰۳	۰/۱۲۵	۰/۱۲۵	۰/۱۲۵	۰/۱۲۵	۰/۰۵۶	۰/۰۱۱۲	۰/۰۱۱۲
			غلظت سدیم	۰/۰۱۷۵	۰/۰۳۸	۰/۰۴۸	۰/۰۳۸	۰/۰۳۸	۰/۰۳۶	۰/۰۱۸	۰/۰۱۸
			موجودیت آب	۰/۰۱۷۵	۰/۰۰۶	۰/۰۰۶	۰/۰۰۶	۰/۰۰۶	۰/۰۱۷	۰/۰۵۵	۰/۰۵۵
		آب	TDS	۰/۰۰۶	۰/۰۰۶	۰/۰۰۶	۰/۰۰۶	۰/۰۰۶	۰/۱۴۲	۰/۰۲۲	۰/۰۱۸
			SAR	۰/۰۱۸	۰/۰۱۸	۰/۰۲۸	۰/۰۱۸	۰/۰۱۸	۰/۰۴۵	۰/۰۵۵	۰/۰۵۵
			EC	۰/۰۰۴	۰/۰۱۸	۰/۰۱۸	۰/۰۱۸	۰/۰۱۸	۰/۱۴۲	۰/۰۱۸	۰/۰۱۸
			PH	۰/۰۱۷۵	۰/۰۱۸	۰/۰۱۸	۰/۰۱۸	۰/۰۱۸	۰/۱۴۲	۰/۰۱۸	۰/۰۱۸



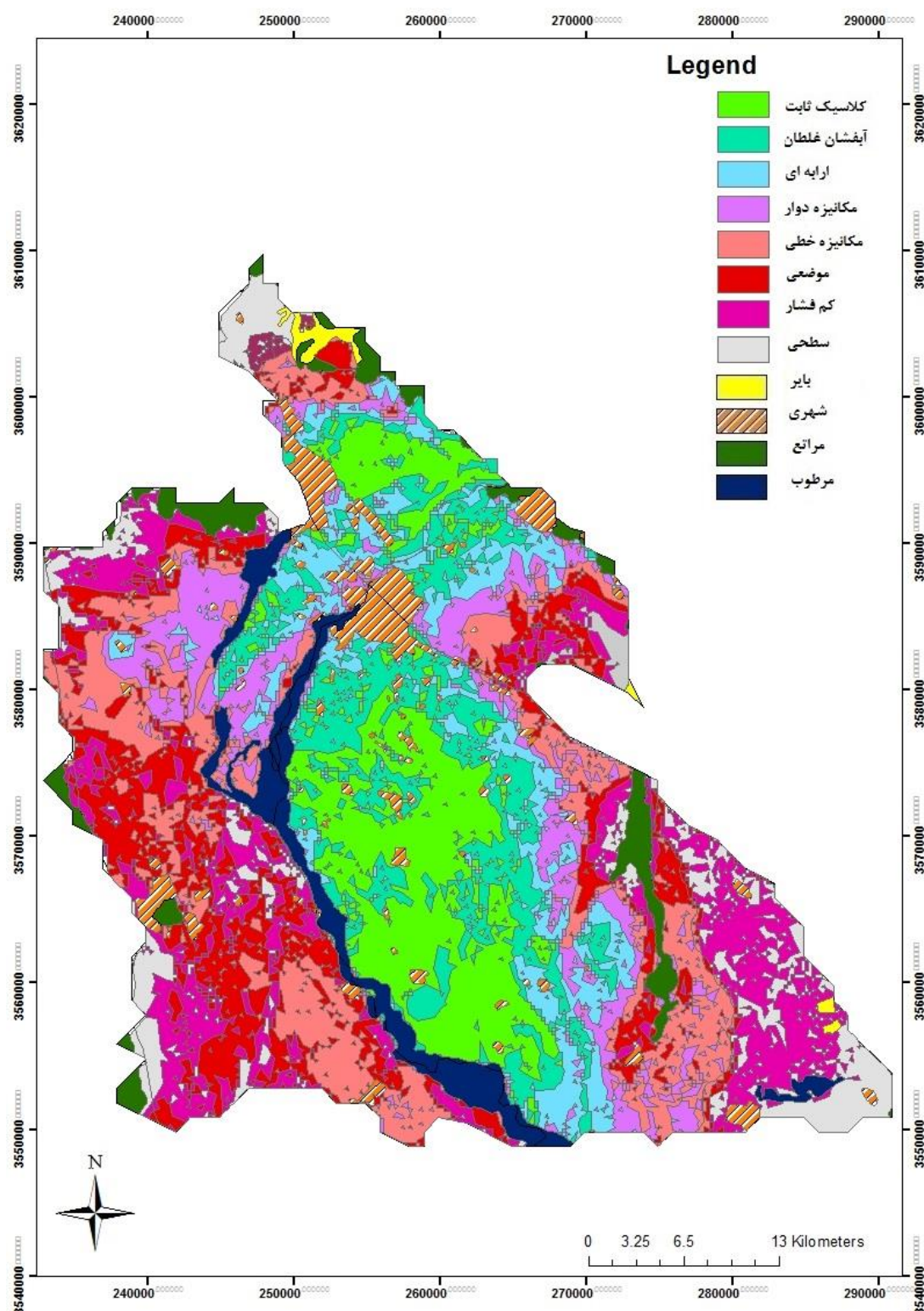
شکل ۵- نقشه خروجی امتیاز نهایی دشت دز برای سامانه آبیاری موضعی

جدول ۶- خلاصه نتایج بدست آمده در سامانه آبیاری موضعی با استفاده از نقشه های GIS

طبقات امتیازی (درجه مستعد بودن)	درصد از کل مساحت منطقه مورد مطالعه
۶ (خیلی خوب)	۲۱/۲۴
۵ (خوب)	۳۲/۸
۴ (متوسط)	۲۷/۶۹
۳ (ضعیف)	۱۸/۲۸
مجموع	۱۰۰/۰۰
امتیاز نهایی	۴/۵۶

جدول ۷- درصد مساحت مستعدترین مناطق درجهت اجرای هر سامانه آبیاری برای کل دشت و زیردشت ها

ردیف	نوع آبیاری	درصد مساحت کل دشت	درصد مساحت به تفکیک دشت ها					امتیاز
			دز شرقی	دز غربی	سیلی	لور	دیمچه	
۱	کلاسیک ثابت	۱۵/۰۴	۳۱/۸۴	۰/۵۵	۲/۸۳	۲۷/۴۶	۰/۰	۴/۷۴
۲	آبفشان غلطان	۱۳/۶۶	۲۵/۳۸	۲/۷۷	۱۵/۳۹	۱۹/۰۴	۰/۰	۴/۶۷
۳	ارابه ای	۹/۵۴	۱۳/۰۴	۴/۳۷	۱۸/۸	۱۶/۰۹	۰/۰	۴/۶۵
۴	مکانیزه دوار	۹/۶	۹/۵۶	۱۱/۰۴	۱۶/۸۳	۶/۷۹	۰/۱۱	۴/۶۳
۵	مکانیزه خطی	۱۴/۹	۱۱/۶	۲۳/۵۱	۱۳/۵	۸/۹۵	۲/۳۵	۴/۶۳
۶	موضعی	۱۴/۶	۵/۳۸	۲۹/۳۵	۱۵/۲۸	۵/۸۵	۴/۱۷	۴/۵۶
۷	کم فشار	۱۴/۳	۲/۲۹	۲۰/۴۴	۱۱/۴۳	۳/۴۷	۵۴/۴۴	۴/۴۶
۸	سطحی	۸/۳	۰/۸۷	۷/۹۲	۵/۹۱	۱۲/۳۱	۳۸/۹۱	۴/۴۳



شکل ۶- نقشه خروجی نهایی حاصل از هم پوشانی کلیه سامان‌های آبیاری

های خاک مانند بافت و هدایت الکتریکی در دشت لالی در استان خوزستان مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیده‌اند که سیستم‌های آبیاری بارانی و قطره‌ای نسبت به آبیاری سطحی مؤثرتر می‌باشند. همچنین در تحقیقی که

یکی از پژوهش‌های انجام شده در زمینه اولویت‌بندی سامانه‌های آبیاری در یک منطقه با سیستم تحلیل سلسله‌مراتبی تحقیقی است که ناصری و همکاران (۲۰۰۹) با در نظر گرفتن شیب منطقه و بعضی از ویژگی-

توسط قره‌داغی و همکاران (۱۳۹۲) انجام شده است. هشت نوع سامانه آبیاری برای اراضی پایاب سد باباخان شهرستان بیجار استان کردستان مورد بررسی قرار گرفت، نتایج این تحقیق نشان داد که از مجموع کل اراضی با توجه به معیارهای اقتصادی-اجتماعی و فیزیک منطقه، ۳۷ درصد آن برای آبیاری بارانی مناسب و کلیه اراضی مورد مطالعه برای آبیاری قطره‌ای مناسب می‌باشند. در تحقیق حاضر نیز با توجه به دشتی بودن منطقه و وجود رودخانه‌های بزرگ و شبکه بزرگ آبیاری دز در کنار دیگر عوامل فیزیکی و اقتصادی-اجتماعی دشت، سبب شده است که سیستم‌های آبیاری بارانی در مقایسه با دیگر روش‌های آبیاری از امتیاز بالاتری برخوردار باشد.

نتیجه‌گیری

یکی از راه‌های استفاده بهینه از آب در بخش کشاورزی، پذیرش فناوری نوین سامانه‌های آبیاری تحت فشار است. تحقیق حاضر با هدف بررسی عوامل مؤثر بر مکان‌یابی فناوری‌های نوین آبیاری در دشت دز انجام گرفت. در مجموع بررسی نقشه‌ها و نتایج به دست آمده نشان داد که دشت دز از نظر اجرای سامانه‌های آبیاری تحت فشار با توجه به کیفیت و کمیت پارامترهای فیزیک مزرعه و نیز پارامترهای اقتصادی-اجتماعی منطقه، مناسب‌ترین شرایط را دارا می‌باشند. با بکارگیری روش تحلیل سلسله مراتبی در محیط نرم‌افزار GIS، مکان‌های مناسب برای انواع سامانه‌های آبیاری مورد مطالعه در این تحقیق شناسایی شد و معین گردید که انواع سامانه‌های آبیاری بارانی از امتیاز بالاتری نسبت به دیگر روش‌ها برخوردار هستند، به نحوی که با توجه به نقشه‌های خروجی حاصل از هم‌پوشانی تمام روش‌های آبیاری مورد

مطالعه در دشت دز نتیجه گرفته شد که ۳۱/۸۴ درصد دشت دز شرقی برای آبیاری کلاسیک ثابت، ۲۹/۳۵ درصد دشت دز غربی برای آبیاری موضعی، ۱۸/۸ درصد دشت سیلی برای آبیاری ارابه ای، ۲۷/۴۶ درصد لور برای آبیاری کلاسیک ثابت و ۵۴/۴۴ درصد مساحت دشت دیمچه برای آبیاری کم فشار کاملاً مستعد جهت اجرای آبیاری می‌باشند. از طرفی ۶۲/۷۷ درصد از مساحت کل دشت برای مجموع سامانه‌های آبیاری بارانی، ۱۴/۶ درصد برای آبیاری موضعی، ۱۴/۳ درصد برای آبیاری کم فشار و ۸/۳ درصد برای آبیاری سطحی از امتیاز خیلی مستعد برخوردار می‌باشد. همچنین در بین تمام روش‌های آبیاری، سامانه آبیاری بارانی کلاسیک در تمامی نقاط محدوده مورد مطالعه بالاترین امتیاز را کسب کرده است و در مجموع ۱۵/۰۴ درصد از کل دشت با بیشترین درصد، مستعد برای اجرای آبیاری کلاسیک ثابت می‌باشد. لذا پیشنهاد می‌شود مسائل بهره‌برداری شامل مناسبترین فشار طراحی به لحاظ فنی و اقتصادی، نوع و تعداد آب پاش‌ها برای این منطقه تعیین شود زیرا در صورت طراحی و استفاده مناسب از سامانه‌های آبیاری بارانی با افزایش راندمان، میزان تولید و درآمد بهره‌برداران و همچنین بهره‌وری منابع آب افزایش خواهد یافت و با به-کارگیری این سامانه‌ها، تخصیص بهینه منابع آب بهتر صورت خواهد گرفت. لازم به ذکر است در کنار نتایج حاصل از این پژوهش و انتخاب روش آبیاری کلاسیک ثابت به عنوان بهترین روش آبیاری در دشت دز ضروری است به معایب این روش از جمله هزینه‌های اولیه و سرمایه‌گذاری، نگهداری و تعمیر تجهیزات توجه شود.

فهرست منابع

۱. آزاد طلاطیه، ن.، الف. رضایی آبالو و ج.، بهمنش. ۱۳۹۷. مکان‌یابی مناطق مستعد اجرای سیستم‌های آبیاری سطحی و تحت فشار با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی در دشت میاندوآب. نشریه ی علوم و مهندسی آبیاری. ۴۱(۴): ۱۳۲-۱۱۹.

۲. احمدی، الف.، الف.، هزارجریبی، خ.، قربانی و م.، حسام. ۱۳۹۷. مکان یابی نواحی مستعد اجرای سامانه های نوین آبیاری (موضعی-بارانی-کم فشار) با تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در GIS (مطالعه موردی شهرستان اسفراین- خراسان شمالی). نشریه پژوهش های حفاظت آب و خاک. ۲۵(۵): ۸۷-۶۹.
۳. بینا، م. و م.، زرشناس. ۱۳۸۵. معرفی ضوابط و معیارهای طراحی لوله‌های کم فشار برای طرح شبکه فرعی آبیاری و زهکشی میاناب شوشتر. همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی. ۱۴-۱۲ اردیبهشت. اهواز. صفحات ۱-۱۱.
۴. خواجه پور، م.، م.، خیامی و م.، غیائی ۱۳۹۰. مدیریت بهره برداری بهینه آب در آبیاری اراضی کشاورزی در دوران خشک و تر (مطالعه موردی: اراضی شبکه آبیاری دز) پنجمین کنفرانس سراسری آبخیز داری و مدیریت منابع آب و خاک، انجمن مهندسی آبیاری و آب ایران، کرمان.
۵. رمزی، ر.، ع.، خاشعی سیوکی و ع.، شهیدی. ۱۳۹۳. تعیین مناطق مستعد آبیاری قطره ای با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در استان خراسان جنوبی. نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی). ۱۸(۳): ۲۳۶-۲۲۷.
۶. زبردست، ا. ۱۳۸۰. کاربرد فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای. هنرهای زیبا. (۱۳): ۱۰-۲۱.
۷. قدسی‌پور، ح. ۱۳۹۲. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی AHP، انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر، چاپ یازدهم.
۸. قره داغی، م.، ع.، معروف پور، خ.، بابایی و ف.، منصوری. ۱۳۹۲. پتانسیل‌یابی مناطق مستعد جهت اجرای سیستم‌های آبیاری تحت فشار با استفاده از سامانه Gis (مطالعه موردی: شبکه آبیاری و زهکشی باباخان). نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۷(۶): ۱۱۱۱-۱۱۲۲.
۹. میرزایی تختگاهی، ح.، س.، پرومندنسب، م.، بهزاد و ه.، قمرنیا. ۱۳۸۵. پتانسیل‌یابی سیستم‌های آبیاری تحت-فشار در مناطق مرکزی استان کرمانشاه. همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، ۱۴-۱۲ اردیبهشت. اهواز. صفحات ۱-۱۰.
10. Anane, M., L. Bouziri, A. Limam, and S. Jellali. 2012. Ranking suitable sites for irrigation with reclaimed water in the Nabeul- Hammamet region (Tunisia) using GIS and AHP-multicriteria decision analysis. *Resources. Conservation and Recycling*. 65:36-46.
11. Das, B., and S.C. Pal. 2019. Combination of GIS and fuzzy-AHP for delineating groundwater recharge potential zones in the critical Goghat-II block of west Bengal. *India. HydroResearch*. 2: 21-30.
12. Karakuş, C.B. 2018. Evaluation of groundwater quality in Sivas province (Turkey) using water quality index and GIS-based analytic hierarchy process. *International Journal of Environmental Health Research*. 29(5): 500-519.
13. Mallik, S., and U. Shivam Mishra. 2020. Assessment of spatial variations in groundwater quality of Agartala, Tripura for drinking employing GIS and MCDA techniques. *Applications of Geomatics in Civil Engineering*. 33:273-288.
14. Nair Nithya, C., Y. Srinivas, N.S. Magesh, and S. Kaliraj. 2019. Assessment of groundwater potential zones in Chittar basin, Southern India using GIS based AHP technique. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*. 15:1-8.
15. Naseri, AA. A.R. Rezanian, and M. Albaji. 2009. Investigation of soil quality for different irrigation system in Lali plain. *Journal of Food, Agriculture & Environment*. 7 (3&4): 955.960

16. Neissi , L., M. Albaji , and S.Boroomand Nasab. 2020. Combination of GIS and AHP for site selection of pressurized irrigation systems in the Izeh plain, Iran. *Agricultural Water Management*. 231:1-8.
17. Saaty, T.L. 1977. A scaling method for priorities in hierarchical structure. *J. Math.Psychol.* 15: 228–234.
18. Saaty T. L. 1980. *The analytical Hierarchy process*. McGroww-Hill. Inc, pp. 270.

بررسی اثر کم آبیاری و دو شیوه آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد دو رقم بادام زمینی

علی عبدزادگوهری^۱

باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد اسلامشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اسلامشهر، ایران.

abdzadgohari_a@yahoo.com

دریافت: شهریور ۱۳۹۹ و پذیرش: اسفند ۱۳۹۹

چکیده

شناخت ارقام مناسب و مدیریت صحیح آبیاری از عواملی است که در رشد و عملکرد گیاه بادام زمینی از اهمیت ویژه برخوردار می باشد. پژوهش حاضر به صورت کرت های دوبار خرد شده در قالب طرح پایه بلوک های کامل تصادفی در سه تکرار، در سال های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ در استان گیلان اجرا شد. تیمار اصلی شامل دو روش آبیاری قطره ای و جویچه ای، و تیمار فرعی شامل تأمین ۱۲۵٪، ۱۰۰٪، ۷۵٪، ۵۰٪ و ۲۵٪ نیاز آبی، و تیمار فرعی فرعی، دو رقم بادام زمینی گیل و جنوبی بود. نتایج پژوهش در طی سال های مورد مطالعه نشان داد که اثر روش آبیاری بر عملکرد دانه در سطح ۵ درصد و اثر تأمین نیاز آبی گیاه بر تمام صفات های اندازه گیری شده، در سطح یک درصد معنی دار بود. بیشترین میزان عملکرد دانه در سال ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ در رقم گیل با تأمین ۱۰۰٪ نیاز آبی گیاه به ترتیب با میانگین ۳۲۲۱ و ۳۱۶۱ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد. میزان عملکرد دانه در طی دو سال، در روش آبیاری قطره ای (با میانگین ۱۸۰۸ و ۱۸۰۳ کیلوگرم در هکتار) نسبت به روش جویچه ای (با میانگین ۱۷۵۳ و ۱۷۵۴ کیلوگرم در هکتار) به ترتیب با افزایش ۳/۱٪ و ۲/۸٪ همراه بود. همبستگی بین صفات، اثر مثبت و معنی داری را بین عملکرد دانه با صفات تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته و وزن صدانه نشان داد. بر اساس نتایج به دست آمده، برای کشت بادام زمینی در منطقه مورد مطالعه، رقم گیل با آبیاری قطره ای و تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی (۵۴۸۱ مترمکعب در هکتار در این پژوهش)، پیشنهاد می شود.

واژه های کلیدی: آبیاری قطره ای، تنش آبی، روش جویچه ای، بادام زمینی رقم گیل

^۱ - آدرس نویسنده مسئول: باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد اسلامشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اسلامشهر، ایران.

مقدمه

بادام زمینی (*Arachis hypogaea* L)، گیاهی بوته‌ای، یکساله و روغنی است که دارای ۴۰ کروموزوم ($2n=40$) و یک ریشه اصلی و مستقیم می‌باشد که از تعداد زیادی گره که محل تجمع باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن هوا می‌باشد، تشکیل شده است (فریگمن، ۲۰۰۴). بادام زمینی به شرایط سرمایی حساس بوده و در طول دوره رشد و نمو، به نور فراوان و بارندگی متوسط احتیاج دارد. در ایران دانه‌های بادام زمینی را به صورت آجیل مصرف می‌کنند و برگ‌های آن را نیز به صورت علوفه به مصرف دام می‌رسانند. دانه بادام زمینی منبع فراوان انرژی، ۵۰ درصد روغن، ۲۵ تا ۳۰ درصد پروتئین، ۲۰ درصد کربوهیدرات و پنج درصد فیبر می‌باشد (ال حاباشا و همکاران، ۲۰۱۴). بادام زمینی در کشور به صورت عمده در استان‌های گیلان، گلستان، اردبیل، کرمان و شمال خوزستان کشت می‌شود. در استان گیلان، بیشترین کشت بادام زمینی در شهرستان آستانه اشرفیه و در حاشیه رودخانه سپیدرود می‌باشد (امیری و همکاران، ۲۰۱۵). یکی از محدودیت‌های مهم در تولید بادام زمینی به ویژه در اواسط فصل رشد، تنش آبی است که در گلدهی و تشکیل غلاف بسیار اثرگذار است. تنش آبی موجب ریزش قابل ملاحظه گل‌ها می‌شود و در مرحله پر شدن غلاف، عملکرد دانه در بادام زمینی را به میزان قابل توجهی کاهش می‌دهد.

تنش آبی اگر در زمان پایانی فصل رویش واقع شود، نه تنها باعث کاهش عملکرد شده، بلکه میزان آلودگی به بیماری‌ها را نیز افزایش می‌دهد. به طور کلی تنش آبی در بادام زمینی باعث بسته شدن روزنه‌ها و کاهش میزان جذب و تثبیت دی‌اکسیدکربن و همچنین باعث کاهش میزان کلروفیل و میزان غذاسازی می‌شود (آرون-یانارک و همکاران، ۲۰۰۹). برخی از ارقام بادام زمینی به شرایط آب، خاک و کیفیت آن‌ها نیز حساس بوده و عملکرد دانه در زمان کمبود آب، به شدت کاهش یافته و خسارت حاصل از تنش کم‌آبی با افزایش قارچ در گیاه نمایان می‌شود (گریدت‌هایی و همکاران، ۲۰۱۰).

عبدزادگوهری و همکاران (۱۳۹۶) در پژوهشی نشان دادند که تنش آبی در طول دوره رشد بادام زمینی، سبب کاهش ۳۳ تا ۶۰ درصدی عملکرد می‌شود. متداول‌ترین روش آبیاری در مزارع بادام زمینی، آبیاری جویچه‌ای است که در ایران نیز مرسوم می‌باشد. روش جویچه‌ای به دلیل هزینه اولیه کم و نیاز به انرژی اندک و همچنین بهبود تهویه ناحیه ریشه، یکی از رایج‌ترین روش‌های آبیاری محصولات در جهان است (سریرانجیتها و همکاران، ۲۰۱۸). در این روش آب از درون جوی به داخل جویچه‌ها جاری شده و تا رسیدن آب به انتهای جویچه ادامه می‌یابد و برای آن‌که بادام زمینی به اندازه کافی آب دریافت نماید، جریان آب به داخل جویچه تا ناحیه اطراف ریشه گیاه ادامه خواهد یافت (عبدزادگوهری، ۱۳۸۸). یکی دیگر از روش‌های مؤثر تأمین آب برای گیاه بادام زمینی، استفاده از آبیاری قطره‌ای می‌باشد که علاوه بر کاهش آب مصرفی به دلیل افزایش بازده آبیاری، موجب یکنواختی آب در سطح مزرعه می‌شود (سریرانجیتها و همکاران، ۲۰۱۸). روش قطره‌ای برای گیاهانی مانند بادام-زمینی که نسبت به سایر سیستم‌های آبیاری، به شدت جریان کم آب نیاز دارند، مناسب خواهد بود (سریرانجیتها و همکاران، ۲۰۱۸). روش آبیاری قطره‌ای می‌تواند باعث کاهش تلفات مواد غذایی خاک در اثر تلفات نفوذ عمقی، کاهش تنش آبی وارده به گیاه در اثر کوتاه شدن زمان آبیاری و کاهش عوامل بیماری‌زا شود، زیرا فراهم بودن مستمر آب و مواد غذایی و دور بودن از تنش‌های آبی نیز، به رشد بهتر، تولید محصول بیشتر و افزایش عملکرد کمی و کیفی محصول منتهی می‌شود (حقیقتی و همکاران، ۱۳۹۴؛ واسم و همکاران، ۲۰۱۸) و رطوبت خاک در منطقه توسعه ریشه ثابت باقی می‌ماند و گیاه از نوسانات تنش آبی صدمه نمی‌بیند (رضایی‌استخرویه و همکاران، ۱۳۹۵). سورنسن و بوتس (۲۰۱۴) در تحقیقی اثر تنش آبی و روش آبیاری قطره‌ای را بر عملکرد بادام زمینی در جنوب شرقی ایالات متحده بررسی کردند و نشان دادند که با تأمین ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی، مقادیر عملکرد دانه

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر کم آبیاری و شیوه‌های مختلف آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد دو رقم بادام-زمینی، آزمایشی به صورت کرت‌های دوبار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در استان گیلان و در شهرستان آستانه‌اشرفیه (روستای چورکوچان) با عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۲۶ دقیقه و طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۹۶ دقیقه و با ارتفاع متوسط ۵- متر از سطح دریا در سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ در سه تکرار اجرا شد. تیمار اصلی شامل دو روش آبیاری قطره‌ای و جویچه‌ای و تیمار فرعی، تأمین ۱۲۵، ۱۰۰، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد نیاز آبی و تیمار فرعی‌فرعی، دو رقم بادام‌زمینی گیل و جنوبی بود. منطقه از لحاظ آب و هوایی جزء مناطق معتدل و مرطوب بود و میزان بارندگی در طول فصل رشد در سال ۹۷ و ۹۸ به ترتیب ۷۷/۴ و ۷۶ میلی‌متر گزارش شد. داده‌های هواشناسی منطقه مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شد.

مشابه بود و نسبت به تیمار تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی، افزایش ۷/۲ درصدی داشت. در تحقیقی لامب و همکاران (۲۰۱۰)، شرایط تأمین ۳۳، ۶۶ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی را بر عملکرد بادام‌زمینی در ایالات جورجیا بررسی کردند و بیان نمودند که شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی نسبت به تیمار ۳۳ و ۶۶ درصد تأمین نیاز آبی، افزایش ۹/۱ و ۴/۸ درصدی داشت. در پژوهشی بابازاده و همکاران (۱۳۹۶) اثر روش آبیاری قطره‌ای و تنش آبیاری را بر عملکرد بادام‌زمینی در استان گیلان بررسی نمودند و گزارش کردند که در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی، عملکرد دانه با افزایش ۴۳ درصدی نسبت به شرایط دیم (بدون آبیاری) همراه بود. با توجه به اهمیت بادام‌زمینی در مزارع استان گیلان و منابع آبی محدود در زمان رشد، با تعیین روش مناسب آبیاری، ضمن صرفه‌جویی در مصرف آب، می‌توان از کاهش محصول جلوگیری نمود. بنابراین، هدف از این پژوهش، بررسی تأمین نیاز آبی در روش‌های آبیاری جویچه‌ای و قطره‌ای بر عملکرد و اجزای عملکرد دو رقم بادام‌زمینی در منطقه مورد مطالعه بود.

جدول ۱- پارامترهای هواشناسی در منطقه مورد مطالعه

ماه	حداقل رطوبت (درصد)	حداکثر رطوبت (درصد)	سرعت باد در ارتفاع دو متری (متر بر ثانیه)	ساعت آفتابی (ساعت)	حداقل دما (سانتی‌گراد)	حداکثر دما (سانتی‌گراد)
	سال ۹۷	سال ۹۸	سال ۹۷	سال ۹۸	سال ۹۷	سال ۹۸
اردیبهشت	۶۳/۸	۶۳/۲	۹۴	۹۱	۶/۵	۶/۹
خرداد	۵۷/۵	۵۶/۶	۹۱/۶	۹۰/۵	۶/۵	۶/۳
تیر	۵۵/۶	۵۶/۸	۸۶/۵	۸۸/۶	۵/۲	۵/۶
مرداد	۴۶/۵	۴۹/۷	۸۹/۷	۸۸/۸	۶/۸	۶/۳
شهریور	۵۴/۳	۵۵/۸	۹۴	۹۱/۳	۶	۵/۹

آب به لوله نیمه اصلی استفاده شد. در روش جویچه‌ای، برای اندازه‌گیری آب ورودی و خروجی از فلوم WSC و برای آبیاری جویچه‌ها، از لوله‌های دریچه‌دار استفاده گردید. برای تعیین تیمارهای آبیاری از تخلیه رطوبتی خاک به روش وزنی استفاده گردید و مدیریت آبیاری با تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی در نظر گرفته شد و سایر تیمارهای آبیاری به عنوان درصدی از این مقدار منظور گردید. برای دستیابی به تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی، مقدار آب آبیاری و رطوبت خاک در عمق ریشه گیاه با استفاده

در طی دو سال پژوهش، زمین‌زراعی در اردیبهشت‌ماه شخم زده شد و در ۱۵ اردیبهشت‌ماه، کاشت بادام‌زمینی به صورت خطی انجام گرفت. ابعاد هر یک از کرت‌ها ۲/۵×۴ متر بود. در روش آبیاری قطره‌ای، نوارهای آبیاری در بین دو ردیف کشت، از یکدیگر ۵۰ سانتی‌متر فاصله داشتند و لوله‌های تیپ دارای قطر ۱۶ میلی‌متر، با فاصله سوراخ‌های ۱۰ سانتی‌متر و دبی ۱/۲ لیتر در ساعت به ازای هر سوراخ بود. برای کنترل شدت جریان آب در سیستم، از یک شیر فلکه و یک لوله فرعی قبل از ورود

از معادله (۱) با احتساب راندمان ۹۰ درصد به نحوی محاسبه گردید که رطوبت خاک تا عمق ریشه به حد ظرفیت مزرعه برسد (اکبری نودهی، ۱۳۹۶).

$$d_n = (\theta_{Fc} - \theta_i) \cdot \rho_b \cdot D_r \quad (1)$$

که در آن:

θ_{Fc} : درصد وزنی رطوبت در ظرفیت زراعی، θ_i : درصد وزنی رطوبت موجود در خاک، ρ_b : جرم مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی متر مکعب)، D_r : عمق مؤثر ریشه (سانتی متر) می باشد. مدت زمان آبیاری بستگی به این دارد که چه زمانی پس از شروع آبیاری جبهه رطوبتی به عمق ریشه گیاه برسد. برای یافتن مدت زمان و میزان عمق آبیاری، در هر مرحله با تعیین عمق ریشه در گیاه و حفر نیمرخ ریشه یکی از بوته های حاشیه کرت و اندازه گیری توسط خط کش، رطوبت خاک لایه مربوطه به روش وزنی در هر مرحله آبیاری مشخص شد. میزان آب مصرفی در طول دوره رشد گیاه از مجموع آب آبیاری و مقدار بارندگی تأمین شد. اندازه گیری مقدار آب تحویلی به هر واحد آزمایشی توسط کنتور انجام شد. اندازه گیری تبخیر و تعرق واقعی گیاه بادام زمینی از طریق اندازه گیری اجزای بیلان آب بر اساس معادله (۲) انجام شد.

$$I + P - ET_c - R - D = \Delta S \quad (2)$$

که در آن:

I: مقدار آب آبیاری (میلی متر)، P: بارندگی موثر (میلی متر) و ET_c : مقدار تبخیر و تعرق (میلی متر). پارامترهای R و D به ترتیب مقدار رواناب و عمق آب زهکشی شده

هستند که این مقادیر صفر در نظر گرفته شدند. ΔS : نشان دهنده تغییرات ذخیره رطوبت خاک بر حسب میلی متر می باشد که جهت تعیین آن، پس از هر نوبت آبیاری، از کرت های آزمایشی نمونه گیری رطوبتی (روش وزنی) انجام پذیرفت. تبخیر و تعرق گیاه مرجع یا پتانسیل (ET_0) از روش پنمن مانتیث و با کمک برنامه Cropwat محاسبه گردید. برای تعیین جرم مخصوص ظاهری هر لایه خاک، نمونه های دست نخورده توسط استوانه های نمونه برداری تهیه شد. نمونه ها به آزمایشگاه منتقل و بعد از خشک کردن، کوبیدن و عبور از الک دو میلی متری، توزیع اندازه ذرات با استفاده از روش هیدرومتری انجام شد. مقدار رطوبت خاک حد ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم به ترتیب در مکش های ۰/۳ و ۱۵ اتمسفر با دستگاه صفحه فشاری اندازه گیری شد (جدول ۲). برآورد عملکرد و اجزای عملکرد، در انتهای دوره رشد و رسیدگی نهایی انجام شد. برای اندازه گیری عملکرد دانه از سه خط وسط کرت با رعایت اصول نمونه برداری، بوته های موجود در مساحت دو مترمربعی (به صورت کفبر) برداشت و به آزمایشگاه منتقل شد. سپس تا رسیدن به وزن خشک ثابت به مدت ۴۸ ساعت داخل آون در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد نگهداری شدند. غلاف ها با ترازوی دیجیتالی با دقت یک هزارم توزین و عملکرد دانه اندازه گیری شد و برای انجام محاسبات آماری به کیلوگرم در هکتار تبدیل شدند.

جدول ۲- خصوصیات خاک و وزن مخصوص ظاهری، رطوبت در ظرفیت زراعی و در نقطه پژمردگی در لایه های مختلف خاک منطقه در سال های مطالعه

سال	عمق ریشه (cm)	بافت خاک	هدایت الکتریکی (ds/m)	کربن آلی (%)	نیتروژن کل (%)	فسفر قابل جذب (ppm)	پتاسیم قابل جذب (ppm)	رس (%)	سیلت (%)	شن (%)	رطوبت در ظرفیت زراعی (%)	رطوبت در نقطه پژمردگی (%)	وزن مخصوص ظاهری (g/cm ³)
۱۳۹۷	۲۰-۴۰	لوم	۰/۶۳۱	۰/۶۸	۰/۰۸۴	۶/۲۷	۲۳۹	۱۵	۳۴	۵۱	۲۳/۴	۱۰/۹	۱/۴۵
۱۳۹۷	۲۰-۴۰	لوم	۰/۶۳۶	۰/۶۷	۰/۰۹۱	۶/۰۹	۲۲۸	۱۸	۳۳	۴۹	۲۵/۲	۱۲/۶	۱/۴۵
۱۳۹۸	۲۰-۴۰	لوم	۰/۶۵۶	۰/۶۶	۰/۰۸۵	۶/۱۷	۲۳۰	۱۷	۳۳	۵۰	۲۵	۱۲/۶	۱/۴۶
۱۳۹۸	۲۰-۴۰	لوم	۰/۶۴۸	۰/۶۹	۰/۰۹۹	۶/۰۱	۲۰۱	۱۹	۳۲	۴۹	۲۵/۵	۱۳/۲	۱/۴۶

برای اندازه‌گیری تعداد دانه در غلاف، ۱۰ بوته از هر کرت انتخاب و تعداد دانه در غلاف مورد شمارش قرار گرفت. برای اندازه‌گیری تعداد غلاف در بوته، ۱۰ بوته از هر کرت انتخاب و میانگین تعداد غلاف‌ها محاسبه گردید. وزن صددانه نیز با استفاده از سه نمونه دانه ۱۰۰ تایی از بذره‌های حاصل از عملکرد محاسبه گردید. بدین صورت که بذور با ترازوی دقیق (با دقت ۰/۰۱ گرم) توزین و میانگین آن برای تجزیه آماری مورد استفاده قرار گرفت. تعیین درصد مغزدهی (از نمونه‌ای که برای تعیین وزن صد دانه استفاده گردید) نیز، از تقسیم وزن دانه‌ها بر وزن غلاف‌ها ضربدر ۱۰۰ محاسبه شد (عبدالغوه‌ری و امیری، ۱۳۹۷). تجزیه واریانس و مقایسه میانگین داده‌ها (آزمون LSD در سطح پنج درصد) با نرم‌افزار MSTATC، رسم نمودارها با نرم‌افزار EXCEL و رگرسیون گام به گام و همبستگی داده‌ها با نرم‌افزار SPSS17 انجام گرفت.

تعداد غلاف در بوته

اثر سطوح مختلف تأمین نیاز آبی و اثر رقم بر تعداد غلاف در بوته در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). بدین‌صورت که در طی دو سال، کمترین تعداد غلاف در بوته در تأمین ۲۵ درصد نیاز آبی گیاه و بیشترین آن در تأمین ۱۰۰ نیاز آبی گیاه به دست آمد (جدول ۴). صفت تعداد غلاف در بوته، یکی از مهمترین صفات جهت افزایش عملکرد دانه در بادام‌زمینی است و علت روند کاهشی تعداد غلاف در شرایط تنش آب را می‌توان به تشکیل تعداد گل و غلاف کمتر و کاهش دوره گرده‌افشانی و افزایش میزان ریزش گل و غلاف در شرایط کم‌آبی نسبت داد (عبدالغوه‌ری و همکاران، ۱۳۹۷؛ پرابهو و همکاران، ۲۰۱۷). تنش آبی، تعداد غلاف‌ها در ارقام بادام‌زمینی را کاهش می‌دهد که نهایتاً باعث کاهش تعداد غلاف در بوته می‌شود (کاروالهو و همکاران، ۲۰۱۷). کاهش رطوبت و تنش آبی طی مراحل رشد، تولید گل در بوته بادام‌زمینی را تحت‌تأثیر قرار داده و ریزش گل‌ها باعث کاهش تولید غلاف می‌شود. اعمال تنش آبی

نتایج و بحث عملکرد دانه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که عملکرد دانه تحت‌تأثیر روش آبیاری در سطح پنج درصد و تأمین نیاز آبی در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). عملکرد دانه در روش آبیاری قطره‌ای، نسبت به روش جویچه‌ای در طی دو سال، به ترتیب با افزایش ۳/۱ و ۲/۸ درصدی همراه بود (شکل ۱). نتایج نشان داد که با تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه، بیشترین مقدار عملکرد در سال‌های ۹۷ و ۹۸، به ترتیب به میزان ۳۰۶۰ و ۳۰۲۶ کیلوگرم در هکتار حاصل شد (جدول ۴). اثر ارقام بر عملکرد دانه در سطح یک درصد معنی‌دار بود. عملکرد دانه در رقم جنوبی نسبت به رقم گیل در طی دو سال، به ترتیب با افزایش ۱۱/۱ و ۱۰/۳ درصدی همراه بود (شکل ۲). اثر متقابل تأمین نیاز آبی و ارقام بر عملکرد دانه در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). با تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی، عملکرد دانه در رقم گیل در سال‌های ۹۷ و ۹۸ به

در زمان پر شدن غلاف به دلیل کاهش آشکار در غذاسازی، موجب کوتاه شدن دوره پر شدن غلاف و در نهایت تعداد غلاف در بوته می شود (پرابهو و همکاران، ۲۰۱۷). در مقایسه بین ارقام، تعداد غلاف در بوته در هر دو سال، در رقم جنوبی نسبت به رقم گیل با افزایش

۱۴/۹ و ۱۲/۵ درصدی همراه بود (شکل ۴). تنش آبی بدون در نظر گرفتن ارقام در بادام زمینی، باعث کاهش تعداد غلاف در بوته شده که به مقدار تنش آبی، نوع رقم و مرحله رشد بستگی دارد (پرابهو و همکاران، ۲۰۱۵).

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات اندازه گیری شده در شرایط تأمین نیاز آبی و روش های مختلف آبیاری در بادام زمینی

منبع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد دانه				تعداد غلاف در بوته	
		سال ۹۷	سال ۹۸	سال ۹۷	سال ۹۸	سال ۹۷	سال ۹۸
تکرار	۲	۹۴۵۸۷/۶۱۷*	۱۱۲۶۱۱/۱۷*	۱۰۶/۶۱۷ ^{NS}	۱۳۲/۰۵ ^{NS}		
روش آبیاری	۱	۴۶۲۰۳/۷۵۰*	۳۵۴۲۹/۴۰۰*	۶۲/۰۱۸ ^{NS}	۶۲/۰۱۷ ^{NS}		
خطا	۲	۱۹/۵۰	۵۵۳۳/۶۵۰	۹/۶۱۷	۸/۳۱۷		
تأمین نیاز آبی گیاه	۴	۱۰۴۳۳۸۶/۲۲۵**	۱۰۱۵۱۵۵۸/۵۴۲**	۸۷۹۵/۹۷۵**	۸۷۶۴/۳۹۲**		
روش آبیاری × تأمین نیاز آبی گیاه	۴	۶۲۹۱/۴۳ ^{NS}	۵۴۳۰/۱۹۳ ^{NS}	۱۵/۸۹۳ ^{NS}	۱۷/۱۴۳ ^{NS}		
خطا	۱۶	۲۵۹۷/۸۹۶	۷۰۶۷/۲	۲۱/۴۷۱	۲۵/۷۰۴		
رقم	۱	۵۲۷۳۴۳/۷۵۰**	۴۵۹۰۲۵/۶۷**	۵۸۲/۸۱۷**	۶۳۳/۷۵۰**		
روش آبیاری × رقم	۱	۱۲۶/۱۵۰ ^{NS}	۹۱/۲۶۷ ^{NS}	۰/۱۷ ^{NS}	۰/۱۵۰ ^{NS}		
تأمین نیاز آبی گیاه × رقم	۴	۲۸۸۳۷/۷۹۳**	۲۰۷۲۹/۶۹۳**	۶۰/۱۰۸ ^{NS}	۴۷/۱۲۵ ^{NS}		
روش آبیاری × تأمین نیاز آبی گیاه × رقم	۴	۱۷/۹۴۳ ^{NS}	۲۰۹۰/۱۴۲ ^{NS}	۸/۵۵۸ ^{NS}	۷/۴۴۲ ^{NS}		
خطا	۲۰	۳۲/۹۸۳	۱۸۷۲/۳۶۷	۳۳/۵۰۰	۲۹/۷۶۷		
ضریب تغییرات (درصد)		۰/۳۲	۲/۴۳	۱۱/۴۷	۱۰/۷۳		

NS, **, * به ترتیب فاقد تفاوت معنی دار، معنی دار در سطح یک و پنج درصد

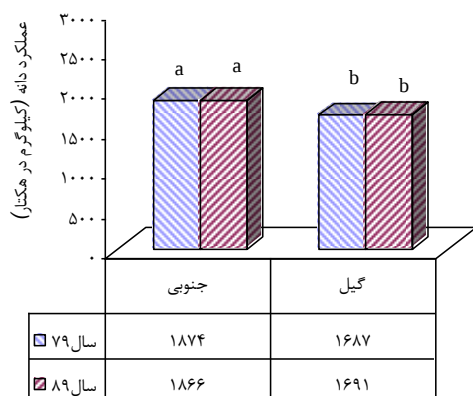
ادامه جدول ۳- تجزیه واریانس صفات اندازه گیری شده در شرایط نیاز آبی و روش های مختلف آبیاری در بادام زمینی

منبع تغییرات	درجه آزادی	تعداد دانه در بوته				وزن صدانه		درصد مغزدهی	
		سال ۹۷	سال ۹۸	سال ۹۷	سال ۹۸	سال ۹۷	سال ۹۸	سال ۹۷	سال ۹۸
تکرار	۲	۵۰۰/۴۱۷ ^{NS}	۴۸۵/۱۱۷ ^{NS}	۳۵۲/۸۹ ^{NS}	۳۵۰/۱۱۷ ^{NS}	۰/۰۰۱ ^{NS}	۰/۰۰۳ ^{NS}		
روش آبیاری	۱	۲۵۲/۱۵۰ ^{NS}	۲۷۳/۰۶۷ ^{NS}	۲/۷۳۱ ^{NS}	۲/۰۱۷ ^{NS}	۰/۰۰۱ ^{NS}	۰/۰۰۱ ^{NS}		
خطا	۲	۱۸/۵۰	۲۸/۸۱۷	۴۵۱/۵۲۹	۴۴۳/۸۱۷	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱		
تأمین نیاز آبی گیاه	۴	۳۶۷۹۴/۲۰۸**	۳۵۳۲۱/۳۵۸**	۸۶۵۷/۶۸**	۸۳۷۲/۰۱۷**	۰/۰۰۱**	۰/۰۰۴**		
روش آبیاری × تأمین نیاز آبی گیاه	۴	۶۷/۴۴۲**	۶۵/۵۲۵**	۶۲/۸۴۴ ^{NS}	۵۹/۷۶۷ ^{NS}	۰/۰۰۳ ^{NS}	۰/۰۰۹ ^{NS}		
خطا	۱۶	۸۱/۹۶۳	۸۲/۵۲۹	۲۰۸/۶۵۹	۲۰۲/۷۱۷	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱		
رقم	۱	۲۵۴۸/۱۷ ^{NS}	۲۶۶۶/۶۶۷ ^{NS}	۳/۸۳ ^{NS}	۱/۳۵۰ ^{NS}	۰/۰۰۱ ^{NS}	۰/۰۰۱ ^{NS}		
روش آبیاری × رقم	۱	۰/۸۱۷ ^{NS}	۰/۰۰۰۱ ^{NS}	۷۰/۴۱۷ ^{NS}	۷۳/۸۱۷ ^{NS}	۰/۰۰۱ ^{NS}	۰/۰۰۱ ^{NS}		
تأمین نیاز آبی گیاه × رقم	۴	۲۶۸/۸۰۸ ^{NS}	۲۷۷/۷۰۸ ^{NS}	۱۶۶/۹۳۶ ^{NS}	۱۵۸/۲۶۷ ^{NS}	۰/۰۰۱ ^{NS}	۰/۰۰۱ ^{NS}		
روش آبیاری × تأمین نیاز آبی گیاه × رقم	۴	۴۹/۲۷۵ ^{NS}	۵۰/۷۰۸ ^{NS}	۳۳/۷۳۷ ^{NS}	۳۷/۱۵۰ ^{NS}	۰/۰۰۱ ^{NS}	۰/۰۰۳ ^{NS}		
خطا	۲۰	۱۴۵/۷۱۷	۱۴۵/۷۸۳	۹۹/۸۴۵	۹۵/۶۳۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲		
ضریب تغییرات (درصد)		۱۱/۸۸	۱۲/۰۹	۲۱/۹۱	۲۰/۸۱	۰/۰۰۱	۷/۳۳		

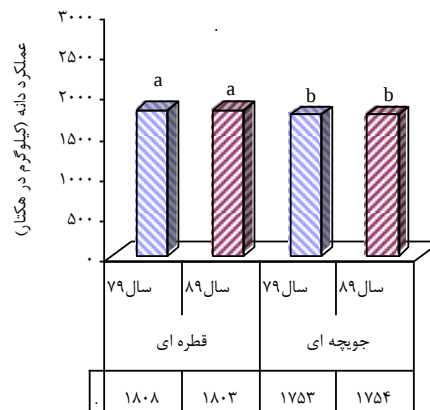
NS, **, * به ترتیب فاقد تفاوت معنی دار، معنی دار در سطح یک و پنج درصد

جدول ۴- اثر نیاز آبی بر صفات اندازه گیری شده در سال های مورد مطالعه

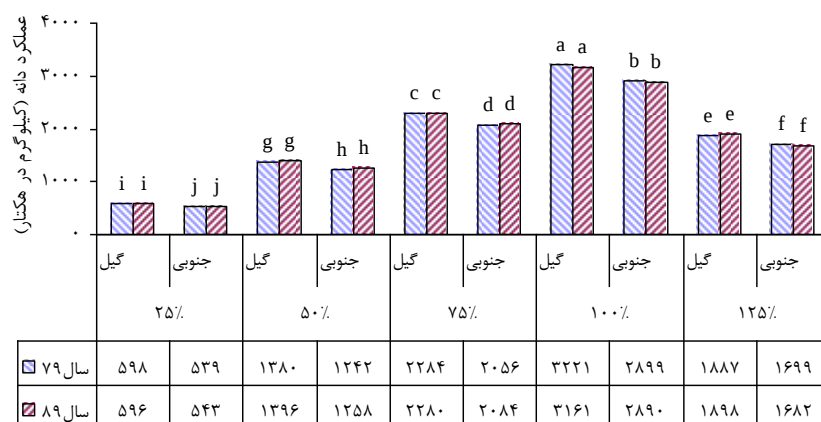
تأمین نیاز آبی - گیاه	عملکرد دانه		تعداد غلاف در بوته		تعداد دانه در بوته		وزن صدانه		درصد مغزدهی	
	سال ۹۷	سال ۹۸	سال ۹۷	سال ۹۸	سال ۹۷	سال ۹۸	سال ۹۷	سال ۹۸	سال ۹۷	سال ۹۸
٪۲۵	۵۶۹e	۵۷۰e	۱۶e	۱۷e	۳۲e	۳۲e	۱۴/۵d	۱۴/۲d	۶۳/۴b	۶۳/۰b
٪۵۰	۱۳۱۱d	۱۳۲۷d	۳۷d	۳۷d	۷۳d	۷۲d	۳۳/۳c	۳۲/۹c	۶۳/۲b	۶۳/۳b
٪۷۵	۲۱۷۰b	۲۱۸۲b	۵۸b	۵۹b	۱۱۸b	۱۱۵b	۵۵/۶b	۵۴/۵b	۶۴/۷a	۶۴/۲a
٪۱۰۰	۳۰۶۰a	۳۰۲۶a	۸۹a	۹۰a	۱۸۱a	۱۷۸a	۸۶/۶a	۸۵/۲a	۶۴/۲a	۶۴/۶ba
٪۱۲۵	۱۷۹۳c	۱۷۹۰c	۵۲c	۵۳c	۱۰۴c	۱۰۳c	۴۸/۹b	۴۸/۲b	۶۴/۷a	۶۴/۴a



شکل ۲- عملکرد دانه بادام زمینی در ارقام گیل و جنوبی



شکل ۱- تأثیر روش آبیاری بر عملکرد دانه در بادام زمینی

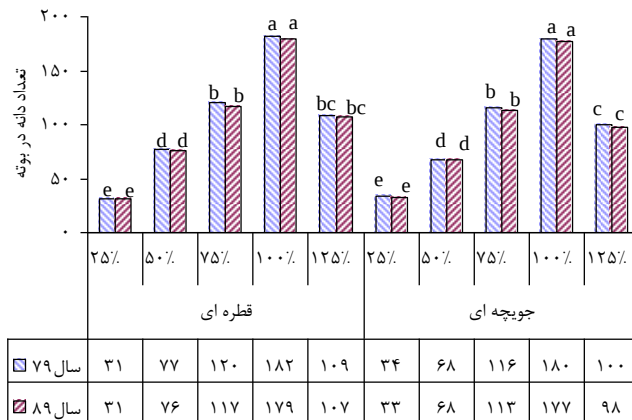


شکل ۳- اثر متقابل تأمین نیاز آبی گیاه و ارقام بادام زمینی بر عملکرد دانه

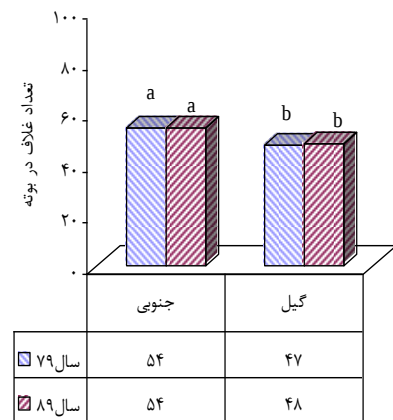
نیاز آبی بر تعداد دانه در بوته در سطح یک درصد معنی دار شد (جدول ۳). بدین صورت که بیشترین تعداد دانه در بوته در هر دو سال، در تیمار ۱۰۰ درصد تأمین نیاز آبی گیاه و در روش قطره‌ای به ترتیب با میانگین ۱۸۲ و ۱۷۹ عدد و در روش جویچه‌ای با میانگین ۱۸۰ و ۱۷۷ عدد به دست آمد (شکل ۵). تنش آبی در مرحله تشکیل دانه، سبب پوک شدن غلاف در بعضی از بوته‌ها شده که نتیجه آن کاهش تعداد دانه در بوته است (پرابهو و همکاران، ۲۰۱۷).

تعداد دانه در بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأمین نیاز آبی در سطح یک درصد بر تعداد دانه در بوته معنی دار بود (جدول ۳) و بیشترین تعداد دانه در بوته در سال‌های ۹۷ و ۹۸ به ترتیب با میانگین ۱۸۱ و ۱۷۸ عدد در تیمار تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه به دست آمد (جدول ۴). با تأمین نیاز آبی، رشد غلاف‌ها سریع‌تر و برگ‌ها با سرعتی کمتری از بین می‌روند، در نتیجه تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف افزایش می‌یابد (عبدالزادگوهری و همکاران، ۱۳۹۷). اثر متقابل روش آبیاری و تأمین



شکل ۵- اثر متقابل روش آبیاری و تأمین نیازآبی گیاه بر تعداد دانه در بوته



شکل ۴- تعداد غلاف در بوته در ارقام بادام‌زمینی

تأمین ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ درصد نیاز آبی، نسبت به شرایط ۲۵ و ۵۰ درصد دارای بیشترین مقدار بودند (جدول ۴) از این رو می‌توان این‌گونه بیان کرد که کاهش آب مورد نیاز در هنگام رشد، باعث کاهش تعداد غلاف در طول دوره رشد شده و این مقدار کاهش در میزان درصد مغزدهی در تنش ۲۵ درصد و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه، کاملاً مشهود بوده و باعث تشکیل تعداد کمتر دانه در غلاف شد؛ اما به تدریج با تأمین آب کافی و تغییر شرایط از تأمین ۷۵ درصد تا ۱۲۵ درصد نیاز آبی، کمبود مواد قابل انتقال در تیمار تنش آبی، جبران و موجب افزایش دانه در غلاف شد که نتیجه آن افزایش درصد مغزدهی بود. از طرفی، افزایش تعداد دانه در غلاف، میزان عملکرد را افزایش داد، اما گاهی در داخل غلاف‌ها تعداد دو تا چهار دانه وجود دارد که ممکن است موجب افزایش درصد مغزدهی نشود (ملکی و همکاران، ۱۳۹۵).

ارتباط آب مصرفی و عملکرد دانه

پتانسیل بادام‌زمینی در تشکیل گل و غلاف بسیار بالا است و دستیابی به این پتانسیل به تأمین نیاز آبی گیاه بستگی دارد. با افزایش آب مصرفی، میزان سایه-اندازی (کانوپی) گیاه بیشتر شده و بادام‌زمینی قادر خواهد بود که مخزن زایشی بزرگتری را تغذیه نماید. کاهش عملکرد در رقم جنوبی نسبت به گیل نشان داد که این رقم به تنش رطوبتی حساس بود و حداکثر عملکرد زمانی

وزن صد دانه

اثر سطوح مختلف تأمین نیازآبی در سطح یک درصد بر وزن صد دانه معنی‌دار بود (جدول ۳) و بیشترین وزن صد دانه در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی در سال ۹۷ با میانگین ۸۶/۶ گرم و در سال ۹۸ با میانگین ۸۵/۲ گرم به دست آمد (جدول ۴). در شرایط تأمین کامل نیاز آبی، رشد رویشی مناسب بوده و بادام‌زمینی به طور کامل وارد مرحله زایشی می‌شود که این امر موجب مساعد شدن شرایط برای غلاف‌های در حال پر شدن شده و به دنبال آن افزایش وزن دانه خواهد شد. مطالعات نشان داد که غلاف‌های در حال پر شدن نسبت به غلاف‌های تازه از نظر دریافت مواد غذایی در اولویت هستند و مواد غذایی بیشتری به آن‌ها اختصاص می‌یابد که نتیجه آن افزایش وزن دانه است (پرابهو و همکاران، ۲۰۱۷؛ عبدزادگوهری و همکاران، ۲۰۱۷). به طور کلی می‌توان اظهار داشت که بادام‌زمینی در زمان گلدهی و اوایل تشکیل غلاف نسبت به تنش رطوبت حساس است و هرگونه تنش آبی سبب عدم تکامل غلاف و دانه شده و نهایتاً وزن صد دانه کاهش می‌یابد.

درصد مغزدهی

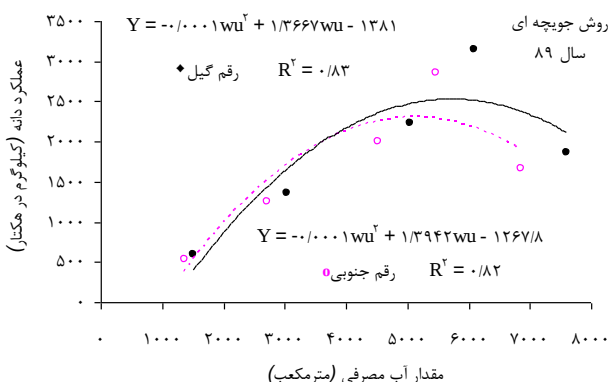
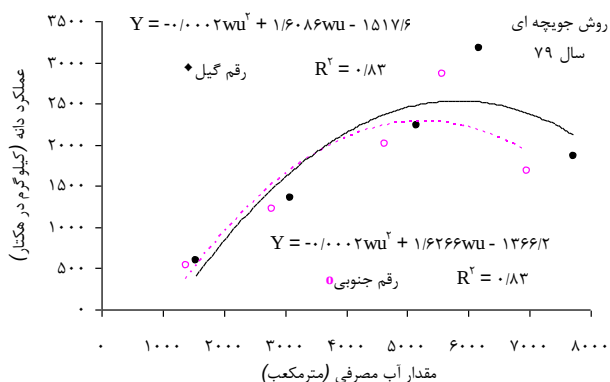
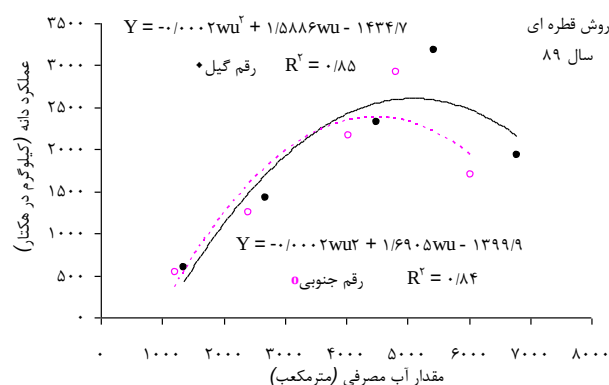
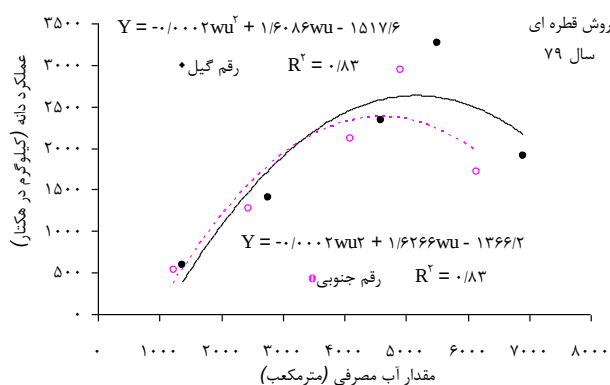
نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تأمین نیاز آبی بر درصد مغزدهی در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). درصد مغزدهی در طی دو سال، در شرایط

در هر دو روش آبیاری قطره‌ای و جویچه‌ای، میزان عملکرد تقریباً به صورت خطی افزایش داشت؛ اما با افزایش آبیاری و بیش از حد کفایت، شیب رابطه عملکرد با آب مصرفی، به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافت (شکل ۶) و موجب خروج عناصر غذایی از محیط اطراف ریشه و ایجاد پوسیدگی در آن و بروز بیماری‌های قارچی شد (عبدالذکوه‌ری و صادقی پور، ۱۳۹۸) که در نهایت، روندی کاهشی بر میزان عملکرد دانه داشت.

حاصل شد که نیاز آبی گیاه به‌طور کامل تأمین گردید. نتایج نشان داد که در روش آبیاری قطره‌ای، در سال‌های ۹۷ و ۹۸، مقدار آب مصرفی در رقم گیل به ترتیب ۵۵۲۰ و ۵۴۴۲ مترمکعب در هکتار و در رقم جنوبی به ترتیب ۴۹۱۳ و ۴۸۱۵ مترمکعب در هکتار بود. مقدار آب مصرفی در روش جویچه‌ای، در سال‌های ۹۷ و ۹۸، رقم گیل به ترتیب با ۶۱۸۲ و ۶۰۹۶ مترمکعب در هکتار و در رقم جنوبی به ترتیب ۵۵۶۴ و ۵۴۷۱ مترمکعب در هکتار بود (جدول ۵).

جدول ۵ - مقدار آب مصرفی در تأمین نیازهای آبی مختلف بر دو رقم بادام‌زمینی در دو روش آبیاری قطره‌ای و سطحی

روش آبیاری	تأمین نیاز آبی	رقم	مقدار آب مصرفی		روش آبیاری	تأمین نیاز آبی	رقم	مقدار آب مصرفی	
			سال ۹۷	سال ۹۸				سال ۹۷	سال ۹۸
روش قطره‌ای	٪۲۵	گیل	۱۳۸۰	۱۳۵۶	روش سطحی	٪۲۵	گیل	۱۳۸۰	۱۳۵۶
	٪۲۵	جنوبی	۱۲۲۸	۱۲۰۸		٪۲۵	جنوبی	۱۲۲۸	۱۲۰۸
	٪۵۰	گیل	۲۷۶۰	۲۶۹۳		٪۵۰	گیل	۲۷۶۰	۲۶۹۳
	٪۵۰	جنوبی	۲۴۵۷	۲۴۱۰		٪۵۰	جنوبی	۲۴۵۷	۲۴۱۰
	٪۷۵	گیل	۴۵۹۵	۴۵۰۵		٪۷۵	گیل	۴۵۹۵	۴۵۰۵
	٪۷۵	جنوبی	۴۰۹۰	۴۰۳۲		٪۷۵	جنوبی	۴۰۹۰	۴۰۳۲
	٪۱۰۰	گیل	۵۵۲۰	۵۴۴۲		٪۱۰۰	گیل	۵۵۲۰	۵۴۴۲
	٪۱۰۰	جنوبی	۴۹۱۳	۴۸۱۵		٪۱۰۰	جنوبی	۴۹۱۳	۴۸۱۵
	٪۱۲۵	گیل	۶۱۸۲	۶۰۹۶		٪۱۲۵	گیل	۶۱۸۲	۶۰۹۶
	٪۱۲۵	جنوبی	۵۵۶۴	۵۴۷۱		٪۱۲۵	جنوبی	۵۵۶۴	۵۴۷۱



شکل ۶- ارتباط آب مصرفی و عملکرد دانه در دو رقم بادام‌زمینی تحت روش‌های آبیاری قطره‌ای و جویچه‌ای در سال‌های ۹۷ و ۹۸

ضرایب همبستگی ساده صفات زراعی و رگرسیون گام به گام

در این پژوهش، همبستگی صفات اندازه‌گیری شده با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون انجام گرفت. نتایج نشان داد که عملکرد دانه در سال‌های مورد مطالعه دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار در سطح یک درصد با صفات، تعداد غلاف در بوته (در سال ۹۷ و ۹۸ به ترتیب با $r=0/980^{**}$ و $r=0/983^{**}$)، تعداد دانه در بوته (در سال اول و دوم به ترتیب با $r=0/981^{**}$ و $r=0/980^{**}$) و وزن صدانه (با $r=0/895^{**}$ و $r=0/901^{**}$) داشت (جدول ۶) که با نتایج تحقیقات (شوبا و همکاران، ۲۰۱۲؛ پرابهو و همکاران، ۲۰۱۷) یکسان است. در پژوهشی، همبستگی مثبت و معنی‌داری از عملکرد دانه در بادام‌زمینی با تعداد دانه در بوته ($r=0/547^{**}$) و تعداد غلاف در بوته ($r=0/891^{**}$) گزارش شده است (عبدالزادگوه‌ری و همکاران، ۱۳۹۶). نتایج تحقیقی در بادام‌زمینی نشان داد که صفت تعداد غلاف در بوته با عملکرد دانه بادام‌زمینی

همبستگی مثبت و معنی‌داری ($r=0/810^{**}$) دارد (پرابهو و همکاران، ۲۰۱۵). درصد مغزدهی اثری بر عملکرد ندارد و هرچه وزن دانه‌ها کمتر باشد، وزن دانه در غلاف کاهش یافته و باعث کاهش نسبت وزن دانه به غلاف می‌شود. جهت شناخت مهمترین صفات زراعی مؤثر در تشکیل دانه و محاسبه میزان تأثیر آن‌ها در عملکرد دانه از رگرسیون گام به گام استفاده شد. برای تشکیل معادله رگرسیونی خطی، عملکرد دانه به عنوان متغیر وابسته و سایر صفات به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شدند. نتایج نشان داد که در سال ۹۷، صفت تعداد دانه در بوته و در سال ۹۸، صفت تعداد غلاف در بوته به ترتیب ۹۸/۱ و ۹۸/۳ درصد از تغییرات موجود در عملکرد دانه را توجیه نمودند. (جدول ۷). این صفات، مهم‌ترین عوامل مؤثر بر عملکرد دانه در بادام‌زمینی‌اند که تأمین نیاز آبی- گیاه و انتخاب روش آبیاری باید متناسب با افزایش تعداد پگ در مرحله گل‌دهی و افزایش تعداد دانه در مرحله پرشدن غلاف‌ها باشد (پرابهو و همکاران، ۲۰۱۵).

جدول ۶- ضرایب همبستگی ساده صفات زراعی دو رقم بادام‌زمینی در شرایط تأمین نیاز آبی گیاه و روش‌های آبیاری

صفات زراعی	عملکرد دانه		تعداد غلاف در بوته		تعداد دانه در بوته		وزن صدانه	
	سال ۹۷	سال ۹۸	سال ۹۷	سال ۹۸	سال ۹۷	سال ۹۸	سال ۹۷	سال ۹۸
عملکرد دانه	۱	۱						
تعداد غلاف در بوته	۰/۹۸۰ ^{**}	۰/۹۸۳ ^{**}	۱					
تعداد دانه در بوته	۰/۹۸۱ ^{**}	۰/۹۸۰ ^{**}	۰/۹۹۹ ^{**}	۰/۹۹۸ ^{**}	۱			
وزن صدانه	۰/۸۹۵ ^{**}	۰/۹۰۱ ^{**}	۰/۹۰۳ ^{**}	۰/۹۰۲ ^{**}	۰/۹۰۰ ^{**}	۰/۸۹۹ ^{**}	۱	
درصد مغزدهی	۰/۲۴۸	۰/۰۳۱	۰/۲۰۱	۰/۰۵۲	۰/۲۰۰	۰/۰۵۴	۰/۲۴۷	۰/۰۴۳

**،* به ترتیب معنی‌دار در سطح یک و پنج درصد

جدول ۷- نتایج رگرسیون گام به گام بین صفت عملکرد محصول (متغیر وابسته Y) و سایر صفات (مستقل X)

سال	صفات مورد مطالعه	ضریب همبستگی	ضریب تعیین	ضریب تعیین اصلاح شده	خطای استاندارد شده	معادله
۱۳۹۷	تعداد دانه در بوته (X)	۰/۹۸۱	۰/۹۶۲	۰/۹۶۱	۱۶۷/۱۵۳۴۷	$Y=136/376+16/183X$
۱۳۹۸	تعداد غلاف در بوته (X)	۰/۹۸۳	۰/۹۶۶	۰/۹۶۵	۱۵۶/۱۶۳۵۱	$Y=110/214+32/811X$

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، بررسی روش‌های آبیاری بر عملکرد بادام‌زمینی نشان داد که روش قطره‌ای نسبت به روش جویچه‌ای در سال‌های ۹۷ و ۹۸ به ترتیب،

افزایش ۳/۱ و ۲/۸ درصدی داشت. اثرات متقابل آبیاری و رقم نشان داد که کاهش مصرف آب در تیمار تنش، موجب کاهش عملکرد آب در این تیمارها نسبت به تیمار فاقد تنش گردید و بیشترین عملکرد دانه با تأمین ۱۰۰

۱۰۰ درصد نیاز آبی (میانگین آب مصرفی ۵۴۸۱ مترمکعب در هکتار) به عنوان مناسب‌ترین رقم بادام‌زمینی جهت کشت در منطقه مورد مطالعه پیشنهاد می‌شود.

سیاسگزاری

بدین وسیله از معاون پژوهش و فناوری دانشگاه آزاد واحد اسلامشهر خانم دکتر سهرابی و رئیس باشگاه پژوهشگران جوان دانشگاه آزاد اسلامی واحد اسلامشهر، خانم دکتر فتوحی و کارشناس باشگاه، سرکار خانم محمودی به جهت حمایت در اجرای این طرح پژوهشی، تشکر و قدردانی می‌نمایم.

درصد آب مورد نیاز گیاه، برای هر دو رقم حاصل شد که در این میان، سهم رقم گیل نسبت به رقم جنوبی بیشتر و در سال‌های اول و دوم به ترتیب با افزایش ۱۱/۱ و ۹/۴ درصدی همراه بود. همبستگی صفات در سال‌های مورد نشان‌دهنده همبستگی مثبت و معنی‌دار عملکرد دانه در سطح ۱ درصد با صفات، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته و وزن صددانه بود. رگرسیون گام به گام بین صفت عملکرد دانه با سایر صفات نشان داد که در سال ۹۷، صفت تعداد دانه در بوته و در سال ۹۸، صفت تعداد غلاف در بوته به ترتیب ۹۸/۱ و ۹۸/۳ درصد از تغییرات موجود در عملکرد دانه را توجیه نمودند. به طور کلی و با توجه به نتایج، رقم گیل با روش آبیاری قطره‌ای و تأمین

فهرست منابع

۱. اکبری نودهی، ا. ۱۳۹۶. تاثیر تنش خشکی در مراحل مختلف رشد بر عملکرد و راندمان مصرف آب ذرت. نشریه مدیریت آب و آبیاری. سال ۷. شماره ۲. ۳۰۵-۳۱۸.
۲. بابازاده، ح. عبدزادگوهری، ع. و آ. خنک. ۱۳۹۶. اثر مقادیر مختلف آب و کود نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد بادام‌زمینی. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. جلد ۳۱. شماره ۴. ۵۷۱-۵۸۴.
۳. حقیقتی، ب. برومندنسب، س. و ع.ع. ناصری. ۱۳۹۴. تأثیر مدیریت‌های مختلف کم‌آبیاری در روش آبیاری جویچه‌ای و قطره‌ای نواری بر عملکرد سیب‌زمینی و بهره‌وری آب. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. ب. جلد ۲۹. شماره ۲. ۱۸۱-۱۹۳.
۴. رضایی استخریویه، ر. ایراندوست، م. و م. کامبخش. ۱۳۹۵. تأثیر کم‌آبیاری بر بهره‌وری مصرف آب، عملکرد و اجزای آن در گیاه پنبه رقم ورامین. نشریه مدیریت آب و آبیاری. دوره ۶. شماره ۲. ۲۰۶-۲۱۶.
۵. عبدزادگوهری، ع. ۱۳۸۸. بررسی تاثیر مدیریت آبیاری و کود نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه بادام-زمینی در استان گیلان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی. دانشکده کشاورزی و مهندسی علوم آب. دانشگاه آزاد اسلامی واحد شوشتر. ۹۹ صفحه.
۶. عبدزادگوهری، ع. امیری، ا. بابازاده، ح. و ح. صدقی. ۱۳۹۶. تخمین تابع تولید ارقام بادام‌زمینی در سطوح مختلف آب آبیاری و شوری. نشریه مدیریت آب و آبیاری. دوره ۷. شماره ۱. ۸۷-۱۰۴.
۷. عبدزادگوهری، ع. امیری، ا. بابازاده، ح. و ح. صدقی. ۱۳۹۷. اثر شوری و مدیریت آبیاری بر عملکرد و کارایی مصرف آب در ارقام بادام‌زمینی. نشریه تحقیقات آب و خاک ایران. دوره ۴۹. شماره ۲. ۳۲۹-۳۴۰.
۸. عبدزادگوهری، ع. و ا. امیری. ۱۳۹۷. تابع تولید و بهره‌وری مصرف آب گیاه بادام‌زمینی (رقم گیل) در شرایط آبیاری و افزودن کود نیتروژن. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. جلد ۳۲. شماره ۱. ۵۵-۶۶.
۹. عبدزادگوهری، ع. و ا. صادقی‌پور. ۱۳۹۸. مدیریت علف‌های هرز در مزارع بادام‌زمینی. انتشارات اندیشمندان پارس. تهران.

۱۰. ملکی، س. پردشتی، ه. م. ن. صفرزاده ویشکایی. ۱۳۹۵. واکنش عملکرد و اجزای عملکرد بادام زمینی (*Arachis hypogaea* L) به کاربرد هم زمان آهن و گوگرد. نشریه تحقیقات کاربردی اکوفیزیولوژی گیاهی. دوره سوم، شماره اول. ۷۴-۵۹.
11. Abdzad Gohari, A. Babazadeh, H. Amiri, E. and Sedghi, H. 2017. Estimate of Peanut Production Function under Irrigated Conditions and Salinity. Polish Journal of Environmental Studies. 27 (4). 1503-1512.
12. Abou Kheira Abdrabbo, A. 2009. Macromanagement of deficit-irrigated peanut with sprinkler irrigation. Journal of Agriculture Water. 96.1409-1420.
13. Amiri, E., Abdzad Gohari A. and Mianabadi, A. 2015. Evaluation of water schemes for peanut, using CSM-CROPGRO-Peanut model. Archives of Agronomy and Soil Science. 61(10). 1439-1453.
14. Arunyanark, A., Jogloy, S., Akkasaeng, C., Vorasoot, N., Nageswara Rao, R.C., Wright, G.C. and Patanothai, A. 2009. Association between aflatoxin contamination and drought tolerance traits in peanut. Field Crops Research. 114:14-22.
15. Carvalho m, j. Vorasoot, n. Puppala, n., Muitia, a. and jogloy, S. 2017. Effects of terminal drought on growth, yield and yield components in Valencia peanut genotypes. 49 (3). 270-279.
16. El-Habbasha, S.F., Okasha, E.M., Abdelraouf, R.E. and Mohammed, A.S.H. 2014. Effect of pressured irrigation systems, deficit irrigation and fertigation rates on yield, quality and water use efficiency of groundnut. International Journal of Chemical Technology Research. 7(1). 475-487.
17. Frigman, A. 2004. Characterization of Groundnut (*Arachis hypogaea* L.) in Northern Ghana. Pakistan Journal of Biological Sciences. 7 (5). 838-842.
18. Girdthai, T., Jogloy, S., Akkasaeng, C., Vorasoot, N., Wongkaew, S., Holbrook, C.C. and Patanothai, A. 2010. Heritability of, and genotypic correlations between, aflatoxin traits and physiological traits for drought tolerance under end of season drought in peanut (*Arachis hypogaea* L.). Field Crops Research, 118,169-176.
19. Lamb, M.C. Sorensen, R.B. Nuti, R.C. Rowland, D.L. Faircloth, W.H. Butts, C.L. and J.W. Dorner. 2010. Impact of Sprinkler Irrigation Amount on Peanut Quality Parameters. 37:100-105.
20. Pimratch S, Jogloy S, Vorasoot N, Toomsan B, Kesmala T, Patanothai A, and Holbrook, CC. 2010. Effects of drought on characters related to nitrogen fixation in peanut. Asian J. Plant Sci. 9: 402-413.
21. Prabhu, R., Manivannan, N. Mothilal A. and Ibrahim, S. M. 2017. Variability analysis for yield, yield attributes and resistance to foliar diseases in groundnut (*Arachis hypogaea* L.). Indian Journal of Pure and Applied Biosciences. 5: 206-214.
22. Prabhu, R., Manivannan, N., Mothilal A. and Ibrahim, S. M. 2015. Correlation coefficient analysis for yield and yield attributes in groundnut (*Arachis hypogaea* L.). Plant Archives. 15, 685-689.
23. Shoba, D., Manivannan N. and Vindhiyavarman, P. 2012. Correlation and path coefficient analysis in groundnut (*Arachis hypogaea* L.). Madras Agricultural Journal. 99: 18-20.
24. Sorensen. R.B. and C.L. Butts .2014. Peanut Response to Crop Rotation, Drip Tube Lateral Spacing, and Irrigation Rates with Deep Subsurface Drip Irrigation. Peanut Science. 41:111-119.
25. Sriranjitha, P., Ramulu, V. Jayasree G. and Narender Reddy, S. 2018. Growth, Yield and Water Use Efficiency of Groundnut under Drip and Surface Furrow Irrigation. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. 7(9): 1371-1376.
26. Waseem, M., Kaleel, I., Mallikarjuna N. and Polisgowsar, B.S. 2018. Effect of micro sprinkler and surface irrigation on growth and yield of groundnut crop under raichur agro climatic conditions. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry. 7(1): 132-134.

ارزیابی مدل‌های نفوذ آب به خاک در برخی کلاس‌های بافتی خاک و کاربری اراضی در حوضه دریاچه ارومیه

فرشته بتوخته^۱، مجتبی خوش‌روش و حسین دهقانی‌سانج

دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، مازندران، ایران.

batoukhtehf@yahoo.com

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

khoshhravesh_m24@yahoo.com

دانشیار موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

dehghanisanij@yahoo.com

دریافت: آذر ۱۳۹۹ و پذیرش: تیر ۱۴۰۰

چکیده

نفوذ آب به خاک یکی از مهم‌ترین فرآیندهای فیزیکی خاک است که نقش مهمی در مدیریت خاک دارد. اهداف این پژوهش، بررسی توانایی مدل‌های متداول نفوذ مانند کوستیاکوف، کوستیاکوف لوییز، هورتون، SCS و فیلپ برای تخمین میزان نفوذ، بررسی سرعت نفوذ و پتانسیل ایجاد رواناب در بارندگی‌های طولانی‌مدت در دو کاربری اراضی (مرتع و زراعی) و سه بافت خاک (لوم، کلی لوم و لوم رس سیلتی) مختلف است. برای تخمین پارامترهای مدل و یافتن مدل مناسب برای این منطقه، این مدل‌ها به داده‌های نفوذ اندازه‌گیری شده برازش داده شد و پس از برآورد پارامترها با استفاده از معادلات سرعت نفوذ، هر یک از مدل‌ها سرعت نفوذ برای زمان‌های ۲، ۴ و ۲۴ ساعت محاسبه شد. برای این منظور داده‌های حاصل از آزمایش‌های نفوذپذیری به روش استوانه‌های مضاعف در ۱۶ نقطه از مناطق مختلف منطقه جمع‌آوری گردید. پارامترهای مدل‌های یادشده به روش حداقل مجموع مربعات خطا تعیین گردید. با استفاده از آماره‌های ضریب تبیین (R^2)، کارایی نش ساتکلیف (NSE)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین خطا (ME)، صحت و دقت برازش‌ها ارزیابی شد. مقایسه میانگین آماره‌های ارزیابی با استفاده از روش توکی^۲ نشان داد که نحوه برآورد نفوذ تجمعی در مدل کوستیاکوف لوییز در مقایسه با سایر مدل‌ها، از روند پایدارتری برخوردار بوده و در اکثر کلاس‌های بافتی خاک و کاربری‌های موردبررسی حائز رتبه نخست ارزیابی بود. مقایسه میانگین نشان داد که علی‌رغم وجود اختلاف بین مدل‌ها در برآورد نفوذ تجمعی، اختلاف بین مدل‌ها در برآورد سرعت نفوذ معنی‌دار نبوده و در یک گروه قرار گرفتند. فارغ از نوع مدل مورد استفاده، بافت خاک و کاربری اراضی دو عامل اساسی تأثیرگذار بر سرعت نفوذ نهایی آب به خاک هستند که در کاربری مرتع به دلیل ساختمان خوب و پایداری خاک سرعت نفوذ نسبت به کاربری زراعی بیشتر و پتانسیل ایجاد رواناب کمتر است. طبق نتایج سرعت نفوذ با زمان در کاربری زراعی دارای تغییرات قابل توجهی است؛ به‌نحوی که سرعت نفوذ در این کاربری در ابتدا بالا بود و با افزایش زمان از ۲ به ۲۴ ساعت، به شدت افت نمود. از این رو، در راستای کاهش اثرات اقدامات کشاورزی بر تضعیف کیفیت خاک و به‌منظور افزایش سرعت نفوذ آب به خاک در بارندگی‌های طولانی‌مدت و کاهش رواناب، اقدامات مدیریتی از جمله گسترش کشاورزی حفاظتی و عملیات زراعی بی‌خاک‌ورزی و کم خاک‌ورزی نقش بسیار مؤثری خواهد داشت.

واژه‌های کلیدی: مدل کوستیاکوف-لوییز، مدل اس.سی.اس، مدل هورتون، مدل فیلپ، سرعت نفوذ آب به خاک

^۱ -آدرس نویسنده مسئول: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، مازندران، ایران.

^۲ Tukey procedure

مقدمه

نفوذ آب به خاک یکی از مهم‌ترین اجزای چرخه‌ی آب در طبیعت است. این ویژگی خاک به‌عنوان مهم‌ترین ویژگی هیدرولیکی خاک بوده و بیانگر توانایی خاک در انتقال آب به‌صورت عمودی در نیمرخ خاک است (فکی و همکاران، ۲۰۱۸). سرعت وارد شدن آب به خاک یا به‌عبارت دیگر سرعت نفوذ از پارامترهای مهم در طراحی سامانه‌های آبیاری، مطالعات هیدرولوژی، مدیریت منابع آب و حفاظت خاک و طراحی و اجرای پروژه‌های زهکشی و کنترل فرسایش خاک در حوضه‌های آبخیز است. انتخاب نوع سیستم آبیاری برای هر منطقه و همچنین، مدیریت و برنامه‌ریزی آبیاری به ویژگی‌های نفوذ آب به داخل خاک بستگی دارد.

سرعت نفوذ به عواملی مانند خصوصیات فیزیکی خاک، مقدار رطوبت اولیه خاک، شدت بارندگی یا مقدار آب آبیاری، شیب و زبری سطح زمین، درصد و نوع پوشش گیاهی و کیفیت آب بستگی دارد. زمانی که آب آبیاری از شدت نفوذ در خاک و نیز ظرفیت ذخیره سطحی فراتر رود، آب در سطح مزرعه جریان یافته و رواناب ایجاد می‌شود. کاربری اراضی و مدیریت صحیح آن یکی از فاکتورهای اصلی تأثیرگذار بر فرایندهای فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک‌ها است. کاربری اراضی تنها روشی است که انسان از طریق آن در فرایندهای طبیعی دخالت می‌کند و می‌تواند باعث افزایش تخریب خاک یا جلوگیری از آن شود (زی‌چنگ؛ ۲۰۱۱). گومنز و همکاران (۱۹۹۹) دریافتند که با کاهش وزن مخصوص ظاهری ناشی از عملیات خاک‌ورزی مناسب، نفوذپذیری افزایش یافته ولی در صورت تکرار بی‌رویه شخم و در نتیجه افزایش وزن مخصوص، کاهش خلل و فرج و فشردگی خاک، میزان نفوذپذیری کاهش می‌یابد.

نفوذ به‌عنوان یکی از موضوعات اصلی برای صرفه‌جویی در مصرف آب و طراحی یک سامانه آبیاری مناسب در نظر گرفته می‌شود (رحمان و همکاران، ۲۰۱۶؛ پاتل و همکاران، ۲۰۱۹). اهمیت این فرآیند سبب شده

مدل‌های فیزیکی و تجربی گوناگونی به‌منظور کمی نمودن این فرآیند ارائه شود (کوستیاکوف، ۱۹۳۲؛ لوئیس، ۱۹۳۷؛ فیلیپ، ۱۹۵۷؛ آرگروکاستریت و کرکیدس، ۲۰۰۳). از آنجاکه اندازه‌گیری نفوذ در عرصه هزینه‌بر و مستلزم صرف زمان زیاد است، لذا از مدل‌های مختلف برای برآورد مقدار نفوذ استفاده می‌شود که هر مدل در شرایط خاص، برازش مناسبی را با داده‌های تجربی از خود نشان می‌دهد. به‌طورکلی مدل‌های نفوذ آب به خاک، شامل مدل‌های تخمینی با اساس فیزیکی و مدل‌های تخمینی تجربی است. در مدل‌های تخمینی با اساس فیزیکی با استفاده از قوانین و روابط اثبات‌شده مانند بقای جرم و قانون بقای انرژی و تلفیق آن‌ها و دست‌یابی به یک سری معادلات ریاضی مانند گرین-امپت (گرین و امپت، ۱۹۱۱) و فیلیپ (فیلیپ، ۱۹۵۷) به‌دست آمده‌اند. این مدل‌ها با تکیه بر مبانی فیزیکی، سعی در ساده‌سازی شرایط اولیه و شرایط مرزی در معادله جریان در محیط غیراشباع شده است. این فرضیات، داده‌های فیزیکی موردنیاز این مدل‌ها را کاهش می‌دهد اما از کارایی آن‌ها به لحاظ تغییر شرایط اولیه و مرزی می‌کاهد. مهم‌ترین حسن این معادلات که بر اساس قوانین فیزیکی وضع شده‌اند و با دانستن برخی خصوصیات فیزیکی خاک، معادله نفوذ قابل تعیین است.

مدل‌های تخمینی تجربی به لحاظ فرضیاتی که به شرایط سطح خاک و نیم‌رخ خاک مربوط می‌شود، دارای محدودیت کمتری هستند و در عوض به شرایطی که برای آن واسنجی شده‌اند محدود می‌شوند. مدل‌های تجربی بر اساس پارامترهایی هستند که از طریق برازش منحنی تعیین‌شده و یا از روش‌های دیگر تخمین زده می‌شوند. تأثیر گرفتن از شرایط زمانی، مکانی و نارسایی پارامترهای معادلات در تبیین مفاهیم فیزیکی از نقص‌های عمده این‌گونه معادلات است. در مقایسه بین مدل‌های فیزیکی و تجربی مشخص شده که معادلات فیزیکی جزئیات نفوذ را نسبت به معادلات تجربی بهتر نشان می‌دهند (لوآیکیگا و هوانگ، ۲۰۰۷؛ محمدی و رفاهی،

(۱۳۸۴). از مدل‌های تجربی می‌توان به کوستیاکوف (کوستیاکوف، ۱۹۳۲)، هورتون (هورتون، ۱۹۴۰)، کوستیاکوف-لوییز (مزنف، ۱۹۴۸) و مدل سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) اشاره نمود. شرح مختصری از مدل‌های فوق در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱- شرح مدل‌های نفوذ موردبررسی و پارامترهای آن‌ها

مدل	پارامترها	معادله نفوذ	معادله سرعت نفوذ
فیلیپ	A, S	$I = St^{1/2} + At$	$i = \frac{1}{2}St^{-1/2} + A$
کوستیاکوف	b, k	$I = Kt^b$	$i = Kbt^{b-1}$
کوستیاکوف-لوییز	A, k, b	$I = Kt^b + At$	$i = Kbt^{b-1} + A$
هورتون	C, m, a	$I = Ct + m(1 - e^{-at})$	$i = C + ma(e^{-at})$
SCS	a, b	$I = at^b + 0.6985$	$i = abt^{b-1}$

I = نفوذ تجمعی (سانتی‌متر)، $\dot{I}$ = سرعت نفوذ (سانتی‌متر در دقیقه) و t = زمان (دقیقه)

مدل‌های فیلیپ و کوستیاکوف برآورد بهتری از نفوذ تجمعی آب به خاک نسبت به مدل‌های هورتون و گرین-آمپ دارند. مونیرا و همکاران (۲۰۲۰) توانایی مدل‌های هورتون، کوستیاکوف و فیلیپ را برای تخمین میزان نفوذ بررسی نمودند. بررسی‌های آن‌ها نشان داد که مدل‌های هورتون و فیلیپ اندکی مطابقت بهتری با میزان نفوذ مشاهده‌شده نسبت به مدل‌های کوستیاکوف دارند همچنین، برآورد دقیق میزان نفوذ بر اساس پارامترهای مدل نشان داد که پارامترهای مدل نفوذ نیاز به برآورد در خاک‌های محلی دارند.

پرچمی عراقی و همکاران (۱۳۸۹) عملکرد مدل‌های نفوذ گرین - آمپ، فیلیپ، کوستیاکوف، کوستیاکوف - لوییز، سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) و هورتون در برآورد نفوذ تجمعی و نیز وابستگی عملکرد آن‌ها به کلاس‌های مختلف بافت خاک و کاربری‌های مختلف اراضی را مورد ارزیابی قرار دادند. برای این منظور، داده‌های حاصل از آزمایش نفوذپذیری به روش استوانه‌های مضاعف در ۲۱۰ محل از مناطق مختلف کشور جمع‌آوری شد. نتایج نشان داد عملکرد کوستیاکوف-لوییز در مقایسه با دیگر مدل‌ها در برآورد نفوذ تجمعی از روند پایدارتری برخوردار بود. به‌گونه‌ای

از آنجاکه فرضیات و پارامترهای به‌کار رفته در مدل‌های نفوذ باهم متفاوت است، انتظار می‌رود در یک شرایط معین، مدلی خاص دارای عملکرد بهتری در مقایسه با بقیه باشد (حقیقی و همکاران، ۲۰۱۰؛ فشی و همکاران، ۲۰۱۴).

سو و همکاران (۲۰۰۲) عملکرد مدل‌های فیلیپ، گرین-آمپ و هورتون را در بافت‌های مختلف خاک ارزیابی نمودند. در بین مدل‌های ارزیابی‌شده پارامترهای مدل گرین آمپ همخوانی بیشتر و دقیق‌تری با داده‌های اندازه‌گیری شده نشان داد.

نشاط و پاره کار (۲۰۰۷) عملکرد مدل‌های نفوذ کوستیاکوف، گرین و آمپ، فیلیپ، هورتون و سازمان حفاظت خاک آمریکا در برآورد نفوذ تجمعی و سرعت نفوذ اندازه‌گیری شده به روش استوانه‌های مضاعف را مورد ارزیابی قرار دادند. در این رابطه، از آماره ضریب تبیین (R^2) استفاده شد. نتایج این پژوهش حاکی از آن بود که مدل کوستیاکوف مدل مناسب برای برآورد نفوذ تجمعی و سرعت نفوذ است.

باماتوز و همکاران (۲۰۱۰) با بررسی کارایی برخی مدل‌های نفوذ در مقایسه با داده‌های اندازه‌گیری شده به‌وسیله استوانه‌های دوگانه به این نتیجه رسیدند که

که این مدل در اکثر کلاس‌های بافتی خاک و کاربری‌های اراضی حائز رتبه نخست ارزیابی شد.

سلیمانی و همکاران (۱۳۹۵) مدل‌های فیلپ، هورتون، گرین-آمپت، کوستیاکوف و سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) باهدف تعیین مدل مناسب برآورد نفوذ در کاربری مرتع، جنگل و زراعت، در حوزه آبخیز کاکاشرف واقع در استان لرستان، ارزیابی کردند. نتایج نشان داد در کاربری مرتع، مدل سازمان حفاظت خاک آمریکا، با ضریب کارایی نش-ساتکلیف ۰/۹۱ و ضریب تبیین ۰/۹۱۵ و در کاربری‌های جنگل و زراعت، مدل فیلپ با ضریب کارایی نش-ساتکلیف به ترتیب ۰/۸۵ و ۰/۷۸۴ به‌عنوان برترین مدل‌ها در هر سه کاربری و نیز مدل هورتون، ضعیف‌ترین مدل در هر سه کاربری انتخاب شد.

دهموردی و همکاران (۱۳۹۷) مدل‌های هورتون، فیلپ، کوستیاکوف و کوستیاکوف-لوییز در برآورد نفوذ آب به خاک با استفاده از دو گروه داده اندازه‌گیری شده با استفاده از آزمایش استوانه‌های دوگانه و داده‌های نفوذ عمودی شبیه‌سازی شده به کمک نرم‌افزار HYDRUS-1D ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که در داده‌های نفوذ اندازه‌گیری شده با استوانه‌های دوگانه در بافت‌های مختلف، مدل کوستیاکوف-لوییز و در داده‌های نفوذ شبیه‌سازی شده با استفاده از نرم‌افزار HYDRUS-1D، مدل هورتون بهترین عملکرد را در برآورد نفوذ تجمعی آب به خاک داشتند. مدل فیلپ نیز در هر دو گروه داده نفوذ اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده دارای کمترین کارایی در برآورد نفوذ تجمعی آب به خاک بود.

بررسی پژوهش‌های داخل و خارج از کشور در سال‌های اخیر حاکی از آن است که پژوهشگران مختلف در مقایسه و ارزیابی عملکرد مدل‌های نفوذ به نتایج متفاوت و بعضاً ضدونقیضی دست‌یافته‌اند. یکی از دلایل این امر طبیعت تغییرپذیر فرایند نفوذ آب به خاک است. به‌گونه‌ای که این عامل باعث می‌شود تا حتی یک مدل نفوذ در دو خاک که به لحاظ ویژگی‌های فیزیکی بسیار

مشابه با یکدیگر هستند، دارای عملکرد متفاوت باشد. به‌عنوان مثال در مطالعه تونر (۲۰۰۶) در آمریکا، مدل گرین آمپت بهترین کارایی و مدل کوستیاکوف و هورتون کمترین کارایی را در برآورد نفوذ تجمعی دارد. همچنین، بر اساس پژوهش پرچمی عراقی و همکاران (۱۳۸۹)، کوستیاکوف-لوییز بهترین مدل و مدل فیلپ و گرین آمپت دارای کمترین کارایی در برآورد نفوذ تجمعی است. از دیگر دلایل تفاوت در نتایج به دست آمده را می‌توان به شیوه اندازه‌گیری نفوذ، شرایط اولیه و شرایط مرزی و همچنین استفاده از آماره‌های متفاوت به‌منظور ارزیابی و مقایسه عملکرد دانست.

در پژوهش حاضر با توجه به اینکه سرعت نفوذ بالا در زمان‌های طولانی بیانگر پایداری خاک در برابر بارندگی، نفوذ بیشتر آب به خاک، کاهش رواناب و درنهایت کاهش فرسایش خاک و همچنین تغذیه آب‌های زیرزمینی است، ضمن بررسی دقت معادلات نفوذ کوستیاکوف، گرین آمپت، هورتون، سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) و فیلپ در کاربری اراضی و کلاس‌های مختلف بافت خاک، سرعت نفوذ در زمان‌های طولانی مدت نیز بررسی شد.

مواد و روش‌ها

داده‌های موردنیاز این پژوهش از طریق جمع‌آوری داده‌های حاصل از پژوهش‌های خاکشناسی موسسه تحقیقات خاک و آب در مراتع آذربایجان شرقی در سال ۱۳۸۸ و داده‌های حاصل از پروژه‌های مطالعاتی انجام‌شده دانشگاه ارومیه در سال ۹۸-۱۳۹۷ به‌دست آمد. داده‌های اندازه‌گیری شده نفوذ با استفاده از آزمایش استوانه‌های دوگانه با سه تکرار در ۱۶ محل از مناطق حوضه دریاچه ارومیه با کاربری مرتع و زراعی است. تعداد نمونه‌های برداشت‌شده در کلاس‌های بافتی و کاربری‌های مختلف مطابق جدول (۲) است. همچنین، نتایج آزمایش خاک برخی از نمونه‌ها در جدول (۳) آمده است.

جدول ۲- تعداد داده‌های برداشت‌شده در کاربری و کلاس‌های بافتی مختلف

بافت خاک	کاربری اراضی	تعداد مناطق مطالعاتی	تکرار
loam	مرتج	۱	۳
	زراعی	۲	۶
silt clay loam	مرتج	۳	۹
	زراعی	۲	۶
clay loam	مرتج	۵	۱۵
	زراعی	۳	۹

جدول ۳- نتایج آنالیز خاک نمونه‌های زراعی در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر

کاربری	رس شن	سیلت	بافت	شوری	اسیدیته	رطوبت اشباع	کربن آلی	FC	PWP
	(%)	(%)		(dS/m)	(%)	(%)		(cm ³ /cm ³)	(cm ³ /cm ³)
زراعی	۲۵	۲۶	۴۹	loam	۰/۵۰	۷/۳۴	۴۲	۱/۱۰	۰/۳۱
	۲۱	۳۱	۴۸	loam	۰/۸۰	۷/۵۶	۳۷	۰/۸۲	۰/۰۹
	۳۳	۳۲	۳۵	clay loam	۰/۳۰	۷/۶۴	۳۹	۱/۴۷	۰/۳۲
	۳۶	۳۶	۲۸	clay loam	۰/۶۱	۸/۰۰	۴۲	۱/۲۵	۰/۳۲
	۱۲	۴۴	۴۴	loam silt clay	۱/۲۰	۷/۷۸	۳۸/۹	۱/۱۰	۰/۳۲
	۴۴	۱۲	۴۴	loam silt clay	۱/۲۰	۷/۷۸	۴۹/۸	۱/۱۰	۰/۳۳

$$I = Kt^b \quad (۳)$$

$$i = Kbt^{b-1} \quad (۴)$$

که در آن‌ها:

I نفوذ تجمعی برحسب سانتی‌متر، i سرعت نفوذ برحسب سانتی‌متر بر دقیقه، t زمان، b و k پارامترهای معادله بوده و اهمیت فیزیکی نیز ندارند. در این رابطه با افزایش زمان به سمت بی‌نهایت، سرعت نفوذ به سمت صفر میل می‌کند که در طبیعت این چنین اتفاق نمی‌افتد.

مدل کوستیاکوف-لوییز

برای اصلاح معایب معادله کوستیاکوف در زمان‌های طولانی، لوییز در سال ۱۹۴۸ معادله تعدیل‌شده زیر را ارائه داد. این معادله اندازه‌گیری نفوذ در مزرعه را در طولانی مدت که شدت نفوذ به مقدار ثابتی بزرگ‌تر از صفر نزدیک می‌شود، نشان می‌دهد. در صورتی که با به‌کارگیری معادله کوستیاکوف مقدار آن باید صفر شود:

$$I = Kt^b + At \quad (۵)$$

$$i = Kbt^{b-1} + A \quad (۶)$$

معرفی مختصر مدل‌های نفوذپذیری

فیلیپ

یکی از مدل‌های معروف نفوذپذیری، مدل فیلیپ است. در این مدل، مقدار نفوذ تجمعی از معادله ۱ و سرعت نفوذ از مشتق آن (رابطه ۲) محاسبه می‌شود:

$$I = St^{1/2} + At \quad (۱)$$

$$i = \frac{1}{2}St^{-1/2} + A \quad (۲)$$

که در آن:

I نفوذ تجمعی برحسب سانتی‌متر، i سرعت نفوذ برحسب سانتی‌متر بر دقیقه، S ضریب اشباع خاک برحسب سانتی-متر بر جذر ساعت، A هدایت هیدرولیکی برحسب سانتی‌متر بر ساعت است.

مدل کوستیاکوف

یکی از اولین معادله‌هایی که برای توصیف نفوذ آب به داخل خاک ارائه‌شده معادله کوستیاکوف است. این معادله برای دوره‌های زمانی کوتاه نتایج رضایت بخشی به دست می‌دهد. این معادله برای نفوذ تجمعی و سرعت نفوذ به شرح زیر است:

که در آن‌ها: I نفوذ تجمعی برحسب سانتی‌متر، i سرعت نفوذ برحسب سانتی‌متر بر دقیقه، t زمان، k و A بزرگ‌تر از صفر و b بین صفر و یک است.

هورتون

معادله تجربی دیگری که بیشتر هیدرولوژیست‌ها از آن استفاده می‌کنند، معادله هورتون است. معادله هورتون برای شدت نفوذ در نهایت به صورت زیر در می‌آید:

$$I = Ct + m(1 - e^{-at}) \quad (۷)$$

$$i = C + ma(e^{-at}) \quad (۸)$$

که در آن‌ها:

I نفوذ تجمعی برحسب سانتی‌متر، i سرعت نفوذ برحسب سانتی‌متر بر ساعت، t زمان، C ، m و a ضرایب معادله و همگی مثبت می‌باشند و از طریق برازش محاسبه می‌شوند.

مدل SCS سازمان حفاظت خاک آمریکا

سازمان حفاظت خاک آمریکا معادله ساده‌ای را برای تعیین مقدار نفوذ تجمعی آب به داخل خاک ارائه نموده که به نام معادله SCS معروف است:

$$I = at^b + 0.6985 \quad (۹)$$

$$i = abt^{b-1} \quad (۱۰)$$

که در آن‌ها:

a و b تابعی از شماره منحنی نفوذ و از روی جدول ویژه‌ای بدست می‌آید. I مقدار نفوذ تجمعی از شروع نفوذ برحسب سانتی‌متر، i سرعت نفوذ برحسب سانتی‌متر بر دقیقه و t زمان از شروع نفوذ به دقیقه است. a و b ضرایب مربوط به نوع خاک هستند.

ارزیابی مدل‌های نفوذ

در این پژوهش، کارایی مدل‌های مختلف برآورد کننده نفوذ آب به خاک در کاربری‌های مرتعی و زراعی و همچنین بافت‌های لومی، لوم رسی و سیلت کلی لوم

مورد بررسی قرار گرفت. به این منظور پنج مدل فیلپ، کوستیاکوف، کوستیاکوف لوییز، هورتون و SCS انتخاب شد و ضرایب مدل‌های نفوذ آب به خاک در هر یک از این مدل‌ها مطابق جدول (۱) از طریق برازش داده‌های نفوذ اندازه‌گیری شده و برآورد شده، از طریق کاهش شاخص آماری مجموع مربعات خطا (SSE) با استفاده از ابزار Solver نرم‌افزار اکسل ۲۰۱۷ انجام شد. برای این منظور، تابع هدف به صورت رابطه ۱۱ تعریف شد:

$$SSE = \sum_{j=1}^n (I(m)_j - I(P)_j)^2 \quad (۱۱)$$

که در آن:

SSE مجموع مربعات خطا $I(m)_j$ ، (cm^2) مقدار نفوذ اندازه‌گیری شده در زمان j ام $i(p)_j$ ، (cm) نفوذ محاسبه شده با استفاده از معادله برای زمان j ام (cm) و n تعداد مقایسه‌ها است.

پس از برآورد پارامترهای مدل‌های یادشده، با استفاده از آماره‌های صحت سنجی، صحت و دقت برازش‌ها ارزیابی شد. برای این منظور از آماره‌های صحت سنجی ضریب تعیین (R^2)، کارایی نش ساتکلیف (NSE)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین خطا (ME) مطابق روابط ۱۲ الی ۱۵ استفاده شد:

$$ME = \frac{\sum (P_i - O_i)}{n} \quad (۱۲)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (۱۳)$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (۱۴)$$

$$R^2 = \frac{[\sum (Q_{m,i} - \bar{Q}_m)(Q_{s,i} - \bar{Q}_s)]^2}{\sum_i (Q_{m,i} - \bar{Q}_m)^2 \sum_i (Q_{s,i} - \bar{Q}_s)^2} \quad (۱۵)$$

که در آن‌ها:

O_i داده‌های مشاهده‌ای، P_i نتایج برآوردی متناظر و $\bar{O}$ میانگین داده‌های مشاهده‌ای ماست. مقادیر NSE خطا را در بازه بین یک و منفی بینهایت $(-\infty)$ ، کمی سازی می‌کند و مقادیر کمتر از صفر نشان می‌دهد که میانگین سری

آماري فاکتوريل با پايه طرح کاملاً تصادفي مورد استفاده قرار گرفت. همچنين، سرعت نفوذ در زمان‌ها، کاربري اراضي و کلاس‌هاي بافتي مختلف با يکديگر مقايسه شد.

نتايج و بحث

دامنه تغييرات پارامترهاي مدل‌ها

دامنه تغييرات پارامترها و نيز آماره مجموع مربعات خطاي برازش (SSE) مدل‌هاي نفوذ در جدول ۴ ارائه شده است. بر اساس اين جدول، مقادير ميانگين آماره‌ي SSE بيانگر آن است که مدل‌هاي کوستياکوف و کوستياکوف لوييز در مقايسه با ساير مدل‌هاي نفوذ داراي خطاي کمتری هستند.

مشاهده شده می‌تواند برآورد کننده بهتری نسبت به مدل باشد (کراونس و همکاران؛ ۲۰۰۵). RMSE تفاوت پارامتر برآورد شده با مقدار واقعي اندازه‌گيري شده را نشان می‌دهد. ME نيز بيش برآورد يا کم برآورد مدل را نشان می‌دهد.

پس از برازش داده‌هاي نفوذ تجمعي به معادلات فوق و برآورد پارامترهاي هر مدل، سرعت نفوذ در زمان‌هاي ۲، ۴ و ۲۴ ساعت براي هريك از نمونه خاک‌ها محاسبه شد. با مقايسه سرعت نفوذ خاک‌هاي گوناگون می‌توان پايداري آن‌ها را در برابر بارندگي طولاني مدت و توليد رواناب با يکديگر مقايسه نمود.

براي مقايسه کارايي مدل‌ها در کاربري‌ها و کلاس‌هاي بافتي مختلف، آماره‌هاي صحت سنجي در قالب طرح

جدول ۴- دامنه تغييرات پارامترهاي مدل‌هاي نفوذ

مدل	پارامترهاي مدل	حداقل	حداکثر	ميانگين	ضريب تغييرات (%)
فيلپ	S	۰/۴۲	۳/۱۳	۱/۴۴	۴۱
	A	۰	۰/۱۶	۰/۰۴	۱۰۹
	SSE	۰/۱	۹۷/۸۳	۱۶/۲۷	۱۴۷
	k	۰/۲۶	۲/۵۸	۱/۲۲	۴۲
کوستياکوف	b	۰/۴۲	۰/۸۶	۰/۵۸	۱۶
	SSE	۰/۰۵	۱۶۳/۶۹	۱۶/۹۵	۱۷۵
	k	۰/۲۶	۲/۵۸	۱/۴۰	۴۰
	b	۰/۲۲	۰/۷۴	۰/۵۲	۲۴
کوستياکوف-لوييز	A	۰	۰/۱۳	۰/۰۲	۱۶۳
	SSE	۰/۰۵	۸۶/۱	۱۲/۱۹	۱۶۲
	C	۰	۰/۱۸	۰/۰۸	۵۲
	m	۲/۰۹	۷۱/۶۶	۱۲/۶۱	۹۱
هورتون	a	۰/۰۱	۲	۰/۱۴	۲۴۰
	SSE	۰/۶۱	۱۳۷/۲۸	۲۰/۸۱	۱۶۰
	a	۰/۱۷	۲/۲۸	۱/۰۱	۴۸
	b	۰/۴۷	۰/۸۴	۰/۶۲	۱۳
SCS	SSE	۰/۳۵	۸۶/۴۵	۱۴/۰۳	۱۴۰

است که روند تغييرات نفوذ با زمان در کاربري اراضي مختلف متفاوت از يکديگر هست، به نحوي که دقت مدل-هاي مختلف در برازش داده‌ها تغيير می‌کند. با مقايسه نمودارهاي ارائه شده در شکل (۱) می‌توان اين تغييرات را مشاهده کرد. اما بر اساس ME مشاهده می‌شود که اين تغييرات جهت دار نيست؛ يعني کم برآوردی يا بيش

تأثير مدل‌هاي نفوذ، کاربري اراضي و بافت خاک بر آماره‌هاي صحت سنجي

بر اساس نتايج تجزيه واريانس، تأثير نوع مدل، بافت خاک و کاربري اراضي بر آماره‌هاي صحت سنجي (جدول ۵)، مشاهده می‌شود که کاربري اراضي بر دو آماره R^2 و RMSE تأثير معنی‌داری دارد. اين بدان معنی

برآوردی مشخصی وجود ندارد. درعین‌حال بافت خاک تأثیر معنی‌داری بر نتایج صحت سنجی نداشته است. این می‌تواند ناشی از تنوع کم بافت‌ها، یا معنی‌دار شدن سایر عوامل از قبیل مدل و کاربری اراضی باشد؛ یعنی آماره‌های صحت سنجی بیشتر تحت تأثیر نوع مدل و کاربری اراضی می‌باشد و بافت خاک تأثیر معنی‌داری بر آماره‌های

صحت سنجی ندارد. همچنین معنی‌دار شدن نتایج مدل در آماره ME نشان می‌دهد که مدل‌ها ذاتاً کم برآوردی یا بیش برآوردی دارند که مقایسه میانگین مربعات آماره‌های صحت سنجی تحت تأثیر مدل‌های مختلف این تغییرات را بهتر نشان می‌دهد.

جدول ۵- میانگین مربعات آماره‌های صحت سنجی تحت تأثیر مدل‌های نفوذ، کاربری و بافت خاک

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		RMSE	ME	NSE	
کاربری اراضی	۱	۱۱/۹۵**	۰/۰۶ ns	۰/۰۰۱**	
نوع مدل	۴	۰/۴۷ ^{ns}	۲/۴۳**	۰/۰۰۰۱۸ ^{ns}	
بافت خاک	۲	۴/۲۳ *	۰/۰۸ ns	۰/۰۰۰۱۲ ns	
کاربری * بافت خاک	۲	۳/۳۲ *	۰/۶۳**	۰/۰۰۰۰۱ ns	
کاربری * مدل	۴	۰/۹۱ ns	۰/۶۲**	۰/۰۰۰۰۲ ns	
مدل * بافت خاک	۸	۱/۸۷ ns	۰/۶۸۷*	۰/۰۰۰۰۷ ^{ns}	
مدل * بافت خاک * کاربری	۸	۱/۵۵ ns	۰/۳۷۹*	۰/۰۰۰۰۳ ^{ns}	
خطا	۱۵۰	۷۴/۳	۶/۵۷	۰/۰۱۲	

** معنی‌دار در سطح پنج درصد - * معنی‌دار در سطح یک درصد - ns غیر معنی‌دار

ارزیابی عملکرد مدل‌های نفوذ در کلاس‌های بافتی خاک و کاربری اراضی

اثرات متقابل مدل، کاربری و بافت خاک باتوجه به مقادیر آماره‌های ارزیابی بررسی و نتایج در جدول ۶ ارائه شد. بر اساس آماره R^2 ، مدل کوستیاکوف لوییز بهتر از سایر مدل‌ها به داده‌ها برازش داشته، اما این اختلاف نسبت به مدل‌های کوستیاکوف، هورتن و SCS معنی‌دار نشده و در یک گروه قرار گرفته‌اند ولی اختلاف مدل فیلیپ نسبت به سایر مدل‌ها معنی‌دار شده است. بر اساس آماره یادشده، در بافت‌های مختلف اختلاف معنی‌داری وجود نداشته و هر سه بافت در یک گروه قرار دارد. اثرات متقابل مدل و کاربری اراضی نشان می‌دهد که مدل فیلیپ در کاربری زراعی بدترین برازش و مدل کوستیاکوف و کوستیاکوف لوییز در کاربری مرتع بهترین برازش را داشته است. همچنین، بررسی اثرات متقابل مدل و بافت خاک بر اساس آماره R^2 مدل کوستیاکوف لوییز و

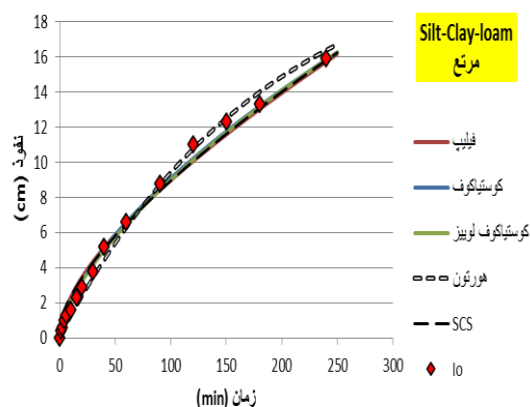
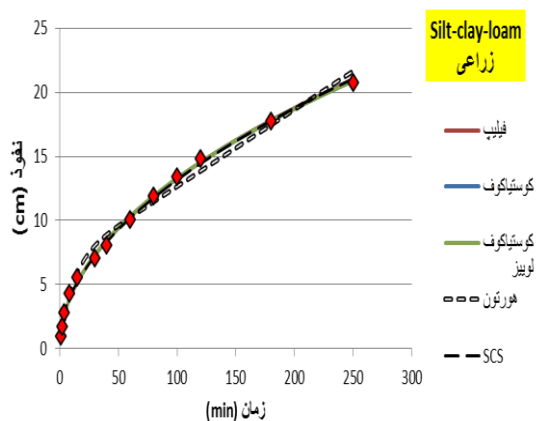
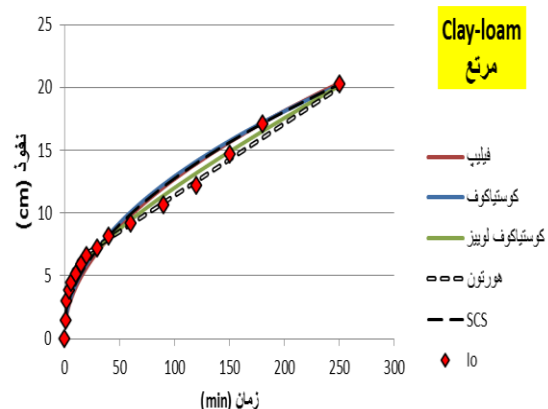
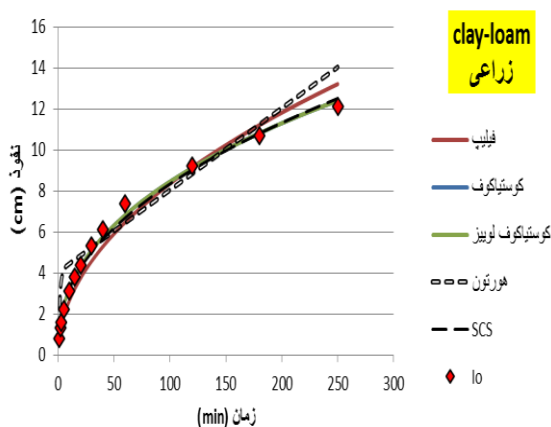
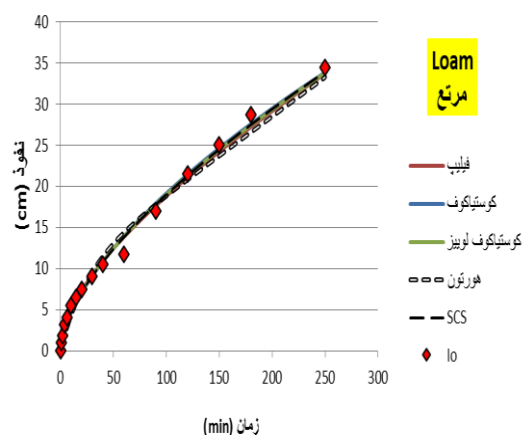
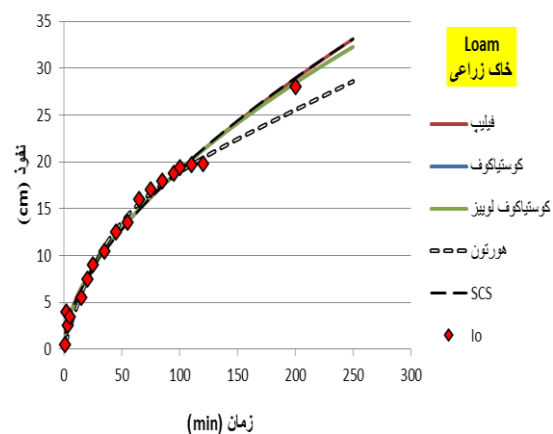
هورتن در بافت کلی لوم بهترین برازش و مدل فیلیپ در هر سه بافت بدترین برازش را داشته‌اند.

بر اساس آماره RMSE نوع مدل و اثرات متقابل مدل و بافت، مدل و کاربری اراضی و همچنین اثرات متقابل سه‌گانه مدل و کاربری و بافت معنی‌داری نشده و همگی در یک گروه قرار دارند و در میان بافت‌های مختلف بافت لوم و در میان کاربری‌های موردبررسی کاربری مرتع معنی‌دار شد است. همچنین، با توجه به آماره RMSE اثرات متقابل کاربری‌ها و بافت‌های مختلف بافت لوم در کاربری مرتع معنی‌دار شده است.

بر اساس آماره ME، مدل هورتن بدترین برازش با بیشترین بیش برآورد، مدل فیلیپ نیز با دقت کمتری برازش یافته و بیشترین کم برآوردی را دارد و مدل کوستیاکوف و کوستیاکوف لوییز بهترین برازش را داشته است. مدل هورتون در کاربری مرتع بدترین برازش

خاک نیز مشابه نتایج اثرات متقابل کاربری بوده و مدل هورتون در بافت لوم بدترین برازش با بیشترین بیش برآورد و مدل فیلپ در بافت لوم نیز بیشترین کم برآوردی را دارد و مدل کوستیاکوف و کوستیاکوف لوییز در کاربری مرتع بهترین برازش را داشته است و مقدار ME نزدیک به صفر است. نتایج اثرات متقابل مدل و بافت

با بیشترین بیش برآورد و مدل فیلپ در کاربری مرتع نیز با دقت کمتری برازش یافته و بیشترین کم برآوردی را دارد. همچنین مدل کوستیاکوف و کوستیاکوف لوییز در کاربری مرتع بهترین برازش را داشته است و مقدار ME نزدیک به صفر است. نتایج اثرات متقابل مدل و بافت



شکل ۱- داده‌های اندازه‌گیری شده و برازش داده‌شده با مدل‌های مختلف در بافت و کاربری‌های مختلف

جدول ۶- اثرات متقابل پارامترها بر اساس مقایسه میانگین با استفاده از روش توکی (Tukey procedure)

آماره‌های ارزیابی							
NSE		ME		RMSE		R ²	
گروه	متوسط	گروه	متوسط	گروه	متوسط	گروه	متوسط
کاربری اراضی							
B	۰/۹۸۱	ns		B	۰/۱۷۶	B	۰/۹۸۴
A	۰/۹۹۶	ns		A	۰/۶۹۱	A	۰/۹۹۵
مدل							
AB	۰/۹۹۲۶	C	۰/۰۰۶	ns		B	۰/۹۷۴
AB	۰/۹۹۲	B	۰/۰۷۸	ns		A	۰/۹۹۳۶
AB	۰/۹۹۴۹	BC	۰/۰۲۲	ns		A	۰/۹۹۵
B	۰/۹۵۹	A	۰/۲۵	ns		A	۰/۹۹۴۲
AB	۰/۹۹۲۸	BC	۰/۰۴۵	ns		A	۰/۹۹۳۲
کاربری * بافت							
ns		B	۰/۰۰۵	B	۰/۴۲۵	A	۰/۹۹۶۴
ns		A	۰/۱۶۹۸	A	۱/۰۸	A	۰/۹۹۶۰
ns		B	۰/۰۰۲	B	۰/۵۵۹	AB	۰/۹۹۵۱
ns		AB	۰/۰۶۹۷	B	۰/۲۰۲	ABC	۰/۹۸۸۱
ns		B	۰/۰۳۳	B	۰/۲۱۱	BC	۰/۹۸۳۶
ns		AB	۰/۰۲۸	B	۰/۱۱۵	C	۰/۹۸۱۹
مدل * کاربری							
ns		B	۰/۰۵۲۶	ns		A	۰/۹۹۶۳
ns		B	۰/۰۱۶۵	ns		A	۰/۹۹۶۱
ns		B	۰/۰۹۸۱	ns		A	۰/۹۹۵۷
ns		B	۰/۰۲۲۷	ns		A	۰/۹۹۵۶
ns		A	۰/۳۷۹۹	ns		A	۰/۹۹۵۳
ns		B	۰/۰۲۹۳	ns		A	۰/۹۹۳۷
ns		B	۰/۱۲۴۰	ns		A	۰/۹۹۳۱
ns		B	۰/۱۰۴۱	ns		A	۰/۹۹۰۹
ns		B	۰/۰۶۷۵	ns		A	۰/۹۹۰۹
ns		B	۰/۰۲۳۲	ns		B	۰/۹۵۴۱
مدل * بافت خاک							
A	۰/۹۹۳۲	BC	۰/۰۳۸۲	ns		A	۰/۹۹۶۶
A	۰/۹۸۷۱	ABC	۰/۱۳۶۱	ns		A	۰/۹۹۶۶
A	۰/۹۸۹	BC	۰/۰۵۷۰	ns		AB	۰/۹۹۴۸
A	۰/۹۹۴۱	A	۰/۴۱۷۱	ns		AB	۰/۹۹۴۷
A	۰/۹۹۳۳	BC	۰/۰۵۰۸	ns		AB	۰/۹۹۴۴
A	۱	BC	۰/۰۱۷۸	ns		AB	۰/۹۹۴۲
A	۱	BC	۰/۰۱۲۹	ns		AB	۰/۹۹۳۹
A	۱	BC	۰/۰۰۰۷	ns		ABC	۰/۹۹۳۴
A	۰/۹۹۳۹۸	ABC	۰/۰۱۸۳۶	ns		ABC	۰/۹۹۳۱
B	۰/۸۹۸	BC	۰/۰۶۱۷	ns		ABC	۰/۹۹۳۰
A	۰/۹۹۱	BC	۰/۰۱۶۷	ns		ABC	۰/۹۹۲۰
A	۰/۹۹۴۰۵	AB	۰/۲۰۲۸	ns		ABC	۰/۹۹۱۳
A	۰/۹۹۳۴	BC	۰/۰۳۷۱	ns		ABC	۰/۹۸۰۱
A	۰/۹۹۶۸	C	۰/۰۹۳۱	ns		BC	۰/۹۷۳۶
A	۰/۹۹۲۶	BC	۰/۰۵۱۷	ns		C	۰/۹۷۱۰

مدل: ۱- فیلیپ، ۲- کوستیاکوف، ۳- کوستیاکوف-لوییز، ۴- هورتن، ۵- SCS

** بافت: ۱- لوم، ۲- کالی لوم، ۳- لوم رس سیلتی

*** کاربری اراضی: ۱- زراعی، ۲- مرتع

مقایسه سرعت نفوذ مدل‌ها در زمان‌های مختلف

پس از برآزش داده‌های نفوذ تجمعی به معادلات مدل‌های یادشده و برآورد پارامترها، در ادامه سرعت نفوذ با استفاده از پنج مدل در دو کاربری (مرتع و زراعی) و سه بافت خاک (لوم، کلی لوم و لوم رس سیلتی) در زمان‌های ۲، ۴ و ۲۴ ساعت محاسبه شد.

با توجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول ۷) عامل‌های زمان، نوع کاربری و نوع بافت اثر معنی‌داری بر سرعت نفوذ دارند، ولی نوع مدل اثر معنی‌داری بر سرعت نفوذ نداشته است. این نشان می‌دهد که علی‌رغم اختلافات موجود بین مدل‌ها در برآزش به داده‌های نفوذ،

تمام مدل‌های مورد بررسی سرعت نفوذ را در زمان‌های طولانی تقریباً یکسان برآورد نموده و ویژگی‌های خاک تعیین می‌کند که در هر زمان نفوذ آب به خاک با چه سرعتی صورت می‌گیرد.

اثرات متقابل زمان در کاربری و کاربری در بافت معنی‌دار شده و اثرات متقابل سه‌گانه زمان، کاربری و مدل، همچنین اثرات متقابل سه‌گانه زمان، کاربری و بافت و اثرات متقابل سه‌گانه مدل، بافت خاک و کاربری معنی‌دار نشده است. برای بررسی این موضوع مقایسه میانگین با استفاده از روش توکی (Tukey procedure) انجام شد که نتایج در جدول ۸ ارائه شده است.

جدول ۷- جدول تجزیه واریانس سرعت نفوذ

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات
زمان	۲	۰/۲۰۹**
کاربری اراضی	۱	۰/۲۳۷**
نوع مدل	۴	۰/۰۱۲ <i>ns</i>
بافت خاک	۲	۰/۰۵۳۷**
زمان * کاربری	۲	۰/۰۱* ^۱
زمان * مدل	۸	۰/۰۲۴ <i>ns</i>
زمان * بافت	۴	۰/۰۰۴ <i>ns</i>
کاربری * مدل	۴	۰/۰۰۲ <i>ns</i>
کاربری * بافت خاک	۲	۰/۰۰۰۲*
مدل * بافت خاک	۸	۰/۰۰۴ <i>ns</i>
زمان * کاربری * مدل	۸	۰/۰۰۱۴ <i>ns</i>
زمان * کاربری * بافت	۴	۰/۰۰۷۹ <i>ns</i>
کاربری * مدل * بافت	۸	۰/۰۰۲۵ <i>ns</i>
خطا	۴۸۲	۰/۷۶۵

** معنی‌دار در سطح پنج درصد - * معنی‌دار در سطح یک درصد - *ns* غیر معنی‌دار

جدول ۸- میانگین سرعت نفوذ (سانتی‌متر در دقیقه) با استفاده با روش توکی

اثرات متقابل	تعداد داده	میانگین	گروه	اثرات متقابل	تعداد داده	میانگین	گروه
زمان				بافت			
۲ ساعت	۱۸۰	۰/۱۰۳	A	لوم	۱۸۰	۰/۰۹۱	A
۴ ساعت	۱۸۰	۰/۰۸۳	B	کلی لوم	۱۸۰	۰/۰۸۳	A
۲۴ ساعت	۱۸۰	۰/۰۵۵	C	لوم رس سیلتی	۱۸۰	۰/۰۶۷	B
کاربری اراضی				زمان* بافت			
زراعی	۲۷۰	۰/۱	B	۱*۱	۶۰	۰/۱۱	A
مرتع	۲۷۰	۰/۰۵	A	۲*۱	۶۰	۰/۱	AB
مدل				۱*۲	۶۰	۰/۰۹۴	B
فیلیپ	۱۰۸	۰/۰۸۱	A	۳*۱	۶۰	۰/۰۸۷	BC
کوستیاکوف	۱۰۸	۰/۰۷۵	A	۲*۲	۶۰	۰/۰۸۶	BC
کوستیاکوف لوییز	۱۰۸	۰/۰۷۹	A	۳*۲	۶۰	۰/۰۶۹	CD
هورتون	۱۰۸	۰/۰۸۹	A	۱*۳	۶۰	۰/۰۶	DE
SCS	۱۰۸	۰/۰۷۷	A	۲*۳	۶۰	۰/۰۶	DE
زمان* کاربری				۳*۳	۶۰	۰/۰۴۴	E
۲*۱	۹۰	۰/۱۲۹	A	کاربری* بافت			
۲*۲	۹۰	۰/۱۰۵	B	۱*۲	۹۰	۰/۱۳۹	A
۱*۱	۹۰	۰/۰۷۶	C	۲*۲	۹۰	۰/۰۹۸	B
۲*۳	۹۰	۰/۰۷	C	۲*۱	۹۰	۰/۰۶۸	C
۱*۲	۹۰	۰/۰۶۱	C	۱*۱	۹۰	۰/۰۶۷	C
۱*۳	۹۰	۰/۰۳۹	D	۳*۲	۹۰	۰/۰۶۷	C
				۳*۱	۹۰	۰/۰۴۲	D

*مدل: ۱- فیلیپ، ۲- کوستیاکوف، ۳- کوستیاکوف-لوییز، ۴- هورتون، ۵- SCS

** بافت: ۱- لوم، ۲- کلی لوم، ۳- لوم رس سیلتی

*** کاربری اراضی: ۱- زراعی، ۲- مرتع

طبق نتایج، زمان اثر معنی‌داری بر میزان سرعت نفوذ دارد به‌طوری‌که باگذشت زمان سرعت نفوذ کاهش می‌یابد. البته این روند در طبیعت ادامه می‌یابد تا به یک مقدار ثابت می‌رسد. مطابق جدول ۸ مقدار سرعت نفوذ در کاربری مرتع بیشتر از کاربری زراعی است که نشان از ساختمان خوب و پایداری خاک در کاربری مراتع است. در اراضی زراعی هرچند سرعت نفوذ در زمان شروع به دلیل عملیات خاک‌ورزی بالا است، ولی باگذشت زمان و تثبیت خاک نفوذ به‌سرعت کاهش می‌یابد. بافت خاک نیز اثر معنی‌داری بر سرعت نفوذ دارد به‌طوری‌که در کلاس بافت لوم رس سیلتی مقدار نفوذ کمتر از دو بافت دیگر است. بافت ریزتر این خاک نسبت به دو خاک دیگر می‌تواند دلیل پایین بودن سرعت نفوذ آن باشد. همچنین، مدل‌های مختلف موردبررسی تفاوت معنی‌داری در برآورد سرعت نفوذ نداشتند و همگی در یک گروه قرار دارند که

نشان‌دهنده صحت و دقت لازم مدل‌ها در برآورد سرعت نفوذ آب به خاک است. بررسی اثرات متقابل زمان در کاربری نشان می‌دهد که با افزایش زمان سرعت نفوذ در کاربری مرتع بیشتر از کاربری زراعی است لذا پتانسیل ایجاد رواناب در کاربری مراتع کمتر است. طبق اثرات متقابل کاربری در بافت کاربری مرتع با بافت لوم بیشترین سرعت نفوذ و کاربری زراعی با بافت لوم رس سیلتی کمترین سرعت نفوذ را دارند.

مطالعات نشان می‌دهد که در مراتع مقدار کربن الی خاک بیشتر از اراضی کشاورزی بوده و از همین رو ساختمان پایدارتری دارند که در برابر نفوذ آب و بارندگی مقاوم است. در سال‌های اخیر با روشن شدن اهمیت ماده آلی خاک در ساختمان، تغذیه گیاه و کاهش فرسایش، استفاده از عملیات کشاورزی حفاظتی و به‌خصوص

کشاورزی بدون خاک‌ورزی^۳ گسترش بسیاری داشته است تا شرایط مزارع به مراتب نزدیک شود و نتایج این پژوهش نیز روشن کرد که در کاربری مرتع سرعت نفوذ به‌طور معنی‌داری بیشتر از کاربری زراعی است که باعث کاهش مقدار تخریب خاک می‌شود.

نتیجه‌گیری

این تحقیق باهدف بررسی صحت مدل‌های مختلف در برآورد نفوذ تجمعی و سرعت نفوذ آب به خاک در کاربری‌های اراضی و کلاس بافتی گوناگون انجام شد. بر اساس مقادیر R^2 در کاربری مرتع چون خاک تراکم بالاتر و دست‌خوردگی کمتری دارد فرایند نفوذ به‌صورت یکنواخت‌تری اتفاق می‌افتد و در بین بازه‌های زمانی مختلف مقدار تغییرات متعادل‌تر است و لذا برازش مدل‌ها به داده‌ها از صحت بالاتری برخوردار است اما بر اساس آماره RMSE در کاربری زراعی هرچند در زمان‌های مختلف مقدار نفوذ از یک‌روند ثابت پیروی نمی‌کند، اما تغییرات موجود به نحوی است که داده‌های مشاهده‌ای فاصله کمتری از مقادیر مدل‌سازی شده دارند. همچنین، بافت خاک تأثیر معنی‌داری بر نتایج نفوذ تجمعی نداشته است.

نتایج به‌دست‌آمده از ارزیابی عملکرد مدل‌های نفوذ فیلپ، کوستیاکوف، کوستیاکوف-لوییز، هورتن و SCS نشان داد مدل‌های موردبررسی در این پژوهش در کلاس‌های مختلف بافت خاک و کاربری اراضی همخوانی نزدیک با داده‌های میدانی دارند. بااین‌وجود بر اساس مقایسه مدل‌ها، نحوه برآورد نفوذ تجمعی در مدل کوستیاکوف لوییز از روند پایدارتری برخوردار بوده و در اکثر کلاس‌های بافتی خاک و کاربری‌های موردبررسی حائز رتبه نخست ارزیابی شد حال این‌که این روند در دیگر مدل‌ها مشاهده نشد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از ارزیابی کلی برآورد نفوذ تجمعی با استفاده از مدل‌های نفوذ موردبررسی در این پژوهش مدل‌های کوستیاکوف-

لوییز، هورتن، کوستیاکوف، SCS و فیلپ به ترتیب در رده‌های نخست تا پنجم ارزیابی قرار گرفتند؛ با توجه به اینکه روش تعیین پارامترهای مدل‌های یادشده روش برازشی است، یکی از دلایل برتری مدل کوستیاکوف-لوییز بیشتر بودن تعداد پارامترهای آن نسبت به مدل‌های SCS، کوستیاکوف، هورتن و فیلپ است. این ویژگی باعث انعطاف‌پذیری بیشتر این مدل به هنگام تعیین پارامترها در کوتاه‌مدت شد.

از آنجایی‌که ضرایب مدل کوستیاکوف، SCS و کوستیاکوف لوییز نسبت به سایر مدل‌ها تغییرات بیشتری دارد و استفاده از مدل‌هایی که ضرایب آن‌ها مبنای تجربی دارد و از داده‌های کوتاه‌مدت به‌دست‌آمده است برای برآورد داده‌های بلندمدت همراه با خطا خواهد بود و معادله هورتن و فیلپ در درازمدت مناسب‌تر تشخیص داده شد. البته بر اساس آزمون توکی، اختلاف بین مدل‌ها برای برآورد سرعت نفوذ در زمان‌های طولانی معنی‌دار نبوده و در یک گروه قرار گرفتند. در برآورد سرعت نفوذ در زمان‌های ۲، ۴ و ۲۴ ساعت مشاهده شد که در زمان‌های طولانی بارش در کاربری مرتع به دلیل ساختمان خوب و پایداری خاک، سرعت نفوذ نسبت به کاربری زراعی بیشتر و پتانسیل ایجاد رواناب کمتر است.

بر اساس نتایج این پژوهش مشخص شد که پنج مدل موردبررسی هرچند در برآورد نفوذ تجمعی دارای دقت متفاوتی هستند، اما در صورت برازش به داده‌های میدانی، برای برآورد سرعت نفوذ در زمانی‌های طولانی مدت دقت مناسبی خواهند داشت. همچنین، بافت خاک و کاربری اراضی از عوامل مهم تأثیرگذار بر سرعت نفوذ در زمان‌های طولانی مدت بوده و هرچه بافت خاک درشت و ساختمان خاک پایدارتر باشد، سرعت نفوذ نهایی بیشتر خواهد بود. نکته دیگری که نتایج این پژوهش مشخص کرد تغییرات قابل‌توجه سرعت نفوذ با زمان در کاربری زراعی است، به‌نحوی‌که سرعت نفوذ در این کاربری در ابتدا بالا بود و با افزایش زمان از دو ساعت به ۲۴ ساعت به‌شدت افت نمود. می‌توان این‌گونه

^۳ No tillage system

جمع‌بندی نمود که مدیریت خاک نقش بسیار مؤثری در
ازجمله کشاورزی حفاظتی، می‌توان کیفیت خاک را بهبود
میزان نفوذپذیری دارد و با انجام اقدامات کشاورزی به‌روز
داد و از فرسایش جلوگیری نمود.

فهرست منابع

۱. پرچمی عراقی، ف.، میرلطیفی، س.م.، قربانی‌دشتکی، ش. و مهدیان، م.ح. ۱۳۸۹. ارزیابی برخی مدل‌های نفوذ آب به خاک در برخی کلاس‌های بافتی خاک و کاربری اراضی، نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۲۰۵-۱۹۳:۲(۴)
۲. سلیمانی، ل.، حق‌زاده، ع. و زینی‌وند، ح. ۱۳۹۵، تعیین بهترین مدل‌های برآورد نفوذ در کاربری‌های مختلف، به‌منظور مدیریت بهینه حوزه‌های آبخیز (مطالعه موردی: حوزه آبخیز کاکاشرف، استان لرستان)، پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، ۴۱-۳۳:۷(۱۳).
۳. محمدی، م.ح. و رفاهی، ح. ۱۳۸۴. برآورد پارامترهای معادلات نفوذ با استفاده از خصوصیات فیزیکی خاک. مجله علوم کشاورزی ایران. ۱۳۹۸-۱۳۹۱:۳۶(۶).
۴. موسوی دهموردی، ا.، قربانی‌دشتکی، ش. و مشایخی، پ. ۱۳۹۸، مقایسه کارایی برخی مدل‌های نفوذ آب به خاک بر اساس داده‌های به‌دست‌آمده از استوانه‌های دوگانه و نرم‌افزار HYDRUS-1D. نشریه تحقیقات کاربردی خاک. ۱۹۵-۱۸۲:۷(۲).
۵. واقفی، م. و موحدزاده، م. ۱۳۹۳. بررسی و مقایسه مدل‌های مختلف نفوذپذیری در حوزه آبریز مند دشتی با استفاده از نتایج آزمایش‌های استوانه مضاعف. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب. ۱۲-۱:۴(۱۵).
6. Bamutaze, Y., Makooma, T., Gilbert, M., Vanacker, V., Bagoora, F., Magunda, M., Obando, J. and Wasigeh, J. 2010. Infiltration characteristics of volcanic sloping soils on Mt. Elgon, Eastern Uganda Yazidhi. Catena, 80(2):122-130.
7. Fashi, F. H., Sharifi, F. and Kamali, K. 2014. Modelling infiltration and geostatistical analysis of spatial variability of sorptivity and transmissivity in a flood spreading area. Spanish Journal of Agricultural Research 12(1): 277-288
8. Feki, M., Ravazzani, G., Ceppi, A., Milleo, G. and Mancini, M. 2018. Impact of infiltration process modeling on soil water content simulations for irrigation management. Water. 10(7): 850. <https://doi.org/10.3390/w10070850>
9. Green, W.H. and Ampt, G. 1911. Studies of soil physics, Part 1. The flow of air and water through soils. Journal of Agricultural Science, 4: 1-24.
10. Goamez, J.A., Giraldez, J.V., Pastor, M. and Fereres, E. 1999. Effects of tillage method on soil physical properties, infiltration and yield in an olive orchard. Soil Till. Res., 52: 167-175.
11. Haghighi, F., Gorji, M., Shorafa, M., Sarmadian, F. and Mohammadi, M. H. 2010. Evaluation of some infiltration models and hydraulic parameters. Spanish Journal of Agricultural Research, 8: 210-217.
12. Holtan, H.N. 1961. A concept of infiltration estimates in watershed engineering. ARS41-51, U.S. Department of Agricultural Service, Washington, DC.
13. Horton, R.E. 1940. An Approach towards a Physical Interpretation of Infiltration Capacity. Soil Science Society of America Proceedings, 5: 399-417.
14. Hsu, S.M., Ni, C.F. and Hung, P.F. 2002. Assessment of three infiltration formulas based on model fitting and Richards's equation. Journal of Hydrology Engineering, 7: 373-379.
15. Kostiaikov, A.N. 1932. On the dynamics of the coefficient of water-percolation in soils and on the necessity for studying it from a dynamic point of view for purposes of amelioration. Transactions Congress International Society for Soil Science, 6th, Moscow, Part A: 17-21.

16. Krause, P., Boyle, D.P. and Bäse, F. 2005. Comparison of different efficiency criteria for hydrological model assessment. *Advances in Geosciences*, 5: 89-97.
17. Lewis, M.R. 1937. The rate of infiltration of water in irrigation practice. *Eos Trans AGU* 18:361–368. Loaiciga, H.A. and A. Huang. 2007. Pounding Analysis with Green-Ampt Infiltration. *Journal of Hydrologic Engineering*, 12: 109-112.
18. Muneeraa, A.S., Naba Sayelba, K. and Hatem Kamalca, A. 2020. A comparative study to assess the suitable models for predicting the infiltration rate in an arid region. *Iraqi Journal of Civil Engineering* (2020) 014–001. Available online at <https://www.iasj.net/>
19. Neshat, A. and Parehkar, M. 2007. The comparison of methods for determining the vertical infiltration rate. *Journal of Agriculture and Natural Resources Sciences*. 14(3): 186-195.
20. Turner, E.R. 2006. Comparison of infiltration equations and their field validation with rainfall simulation. MSc. Thesis, University of Maryland, USA. 202 pp.
21. Zi-cheng, Z., He, S.Q. and Li, T.x. 2011. Fractal dimensions of soil structure and soil anti-erodibility under different land use patterns. *African Journal of Agricultural Research*. 6 (24): 5496-5504.

اثرات بالقوه قیمت گذاری و سهمیه بندی آب بر بهره‌وری آب و مصرف نهاده‌های کشاورزی در استان کهگیلویه بویراحمد

ارسلان بی‌نیاز، محمود احمدپور برازجانی^۱، سامان ضیایی و حمید محمدی

مربی اقتصاد کشاورزی دانشگاه پیام نور.

arsalan.biniaz@gmail.com

دانشیار گروه اقتصاد کشاورزی دانشگاه زابل.

mahmoud_ahmadpour@yahoo.com

دانشیار گروه اقتصاد کشاورزی دانشگاه زابل.

samanziaee@gmail.com

استادیار گروه اقتصاد کشاورزی دانشگاه زابل.

hamidmohammadi1378@gmail.com

دریافت: آبان ۱۳۹۹ و پذیرش: تیر ۱۴۰۰

چکیده

آب یک نهاده کمیاب است که در فعالیتهای کشاورزی به ویژه در مناطق خشک اهمیت فراوانی دارد؛ بنابراین، استفاده بهینه از منابع محدود آب به ویژه در کشاورزی از اهمیت بسزایی برخوردار است. به همین منظور، پژوهشی با هدف بررسی روش‌های قیمت گذاری و سهمیه بندی آب (کاهش حجم آب در دسترس) در زیربخش‌های زراعت و باغبانی استان کهگیلویه و بویراحمد با استفاده از رهیافت برنامه‌ریزی ریاضی مثبت (PMP) انجام شد. در این پژوهش الگوی کشت موجود در منطقه و سیاست‌های قیمت گذاری و سهمیه بندی آب در قالب هفت سناریو شامل: (بدون سهمیه بندی آب و بدون قیمت گذاری آب)، (بدون سهمیه بندی + ۱۰٪ افزایش قیمت)، (بدون سهمیه بندی + ۲۰٪ افزایش قیمت)، (بدون سهمیه بندی + ۳۰٪ افزایش قیمت)، (۱۰٪ کاهش سهمیه و بدون قیمت گذاری)، (۲۰٪ کاهش سهمیه و بدون قیمت گذاری)، (۳۰٪ کاهش سهمیه و بدون قیمت گذاری) بررسی شد. نتایج نشان داد که سطح زیر کشت گندم آبی از ۲۸۵۳۰ هکتار در الگوی پایه به ۲۳۰۰۴ هکتار در سناریو کاهش ۳۰٪ سهمیه آب کاهش یافت. همچنین میزان سطح زیر کشت جو آبی در سطوح کاهش ۱۰٪، ۲۰٪ و ۳۰٪ سهمیه، به ترتیب ۱٪، ۵٪ و ۱۳٪ کاهش یافت. سطح زیر کشت ذرت دانه‌ای در الگوی پایه ۱۹۲۱ هکتار بود که در سناریوهای ۱۰٪، ۲۰٪ و ۳۰٪ سهمیه بندی به ترتیب ۶/۲٪، ۷٪ و ۲۲/۴٪ کاهش یافت. با این وجود سطح زیر کشت گندم دیم با کاهش سهمیه آب، به میزان یک درصد افزایش یافت. نتایج مربوط به تأثیر سناریوهای مختلف بر مصرف نهاده‌ها نشان داد که در سناریو (۱۰ درصد کاهش سهمیه آب) میزان مصرف کود، هزینه نیروی کار نسبت به سناریو فعلی تغییری نداشت. نتایج در بخش زراعت نشان داد که تمام سناریوهای مربوط به افزایش قیمت آب و یا کاهش سهمیه آب، سطح زیر کشت و مصرف آب محصولات آب‌بر کاهش و سطح زیر کشت محصولات دیم افزایش یافت. به علاوه نتایج گویای کاهش بازده ناخالص فعالیتهای کشاورزی می‌باشد که خود منجر به کاهش سطح فعالیتهای کشاورزی در منطقه می‌شود و این موضوع تبعات اجتماعی و اقتصادی بر شرایط کشاورزی منطقه دارد. با تشدید محدودیت‌های آبی (افزایش قیمت و کاهش سهمیه) مقدار آب مصرفی برای باغات استان نیز کاهش یافت. به طور کلی به نظر می‌رسد که افزایش قیمت آب، کاهش سهمیه آب و نیز ترکیب این دو سناریو می‌تواند سبب کاهش اتلاف آب در فعالیتهای کشاورزی شود.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌ریزی ریاضی مثبت، مدیریت منابع آب، الگوی کشت

مقدمه

آب به عنوان مایه حیات و منشأ زندگی، آثار قابل توجهی بر کیفیت زندگی بشر دارد. به نحوی که کمبود آن به عنوان یکی از مهمترین عوامل مختل‌کننده توسعه در بسیاری از کشورها مطرح بوده و چالش بزرگی را در بخش کشاورزی ایجاد کرده است (چاپلین، ۲۰۰۱). بیشترین مصرف آب در بخش کشاورزی و آبیاری مزارع است که بیش از ۷۰ درصد و در برخی مناطق تا ۹۰ درصد از کل آب شیرین جهان را در بر می‌گیرد (پیمنتال و همکاران، ۲۰۰۴؛ روزگرات و همکاران، ۲۰۰۹). همانند هر کالای دیگری، قیمت‌گذاری مناسب آب نقش مؤثر و تعیین‌کننده‌ای در مدیریت بهتر و در نهایت افزایش بهره‌وری آب دارد (جوهانسون، ۲۰۰۲). این امر سبب می‌شود تا مصرف‌کنندگان آن را به عنوان یک نهاده کم‌ارزش و رایگان تلقی ننموده و برای حفاظت و صرفه‌جویی آن تلاش کنند. از این رو ممکن است تعیین سناریوهای مختلف برای تحلیل بهای آب در یک چارچوب اقتصادی از پیش تعیین شده مورد توجه قرار گیرد. از جمله روش‌های مدیریت تقاضای آب می‌توان به قیمت‌گذاری آب، مکانیسم بازار، آموزش و باران‌دهی و سهمیه‌بندی اشاره کرد (ساونجی و واندرزانگ، ۲۰۰۲).

متوسط بارندگی کشور در دراز مدت معادل ۲۲۷ میلی‌متر گزارش شده است که از میانگین جهانی (۳۵۰ میلی‌متر) پایین‌تر است. بررسی میانگین سال آبی در سال ۱۳۹۹-۱۴۰۰ نشان داد که حجم بارش‌ها در مقایسه با سال آبی قبل تقریباً به نصف کاهش یافته است (وزارت نیرو، ۱۴۰۰)؛ بنابراین گزارشات و براساس پیش‌بینی‌های سازمان ملل تا سال ۲۰۲۵ ایران به جمع کشورهای شدیداً کم‌آب اضافه می‌شود. از آنجایی که درصد قابل توجهی از استان‌های کشور متکی بر آب‌های زیرزمینی هستند، برداشت بی‌رویه از این منابع منجر به بحرانی شدن شرایط استفاده از آب در بخش کشاورزی شده است (باقری و همکاران، ۱۳۹۲). اگرچه استان کهگیلویه و بویراحمد به عنوان یکی از استان‌های پربارش کشور مطرح است با این وجود علاوه

بر کاهش سطوح بارش در سالیان اخیر، استفاده بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی می‌تواند برای این قبیل استان‌ها نیز مشکلات مختلفی را در پی داشته باشد. طی سالیان گذشته مطالعات زیادی در زمینه مدیریت منابع آب و ارزش‌گذاری آب انجام شده و هر کدام تلاش کرده‌اند تا روش مناسبی را برای مدیریت صحیح استفاده از منابع آب بدست آورند. در یک پژوهش با هدف بررسی تأثیر قیمت‌گذاری آب آبیاری بر حفظ و بهره‌برداری منابع آب زیرزمینی و شرایط اقتصادی بخش کشاورزی در دشت همدان- بهار با بهره‌گیری از مدل برنامه‌ریزی پویا توسط بلالی و همکاران (۱۳۸۹) نتایج نشان داد که با افزایش قیمت آب آبیاری در قالب سیاست‌های کشاورزی علی‌رغم کاهش نسبی منافع اقتصادی در بخش کشاورزی بیلان منفی آب آبخوان تعدیل یافته است. همچنین نتایج آنها نشان داد که با افزایش قیمت آب تمایل کشاورزان به کاشت محصولات آبی کمتر می‌شود.

حسنوند و همکاران (۱۳۹۲) با بررسی تأثیر نوسانات قیمت و مقدار آب در استان مازندران با استفاده از روش برنامه‌ریزی ریاضی مثبت گزارش کردند که تنها با افزایش قابل توجه قیمت آب می‌توان واکنش‌هایی از سوی بهره‌برداران بخش کشاورزی را مشاهده کرد. آنها همچنین نشان دادند که با افزایش شدید قیمت آب، کشاورزان بیشتر به کشت محصولاتی می‌پردازند که نیاز آبی کمتری و ارزش تولیدی بالاتر دارند. نتایج آنها همچنین نشان داد که افزایش قیمت آب سبب تغییر الگوی کشت از محصولات آبی به محصولات دیم نیز می‌شود با این حال صرفه‌جویی زیادی در مصرف آب صورت نمی‌گیرد.

تحلیل اثرات مختلف کاربرد سیاست‌های قیمت‌گذاری آب و همچنین سیاست‌های جایگزین آن در دشت مشهد با استفاده از روش PMP توسط بخشی و همکاران (۱۳۹۰) انجام شد. سناریوهای شبیه‌سازی شده در پژوهش آنها شامل افزایش قیمت آب، مالیات بر محصول و مالیات بر نهاده‌ها بود. آنها گزارش کردند که سیاست قیمت‌گذاری آب و مالیات بر محصول در مقایسه با سیاست

مالیات بر نهاده مکمل مؤثرتر هستند. همچنین نتایج آنها نشان داد که سیاست مالیات بر نهاده می‌تواند به عنوان جایگزین قیمت‌گذاری استفاده شود.

در پژوهشی با عنوان شبیه‌سازی واکنش کشاورزان به سیاست قیمت‌گذاری و سهمیه‌بندی آب آبیاری در شهرستان زابل، پرهیزکاری و همکاران (۱۳۹۳) گزارش کردند که اعمال سیاست قیمت‌گذاری و سهمیه‌بندی آب آبیاری در شهرستان زابل منجر به کاهش مجموع سطح زیرکشت محصولات زراعی و کاهش آب مصرفی می‌شود. همچنین به سبب صرفه‌جویی و حفظ ذخایر آبی، آنها سهمیه‌بندی آب آبیاری را به عنوان یک راهکار مناسب برای پایداری منابع آب شهرستان پیشنهاد دادند.

بررسی اثرات قیمت‌گذاری اقتصادی آب آبیاری بر الگوی کشت در دشت دهگلان با استفاده از مدل PMP و در قالب ۱۰ سناریو توسط وزیری و همکاران (۱۳۹۵) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آنها نشان داد که با اعمال سیاست قیمت آب و افزایش قیمت آن تا مرز ارزش اقتصادی، منجر به کاهش مصرف آب و سطح زیرکشت تمامی محصولات به ویژه کاهش سطح زیرکشت محصولاتی می‌شود که بازده ناخالص آنها بیشترین کاهش را در قبال این سیاست داشته‌اند.

باقری و همکاران (۱۳۹۶) در پژوهشی با هدف بررسی تأثیر سیاست قیمت‌گذاری آب بر متغیرهای اقتصادی و هیدرولوژیکی آبخوان دشت مهبیار شمالی با استفاده از مدل برنامه‌ریزی ریاضی مثبت گزارش کردند که قیمت‌گذاری آب بر تغییر الگوی کشت برای محدودتر شدن درصد کشت محصولات با آبیاری غرقابی و نیز افزایش کشت دیم منجر می‌شود. با این حال، آنها نشان دادند که به دلیل تأثیر منفی افزایش قیمت آب بر منافع اقتصادی در بخش کشاورزی منطقه سیاست قیمت‌گذاری آب باید به نحوی اعمال شود که علاوه بر بهبود پایداری کشاورزی و حفظ منابع حیاتی آب، منافع اقتصادی و اجتماعی بخش نیز دچار نوسان زیادی نشود.

بررسی تأثیر قیمت‌گذاری آب بر پایداری منابع در شهرستان قروه با استفاده از مدل برنامه‌ریزی ریاضی مثبت توسط اسعدی و همکاران (۲۰۱۹) انجام شد. نتایج آنها نشان داد که استفاده از سیاست قیمت‌گذاری منجر به تغییر کاربری اراضی و الگوی کشت می‌شود. افزایش محدودیت منابع آب می‌تواند منجر به بازده اقتصادی آب شود که نشان دهنده افزایش ارزش منابع آب است، علاوه بر این به تولید کنندگان بخش کشاورزی برای اختصاص آب به محصولات با ارزش اقتصادی بالاتر در شرایط کمبود آب هشدار می‌دهد. علاوه بر این، یافته‌های آنها نشان داد که در شرایطی که قیمت آب آبیاری پایین است به دلیل کشش پایین تقاضای آب در بخش کشاورزی، تدوین ابزارهای اقتصادی از قبیل افزایش قیمت آب به تنهایی برای دستیابی به مدیریت پایدار منابع آب مناسب نیست.

آیدام^۲ (۲۰۱۵) برای بررسی تأثیر سیاست قیمت‌گذاری آب بر تقاضای آب از یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی به عنوان یک ابزار چند تحلیل مؤثر استفاده کردند. نتایج نشان داد که سیاست قیمت‌گذاری آب بر تقاضای آب در غنا اثر منفی می‌گذارد، با این حال این تأثیر تنها در صورتی اتفاق می‌افتد که قیمت آب به صورت معنی‌داری افزایش یابد. نتایج او نشان داد که سیاست قیمت‌گذاری آب بر تقاضای آب، بر الگوی محصول و تغییر درآمد مؤثر است. گالگو و آیالا^۳ (۲۰۱۲)، به منظور تعیین قیمت آب آبیاری در کشور اسپانیا از رهیافت PMP و تحلیل سلسله مراتبی استفاده کردند. آنها مدل سازی الگوی کشاورزی منطقه با استفاده از مدل اولیه PMP تأثیر سیاست‌های مختلف قیمت‌گذاری آب را بر الگوی کشت و مصرف نهاده‌ها مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج مدل PMP با توجه به سه معیار اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی قیمتی که هر سه معیار یاد شده را در حد بالایی پوشش دهد، با استفاده از رهیافت سلسله مراتبی تعیین کرد. در پایان پژوهشگر قیمت بدست آمده در هر

^۳ Gallego-Ayala

^۲ Aidam

مواد و روش‌ها

در این پژوهش جهت تحلیل شبیه‌سازی سیاست‌های اعمالی در مصرف آب کشاورزی از روش PMP استفاده شده است. در این روش برخی ضرایب مدل تعدیل یافته‌اند و این امر کمک می‌کند تا مدل با دقت بالاتری حالت پایه مفروض را بازسازی و شبیه‌سازی کنند. برنامه‌ریزی ریاضی مثبت (PMP) یک روش تحلیل تجربی است که از تمام اطلاعات موجود، فارغ از اینکه به چه میزان کمیاب هستند استفاده می‌کند. در روش PMP فرض بر این است که ترکیب فعالیت مشاهده شده در مزرعه انعکاس دهنده انتخاب بهینه مورد نظر کشاورز است. در این روش سعی شده تا با استفاده از یک روش تابع هدف غیرخطی سطوح مشاهده شده فعالیت‌ها بازتولید شود. این روش در سه مرحله و به شرح زیر انجام می‌شود. در مرحله اول با اضافه کردن محدودیت‌های کالیبراسیون به مجموعه محدودیت منابع برآورد الگوی بهینه کشت ساده با استفاده از برنامه‌ریزی خطی صورت می‌گیرد.

$$Max: Z = P'X - C'X$$

s.t:

$$AX \leq b \quad [\lambda]$$

$$X \leq X_0 + \varepsilon \quad [\rho]$$

$$X \geq 0$$

(۱)

که در آن:

Z به عنوان ارزش تابع هدف، P: بردار (n×1) قیمت‌های محصول، X: بردار (n×1) سطوح فعالیت‌های تولیدی، C: بردار (n×1) هزینه هر واحد از فعالیت، A: ماتریس (m×n) مربوط به ضرایب فنی، b: بردار (m×1) مقادیر منابع در دسترس و λ به عنوان بردار (m×1) متغیرهای دوگان مربوط به محدودیت‌های منابع است.

با فرض وجود یک مجموعه داده‌های مناسب از مزرعه یا میانگین‌های بخشی (منطقه‌ای)، به‌طور کلی می‌توان مطرح نمود که جواب مسأله (۱) مقادیر مشاهده شده از نهاده‌های تخصیص یافته به فعالیت‌های تولید و همچنین

روش قیمت‌گذاری آب را به عنوان قیمت بهینه در آن روش معرفی کرد.

آلبیاک^۴ و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهشی با عنوان چالش قیمت‌گذاری آب آبیاری گزارش کردند که قیمت-گذاری آب منجر به بازیابی هزینه‌ها می‌شود و قیمت‌گذاری آب در یک بازه زمانی طولانی مدت مفید است. با این وجود در کوتاه مدت برای تخصیص آب آبیاری مفید نمی‌باشد. آنها گزارش کردند که سایر سیاست‌های فروش آب و همکاری نهادی برای تخصیص مجدد آب کاربردی‌تر می‌باشد. آنها گزارش کردند که اجرای سیاست‌های مناسب بر آب می‌تواند منجر به بهبود مصرف و حفظ ذخایر آب شود.

با توجه به اهمیت موضوع و از آنجایی که اولویت اقتصادی و معیشتی استان کهگیلویه و بویراحمد مربوط به بخش کشاورزی است، هدف پژوهش حاضر بررسی تأثیر قیمت‌گذاری و سهمیه‌بندی آب بر تغییر الگوی کشت و استفاده از نهاده‌ها در استان یاد شده پس از اعمال سیاست‌های افزایش قیمت و کاهش میزان دسترسی کشاورزان به آب است. به این منظور مقدار تغییر در تولید و سود ناخالص محصولات زراعی و باغی در اثر سیاست-های قیمت‌گذاری و سهمیه‌بندی آب بررسی شده است. برای نیل به این هدف پرسش‌های زیر در پژوهش حاضر در نظر گرفته شده است:

- ۱- آیا اصلاح قیمت آب سبب پایداری و استفاده کارآمد از منابع آب در بخش کشاورزی استان کهگیلویه و بویراحمد می‌شود؟
- ۲- آیا اصلاح قیمت آب بر مقدار تولید محصولات زراعی و باغی مؤثر است؟
- ۳- آیا اصلاح قیمت آب بر مقدار مصرف نهاده‌های مصرف شده در زراعت و باغبانی اثرگذار است؟

که در آن:

$d' = d(n*1)$ از پارامترهای جزء خطی تابع هزینه، $=Q$ ماتریس مثبت، نیمه معین و متقارن با ابعاد $(n*n)$ از پارامترهای جزء درجه دوم تابع هزینه (هاویت، ۱۹۹۵). (رابطه ۳)

$$MC^v = VC^v(x)'_{x_0} = d + Qx_0 = c + p \quad (3)$$

$VC^v(x)$ بردار گرادیان $(1*n)$ از مشتقات مرتبه نخست $C^v(x)$ برای $x=x_0$ می باشد. در گام سوم تابع هزینه غیرخطی برآورد شده در تابع هدف مسأله مورد استفاده قرار گرفته است. در گام سوم تابع هدف غیرخطی یاد شده در یک مسئله برنامه ریزی غیرخطی شبیه مسئله اولیه به استثنای محدودیت‌های کالیبراسیون، ولی همراه با سایر محدودیت‌های سیستمی بکار می‌رود. در گام سوم تابع هدف غیرخطی را با استفاده از تابع هزینه غیرخطی مرحله دوم بدست آورده و در نهایت سیاست‌های مختلف اعمال می‌شوند. از جمله محدودیت‌های مدل می‌توان به سطح زیرکشت، محدودیت آب، محدودیت نیروی کار فصلی، محدودیت سرمایه‌گذاری، محدودیت کود، محدودیت ماشین آلات اشاره نمود.

$$\begin{aligned} \text{Max} Z &= p'x - d'x - 1/2 x' Qx \\ \text{St: } Ax &\leq b \dots [\lambda] \\ x &\geq 0 \end{aligned} \quad (4)$$

بردار $d'^{1/8}$ و ماتریس Q پارامترهای کالیبره شده تابع هدف غیرخطی می‌باشند. اکنون مدل غیرخطی کالیبره شده بالا بدرستی سطوح فعالیت‌های مشاهده شده در وضعیت پایه و مقادیر دوگان محدودیت‌های منابع را باز تولید می‌کند و برای شبیه‌سازی تغییرات در پارامترهای مورد نظر آماده است (هاویت، ۱۹۹۵). الگوی غیرخطی کالیبره شده سطوح فعالیت‌های مشاهده شده و مقادیر دوگان محدودیت‌های منابع را بازتولید می‌کند و نیز برای بررسی واکنش کشاورزان به اجرای سناریوهای مختلف آماده است.

جامعه آماری در پژوهش حاضر کشاورزان پنج روستا در استان کهگیلویه و بویراحمد است که به فعالیت

سطوح فعالیت‌های یاد شده در سال پایه را بدست نخواهد داد. در حقیقت در بیشتر مسائل از این نوع، تخصیصی بیش از آنچه که در واقعیت وجود دارد در جواب‌ها رخ می‌دهد. از این رو قبولاندن جواب‌های الگوهای یاد شده (که اساساً با مقادیر محصول مشاهده شده متفاوت هستند) به تصمیم‌گیرندگان سیاسی مشکل خواهد بود؛ بنابراین، سازندگان الگوهای کاربردی تلاش معنی‌داری را برای کالیبراسیون الگوهای برنامه‌ریزی ریاضی خطی به منظور باز تولید بهتر مقادیر سال پایه مشاهده شده (با متوسط آنها برای چند سال) به کار گرفته‌اند. با معرفی یک تابع هدف غیرخطی برحسب متغیرها به منظور الگو کردن صریح رفتار تولیدکنندگان جواب‌های داخلی برای فعالیت‌های تولیدی معین - مستقل از محدودیت‌ها بدست می‌آید و در نتیجه مقداری رهایی از مشکل تخصیص بیش از حد فراهم می‌کند. با وجود این، تجارب بدست آمده نشان می‌دهد که مشکل به طور کلی برطرف نمی‌شود (میستر و همکاران^۵، ۱۹۷۸). به علاوه حتی اگر در جواب بهینه همه فعالیت‌های تولیدی مشاهده شده غیر صفر باشند، انحرافات در سطوح بهینه از سطوح مشاهده شده هنوز رخ خواهد داد و کاربرد فنون کالیبراسیون برای الگوهایی که واکنش زارعین را شبیه‌سازی می‌کنند، مورد نیاز است. در گام نخست با اضافه کردن محدودیت‌های کالیبراسیون (که سطح فعالیت‌ها را به سطوح مشاهده شده دوره پایه مقید می‌کند) به مجموعه محدودیت‌های منابع یک الگوی برنامه‌ریزی خطی معمول، مقادیر دوگان مربوط به منابع و محدودیت‌های یادشده (p) که بیانگر قیمت سایه‌ای محصولات تولید شده است، محاسبه می‌شود.

در گام دوم اطلاعات دوگان بدست آمده در مرحله قبل برای کالیبره کردن یک تابع هدف غیرخطی استفاده می‌شود به گونه‌ای که سطوح فعالیت مشاهده شده در سال پایه توسط الگوی غیرخطی مذکور و بدون استفاده از محدودیت‌های کالیبراسیون باز تولید می‌شود. (رابطه ۲)

$$C^v(X) = d'X + \frac{x'Qx}{2} \quad (2)$$

آمدند. سناریوهای تعریف شده برای قیمت‌گذاری و سهمیه‌بندی حجم آب در قالب هفت سناریو در جدول یک ارائه شده است.

کشاورزی مشغول می‌باشند که از آب چاه (زیرزمینی) به عنوان آب آبیاری استفاده می‌کنند. در نهایت با استفاده از ۸۰ پرسشنامه در بخش زراعی و ۴۰ پرسشنامه در بخش باغی در سال زراعی ۱۳۹۸ اطلاعات مورد نظر به دست

جدول ۱ - سناریوهای مختلف تعریف شده برای قیمت‌گذاری و سهمیه‌بندی حجم آب در دسترس کشاورزی

سناریو	قیمت‌گذاری	سهمیه‌بندی
S1	بدون قیمت‌گذاری	بدون سهمیه‌بندی
S2	۱۰ درصد افزایش قیمت	بدون سهمیه‌بندی
S3	۲۰ درصد افزایش قیمت	بدون سهمیه‌بندی
S4	۳۰ درصد افزایش قیمت	بدون سهمیه‌بندی
S5	بدون قیمت‌گذاری	۱۰ درصد کاهش حجم آب در دسترس
S6	بدون قیمت‌گذاری	۲۰ درصد کاهش حجم آب در دسترس
S7	بدون قیمت‌گذاری	۳۰ درصد کاهش حجم آب در دسترس

مناسبی از وضعیت موجود به ما بدهد که نشان دهنده اعتبار مدل می‌باشد؛ بنابراین، این مدل برای شبیه‌سازی سیاست‌های اعمال شده مناسب می‌باشد.

سناریوهای سهمیه‌بندی آب در زراعت

تغییرات سطح زیرکشت در اثر اعمال سیاست سهمیه‌بندی با استفاده از مدل PMP در شکل (۱) ارائه شده است. با توجه به اطلاعات مندرج در شکل (۱) سطح زیر کشت محصولات با افزایش درصد سهمیه‌بندی (کاهش سهمیه آب) کاهش یافت. به نحوی که سطح زیر کشت گندم آبی از ۲۸۵۳۰ هکتار در الگوی پایه به ۲۳۰۰۴ هکتار در سناریو سهمیه‌بندی ۳۰ درصد رسید که معادل کاهش ۲۰ درصدی است. میزان سطح زیر کشت جو آبی در سطوح کاهش ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصدی سهمیه، به ترتیب ۱، ۵ و ۱۳ درصد کاهش یافت. سطح زیر کشت ذرت دانه‌ای در الگوی پایه ۱۹۲۱ هکتار بوده که در سناریوهای اعمال شده ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد سهمیه‌بندی به ترتیب به ۱۸۰۳ (۶/۲ درصد)، ۱۷۸۷ (۷ درصد) و ۱۴۹۰ (۲۲/۴ درصد) کاهش یافت. اطلاعات مربوط به تغییرات سطح زیرکشت هندوانه در شکل (۱) ارائه شده است. با توجه به نتایج به دست آمده سطح زیرکشت هندوانه در الگوی پایه ۹۸۴

با استفاده از روش PMP الگوی کشت منطقه (رفتار کشاورزان) شبیه‌سازی می‌شود. در مرحله بعد با اعمال سناریوهای مختلف قیمت‌گذاری شاخص‌های مختلف اقتصادی، محیط حاصل از تغییر الگوی کشت محاسبه می‌گردد. همچنین اطلاعات به دست آمده وارد نرم افزار اکسل و با استفاده از نرم افزار GAMS تجزیه و تحلیل اطلاعات انجام شده است.

نتایج و بحث

به منظور تحلیل سیاست‌های موثر بر بهره‌وری و مصرف نهاده‌های کشاورزی، افزایش قیمت و سهمیه‌بندی آب در قالب چند سناریو در زیربخش‌های زراعت و باغبانی مورد بررسی قرار گرفت.

وضعیت زراعت

پیش از اعمال سناریوهای مطرح شده در پژوهش حاضر، نتایج مدل PMP جهت مقایسه با سطح زیر کشت سال ۱۳۹۸ به عنوان سال پایه (الگوی فعلی) مورد بررسی قرار گرفت (داده‌های گزارش نشده). نتایج بررسی‌ها نشان داد که مدل PMP توانسته است بخوبی الگوی سال پایه را بازتولید کند و بر داده‌های سال مبنا تطبیق یابد. به این معنی که مدل مطرح شده می‌تواند اطلاعات درست و برآزش

هکتار بوده که در سناریوهای مختلف اعمال شده به ۸۷۰، ۷۱۳ و ۶۰۸ هکتار رسیده است. در الگوی کشت فعلی سطح زیرکشت هندوانه برابر ۸۹۴ هکتار بوده است با این وجود اعمال سیاست ۱۰ درصدی سهمیه‌بندی منجر به کاهش سطح زیرکشت به ۸۷۰ هکتار شد. همچنین اعمال سیاست سهمیه‌بندی ۲۰ و ۳۰ درصدی منجر به کاهش سطح زیرکشت هندوانه به ۷۱۳ و ۶۰۸ هکتار شد که معادل ۲۰/۳ و ۳۲ درصد کاهش در سطح زیرکشت هندوانه در استان است. همچنین نتایج مربوط به آب مصرفی محصولات زراعی در سناریوهای مختلف آزمایشی در شکل (۱) (ب) نشان داده شده است. مقدار آب مصرفی در مزارع تحت گندم آبی از ۵۸۶۰ مترمکعب در هکتار در الگوی کشت فعلی به ۴۱۰۰ مترمکعب در هکتار در سناریو S7 (۳۰ درصد کاهش سهمیه آب) کاهش یافت. با کاهش ۱۰ و ۲۰ درصدی سهمیه آب در اراضی تحت گندم آبی، میزان آب مصرف شده در هر هکتار از ۵۸۶۰ مترمکعب در هکتار به ترتیب به ۵۲۲۰ و ۵۰۱۰ مترمکعب در هر هکتار کاهش یافت. همچنین برای میزان مصرف آب در الگوی مصرف فعلی جو معادل ۵۹۱۲ مترمکعب در هکتار به دست آمد. با این وجود کاهش سهمیه ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصدی آب آبیاری منجر به کاهش مصرف آب به سطوح ۵۳۰۵، ۴۸۱۴ و ۴۱۳۰ مترمکعب در هکتار شد. هندوانه به عنوان یک کشت پرمصرف از نظر آب مطرح است که در الگوی کشت فعلی میزان مصرف آب در این محصول معادل ۱۰۳۶۵ مترمکعب در هکتار است. میزان مصرف آب با کاهش ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصدی سهمیه آب آبیاری به ترتیب به ۹۳۲۰، ۷۶۸۰ و ۵۲۱۰ مترمکعب در هکتار رسیده است؛ که در سطوح کاهش ۳۰ درصدی سهمیه، مصرف آب کاهشی معادل ۵۰ درصد را نشان می‌دهد.

سیاست قیمت‌گذاری آب

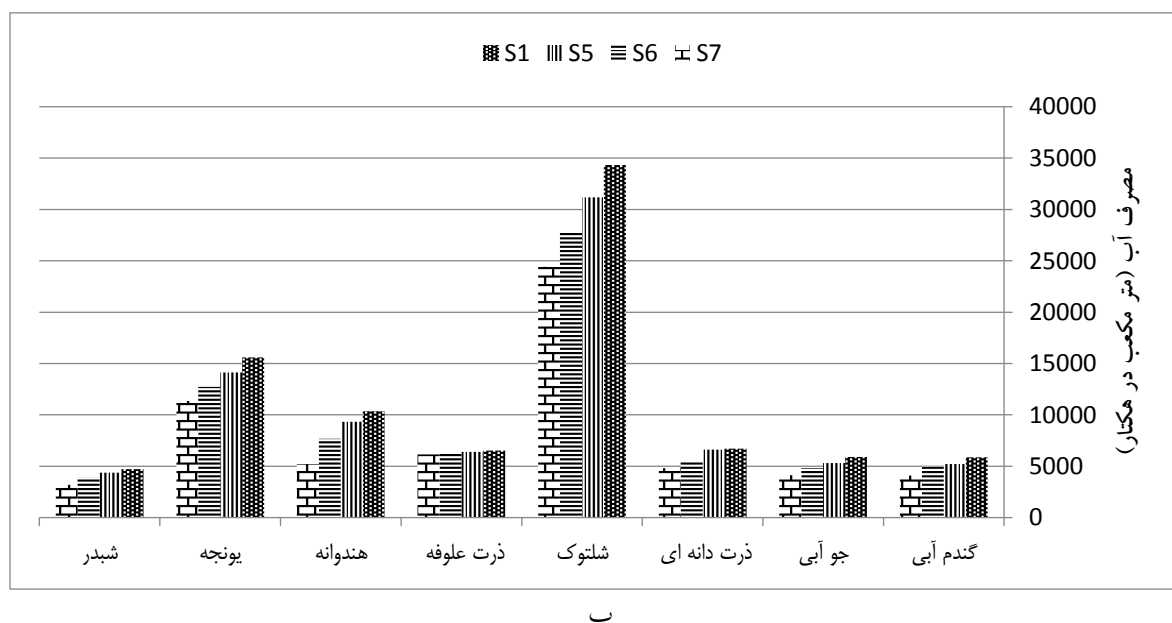
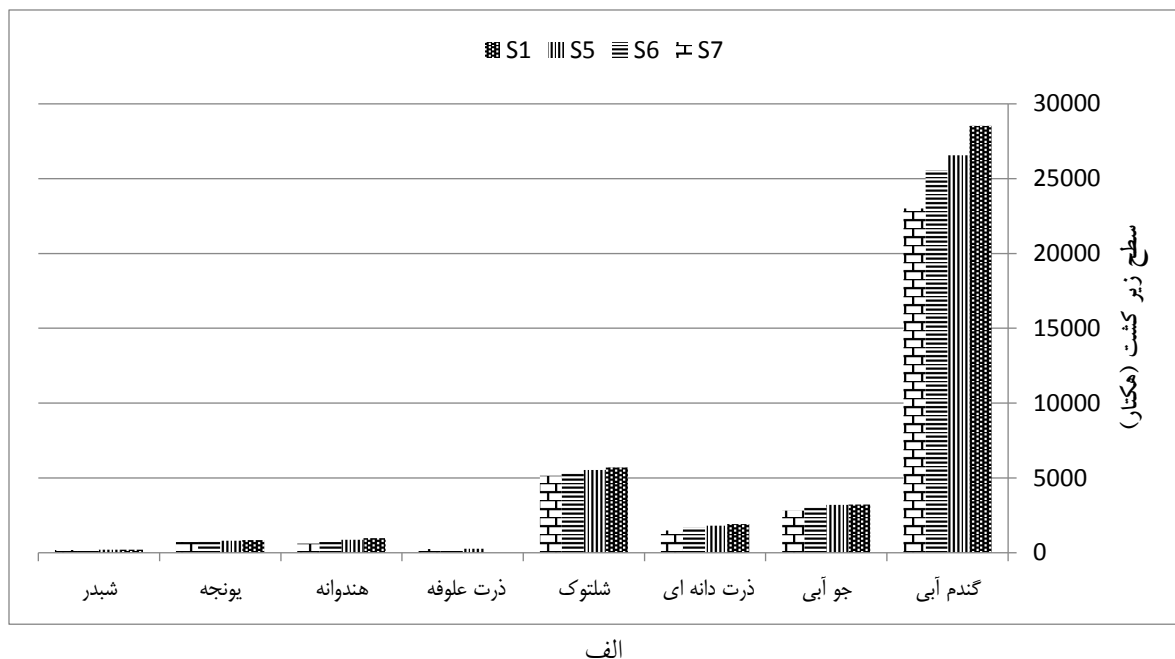
تغییرات سطح زیرکشت و میزان آب مصرفی (مترمکعب در هکتار) در سیاست اعمال شده قیمت‌گذاری در مدل PMP در شکل ۲، ارایه شده است. نتایج نشان می‌دهد که میزان سطح زیر کشت گندم آبی در الگوی فعلی معادل

۲۸۵۳۰ هکتار بوده که با افزایش قیمت به مقدار ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد به ترتیب به ۲۸۱۱۰ (۱/۵- درصد)، ۲۶۸۰۶ (۶- درصد) و ۲۵۲۳۰ (۱۲- درصد) هکتار رسیده است. همچنین سطح زیر کشت جو آبی در الگوی پایه ۳۲۱۴ محاسبه شد که با افزایش ۱۰ درصدی قیمت آب به ۳۰۸۷ هکتار رسید که کاهشی معادل ۴/۳ درصد را نشان می‌دهد. همچنین با افزایش ۲۰ و ۳۰ درصدی قیمت آب، سطح زیر کشت به ترتیب به ۳۰۰۵ و ۲۹۱۱ هکتار رسید که معادل ۶/۶ و ۹/۵ درصد کاهش در اراضی تحت کشت جو آبی را نشان می‌دهد. با این وجود با افزایش ۱۰ درصدی قیمت آب سطح زیرکشت گندم دیم به ۰/۲ درصد افزایش داشت و در سطوح افزایشی ۲۰ و ۳۰ درصد میزان تغییرات سطح زیر کشت این محصول به ترتیب معادل ۱/۲ و ۱/۸ درصد افزایش داشت. به نظر می‌رسد با افزایش قیمت آب آبیاری، کشاورزان بر استفاده از محصولات دیم رغبت بیشتری نشان می‌دهند زیرا در این شرایط این محصولات بازده اقتصادی بیشتری نسبت به محصولات آبی دارند.

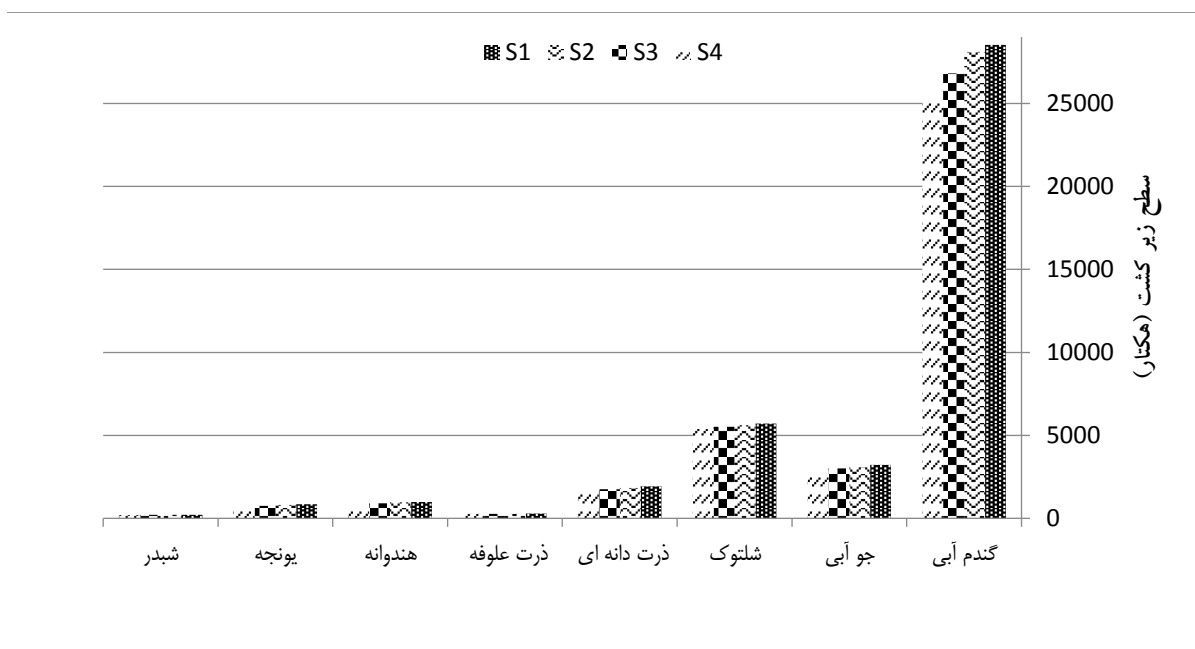
سطح زیر کشت گندم دیم در الگوی فعلی ۷۸۴۵۰ هکتار بدست آمد با این وجود با افزایش ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصدی قیمت آب سطح زیر کشت گندم دیم به ترتیب معادل ۷۸۴۷۳، ۷۹۳۸۰، ۷۹۸۵۰ هکتار برآورد شد که با افزایشی معادل ۰/۲، ۱/۲ و ۱/۸ درصد همراه بود. سطح زیرکشت ذرت دانه‌ای در الگوی پایه معادل ۱۹۲۱ هکتار است که با افزایش ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصدی قیمت آب به ۱۸۲۴، ۱۷۵۶ و ۱۶۳۰ هکتار رسیده است که به ترتیب معادل ۵، ۸/۶ و ۱۵/۲ درصد کاهش سطح زیر کشت است. سطح زیرکشت هندوانه در الگوی پایه ۹۸۴ هکتار برآورد شده است با افزایش قیمت آب به میزان ۱۰ درصد سطح زیرکشت هندوانه به ۹۶۷ هکتار کاهش یافت که معادل ۱/۷ درصد کاهش است. همچنین با افزایش ۲۰ و ۳۰ درصدی قیمت آب سطح زیرکشت به ۹۰۳ و ۸۱۲ هکتار رسید که به ترتیب معادل ۸/۳ و ۱۷/۵ درصد کاهش را نشان می‌دهد. با توجه به اطلاعات بدست آمده و مندرج در شکل (۲) سطح زیر کشت شلتوک در الگوی پایه ۵۷۰۰

قیمت آب منجر به کاهش سطح زیرکشت به ۸۰۶ هکتار شده است که معادل ۴/۴ درصدی است. همچنین افزایش ۲۰ و ۳۰ درصدی قیمت آب منجر به کاهش سطح زیر کشت به ۷۴۶ و ۷۰۲ هکتار شد که معادل ۱۱/۵ و ۱۶/۷ درصد کاهش است.

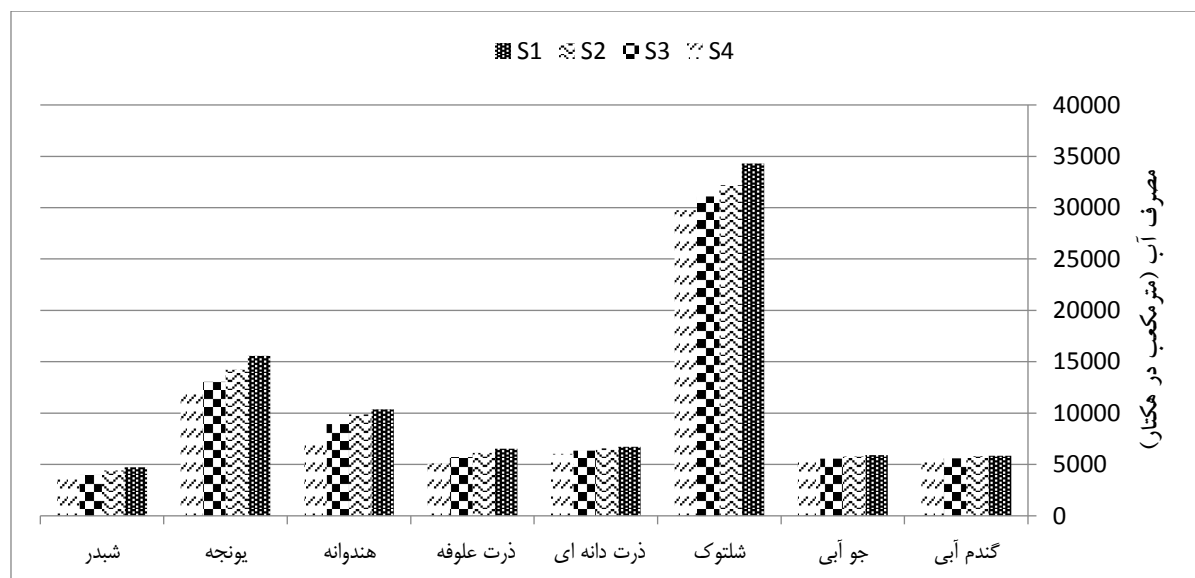
هکتار است. با افزایش ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصدی میزان سطح زیرکشت شلتوک در استان کهگیلویه و بویراحمد به ترتیب ۵۶۱۰، ۵۵۱۵ و ۵۳۹۰ هکتار برآورد شد که به ترتیب کاهش ۱/۶، ۳/۳ و ۵/۵ درصدی را نشان می‌دهد. در سناریوی S1 (الگوی فعلی سطح زیرکشت) برای گیاه یونجه معادل ۸۴۳ هکتار برآورد شده است با این وجود با افزایش ۱۰ درصدی



شکل ۱- (الف) تغییرات سطح زیرکشت (هکتار) و (ب) میزان آب مصرفی (متر مکعب در هکتار) در سناریوهای مختلف سهمیه‌بندی با استفاده مدل PMP



الف



ب

شکل ۲- (الف) تغییرات سطح زیر کشت (هکتار) و (ب) میزان آب مصرفی (مترمکعب در هکتار) در سناریوهای مختلف قیمت گذاری با استفاده مدل PMP

قیمت آب به مقدار ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد، این الگو به ترتیب به مقادیر ۵۷۸۰، ۵۵۶۰ و ۵۳۹۵ مترمکعب در هکتار کاهش یافت که نشان دهنده کاهش ۲/۳، ۶/۰ و ۸/۸ درصدی میزان مصرف آب در الگوهای به کار گرفته شده است. مصرف آب آبیاری برای محصول هندوانه در الگوی مصرف فعلی معادل ۱۰۳۶۵ مترمکعب در هکتار برآورد شده است. با این وجود افزایش قیمت آب به میزان

شکل (۲) (ب) میزان مصرف آب در مزارع مختلف تحت سناریوهای مختلف و الگوی مصرف فعلی را نشان می دهد. در سناریوهای با افزایش ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد قیمت آب، آب مصرفی در مزارع گندم آبی به ترتیب معادل ۵۸۱۲، ۵۶۱۰ و ۵۴۲۵ مترمکعب در هکتار محاسبه شد. همچنین میزان مصرف آب در الگوی مصرف فعلی جو آبی ۵۹۱۲ مترمکعب در هر هکتار برآورد شد که با افزایش

۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد منجر به کاهش آب مصرفی به ۹۸۷۰، ۸۹۳۰ و ۷۴۲۵ مترمکعب در هکتار شد؛ که نشان دهنده کاهش ۴/۸، ۱۳/۸ و ۲۸/۴ درصد مصرف آب در این محصول می‌شود. به نظر می‌رسد از آنجایی که مصرف آب در محصول هندوانه زمینی بالا است، با افزایش ۳۰ درصدی قیمت آب آبیاری می‌توان کاهش آب مصرفی را برآورد نمود. از آنجایی که در الگوی کشت فعلی (کشت سالانه ۹۸۴ هکتار) مصرف آب در این اراضی ۱۰۳۶۵ مترمکعب به ازای هر هکتار است که با کاهش سهمیه آب این مزارع کشت هندوانه نیز کاهش یافت. برای سایر محصولات کشاورزی مطرح شده در پژوهش حاضر شامل ذرت دانه‌ای و علوفه‌ای، یونجه، شبدر و شلتوک نیز با افزایش قیمت آب آبیاری میزان مصرف آب در این کشت‌ها کاهش یافته است. به نظر می‌رسد با افزایش قیمت آب می‌توان در این بخش سیاست صرفه‌جویی را اعمال نمود. چرا که برای کشاورزان اتلاف آب و استفاده از آب مازاد نیاز از نظر اقتصادی چندان مقرون به صرفه نیست.

مصرف نهاده‌ها

جدول (۲) مقدار مصرف نهاده‌ها ی کود (کیلوگرم در هکتار) و نیروی کار (نفر- روز) در کشت گندم، جو، ذرت، هندوانه و یونجه را در سناریوهای مختلف نشان می‌دهد. با توجه به اطلاعات مندرج جدول (۲) در سناریوهای سهمیه‌بندی (کاهش ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصدی مقدار آب در دسترس) گندم آبی نشان داد که در الگوی فعلی میزان مصرف کود در کشت گندم آبی معادل ۵۰۰ کیلوگرم در هر هکتار برای هر فصل برآورد شده است. با توجه به این امر در سناریو S5 (۱۰ درصد کاهش سهمیه) میزان مصرف کود و نیروی کار نسبت به سناریو فعلی تغییری نداشته است، و فقط در سناریوهای S6، S7 سهمیه بندی آب (کاهش حجم آب در دسترس) سطح نیروی کار از ۱۲ روزنفر به ۱۱ روز نفر کاهش پیدا کرده است. در سناریو های افزایش قیمت آب مقدار تغییرات کود در (سناریو S4 با ۳۰ درصد افزایش قیمت آب) از ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار در سال به ۴۹۰ کیلوگرم در هکتار در

سال کاهش پیدا کرده که نشان دهنده کاهش دو درصدی کود استفاده شده است و سطح نیروی کار بدون تغییر باقی مانده است.

در ذرت دانه‌ای مقدار کود مصرفی در الگوی فعلی معادل ۹۰۰ کیلوگرم در هکتار برآورد شده است که با توجه به اعمال سیاست‌های سهمیه‌بندی این مقدار به ۸۸۰ کیلوگرم در هکتار رسید که نشان دهنده کاهش ۲/۲۲ درصدی در مقدار مصرف کود است. با افزایش ۳۰ درصدی قیمت آب (سناریو S4) مصرف کود در ذرت بدون تغییر باقی مانده است، در الگوی فعلی کشت ذرت تعداد کارگر مورد نیاز برای هر هکتار هشت نفر برآورد شده است که با کاهش ۳۰ درصدی سهمیه آب نسبت به الگوی فعلی منجر به کاهش ۱۲/۵ درصدی نیروی کار می‌شود؛ با این وجود افزایش قیمت آب تأثیری بر نیروی کار نداشت. میزان مصرف کود در الگوی فعلی کشت جو معادل ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار برای هر فصل زراعی برآورد شده است با توجه به اطلاعات به دست آمده در سناریو S7 (کاهش ۳۰ درصدی سهمیه آب) میزان مصرف کود در هر هکتار به ۱۹۰ کیلوگرم در هکتار کاهش پیدا کرد که نشان دهنده کاهش پنج درصدی در مقایسه با الگوی فعلی است. همچنین با افزایش ۳۰ درصدی قیمت آب (سناریو S4) کاهش ۲/۵ درصدی در مصرف این نهاده را نشان می‌دهد. در الگوی فعلی مقدار مصرف نهاده کود در هندوانه ۶۵۰ کیلوگرم به ازای هر هکتار به دست آمد. با این وجود کاهش ۳۰ درصدی سهمیه آب منجر به کاهش چهار درصدی در مصرف این نهاده شد. با این وجود افزایش ۳۰ درصدی قیمت آب منجر به کاهش یک درصدی مصرف کود در هر هکتار از اراضی تحت کاشت هندوانه می‌شود. به ازای ۳۰ درصد کاهش سهمیه آب در دسترس مقدار مصرف کود در کشت یونجه نسبت به الگوی فعلی کشت کاهش سه درصدی را نشان می‌دهد. همچنین با افزایش ۳۰ درصدی قیمت آب میزان مصرف کود ۰/۶ درصد کاهش یافت. هزینه کارگر در الگوی فعلی برای هر هکتار گندم آبی معادل ۱۲ نفر- روز در هر دوره زراعی برآورد شد. با توجه

به تعریف سناریوهای فعلی با کاهش ۳۰ درصدی سهمیه آب در دسترس نسبت به الگوی فعلی ۸/۴ درصد کاهش یافت. همچنین با افزایش ۳۰ درصدی قیمت آب تغییری در نیروی کار به ۱۱ نفر روز کاهش پیدا کرد.

جدول ۲- تغییرات مصرف نهاده‌های کود (کیلوگرم در هکتار) و نیروی کار (نفر-روز) در سیاست اعمال شده سهمیه‌بندی و افزایش قیمت

در مدل PMP

سهمیه بندی			افزایش قیمت				
S7	S6	S5	S4	S3	S2	S1	
۵۰۰	۴۹۰	۵۰۰	۴۹۰	۴۹۵	۵۰۰	۵۰۰	گندم آبی
۱۱	۱۱	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	کود*
							کارگر
							ذرت دانه‌ای
۸۸۰	۸۸۵	۸۹۰	۸۹۵	۹۰۰	۹۰۰	۹۰۰	کود*
۷	۷	۸	۸	۸	۸	۸	کارگر
							جو
۱۹۰	۱۹۵	۲۰۰	۱۹۵	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	کود*
۱۱	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	کارگر
							هنداونه
۶۲۴	۶۳۱	۶۳۷	۶۴۴	۶۵۰	۶۵۰	۶۵۰	کود*
۲۳	۲۴	۲۵	۲۳	۲۴	۲۵	۲۵	کارگر
							یونجه
۸۲۴	۸۳۰	۸۳۵	۸۴۵	۸۵۰	۸۵۰	۸۵۰	کود*
۱۰	۱۲	۱۲	۱۱	۱۲	۱۲	۱۲	کارگر

* (فسفات، اوره، پتاس و آمونیوم)

سیاست قیمت‌گذاری آب در باغبانی

درصدی باغات سیب می‌باشد. همچنین در سناریو ۲۰ و ۳۰ درصد افزایش قیمت سطح زیرکشت باغات سیب به ترتیب به ۶۹۰۸ و ۶۸۱۲ هکتار رسید که نشان دهنده کاهش ۲/۶ و ۴/۰ درصدی باغات سیب استان است.

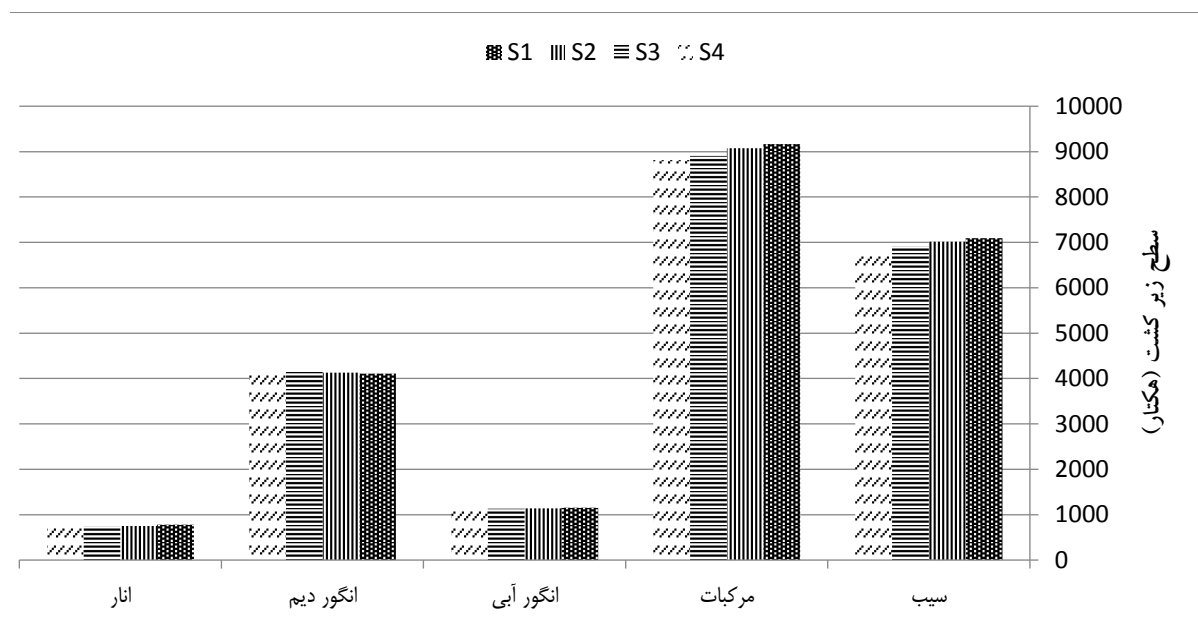
سطح زیرکشت باغات انگور دیم ۴۱۱۰ هکتار به دست آمد که با توجه به افزایش قیمت آب آبیاری از ۱۰ تا ۳۰ درصد به ترتیب به ۴۱۳۲، ۴۱۵۱ و ۴۱۷۵ هکتار افزایش یافت که نشان دهنده افزایش ۰/۵، ۰/۹ و ۱/۵ درصدی سطح باغات استان است. با توجه به افزایش قیمت آب و نیاز آبی بالای انگور آبی کاشت درختان انگور دیم اقتصادی به نظر می‌رسد. با این وجود باغات آبی انگور در الگوی فعلی معادل ۱۱۵۰ هکتار بود که با افزایش قیمت آب آبیاری تا ۳۰ درصد سطح باغات کاهش پیدا کرد. مجموع باغات انار در استان کهگیلویه و بویراحمد معادل ۷۸۰ هکتار برآورد شده است که با اعمال سیاست قیمت‌گذاری ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد سطح زیر کشت باغات به ترتیب به ۷۵۳، ۷۳۹ و ۷۱۴ هکتار کاهش یافت.

تغییرات سطح زیرکشت باغات استان کهگیلویه و بویراحمد در الگوی فعلی در سیاست‌های اعمال شده در مدل PMP در شکل (۳) ارایه شده است. بیشترین سطح زیرکشت باغات استان مربوط به مرکبات با ۹۱۶۴ هکتار است. در الگوی فعلی اراضی تحت باغات در استان مجموع اراضی باغات مرکبات معادل ۹۱۶۴ هکتار به دست آمده است. با این وجود با اعمال سیاست قیمت‌گذاری آب آبیاری به میزان ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد مقدار اراضی تحت باغات مرکبات به ترتیب به ۹۰۷۶، ۸۹۰۶ و ۸۸۱۳ هکتار رسید که نشان دهنده کاهش ۱/۰، ۲/۹ و ۳/۸ درصدی سطح زیرکشت باغات مرکبات می‌باشد.

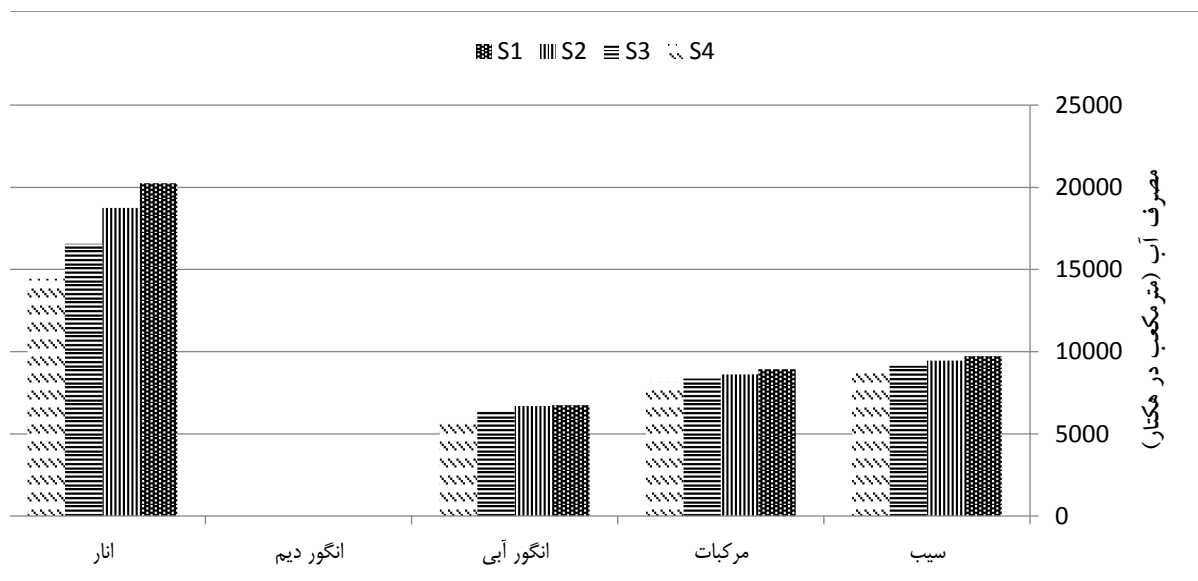
سطح زیرکشت باغات سیب در استان کهگیلویه و بویراحمد در الگوی فعلی ۷۰۸۹ هکتار برآورد شده است با این وجود با اعمال سیاست‌های قیمت‌گذاری این اراضی تغییر کرده‌اند. به نحوی که در سناریو با ۱۰ درصد افزایش قیمت به ۷۰۱۵ هکتار رسید که نشان دهنده کاهش ۱/۱

و ۳/۹ درصدی سطح زیرکشت باغات مرکبات استان می‌شود. جمع اراضی باغات سیب استان در الگوی فعلی معادل ۷۰۸۹ هکتار است که با افزایش ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصدی قیمت آب به ترتیب ۱/۱، ۲/۶ و ۴/۰ درصد کاهش یافته است.

در سناریو S2 (افزایش ۱۰ درصدی قیمت آب) سطح زیر کشت برآورد شده مرکبات در مدل PMP معادل ۷۰۱۵ هکتار برآورد شد که کاهشی معادل ۱/۰ درصد را نشان می‌دهد. همچنین در سناریو S3 و S4 یعنی افزایش ۲۰ و ۳۰ درصدی قیمت آب به ترتیب منجر به کاهش ۲/۸



الف



ب

شکل ۳- تغییرات سطح زیرکشت (هکتار) و میزان مصرف آب (مترمکعب در هکتار) محصولات باغبانی در سناریوهای مختلف قیمت‌گذاری با استفاده مدل PMP

آب آبیاری، میزان آب مصرفی به ترتیب به ۱۸۷۵۰، ۱۶۵۶۰ و ۱۴۴۳۰ مترمکعب در هکتار رسید که نشان دهنده کاهش ۷/۴، ۱۷/۲ و ۲۸/۷ درصد کاهش یافت. به نظر می‌رسد با

نتایج نشان می‌دهد که مقدار آب مصرف شده در الگوی مصرفی فعلی برای باغ انار معادل ۲۰۲۴۰ متر مکعب در هر هکتار است. با افزایش ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصدی قیمت

انگور آبی در سناریوهای ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد سهمیه‌بندی به ترتیب به میزان ۱۰/۵، ۲۰/۷ و ۳۰/۹ درصد کاهش سطح زیر کشت را به همراه دارد.

میزان مصرف آب در باغات سیب با کاهش سهمیه ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصدی به ترتیب به ۱۵/۶، ۲۷/۶ و ۳۶/۷ درصد کاهش یافت. همچنین در باغات مرکبات و انگور با کاهش ۲۰ و ۳۰ درصدی سهمیه آب، مصرف آن برای مرکبات به ترتیب ۲۲/۶ و ۳۱/۲ و نیز برای انگور معادل ۲۳/۹ و ۳۶/۰ درصد کاهش یافته است.

میزان تولید

جدول (۳) میزان تولید در باغات استان را در سیاست‌های مختلف سهمیه‌بندی و قیمت‌گذاری نشان می‌دهد. با توجه به نتایج به دست آمده مقدار تولید سیب در باغات معادل ۱۱۷۶۴۰ تن به دست آمد با توجه به اعمال سناریوهای سهمیه‌بندی ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد کاهش سهمیه آب میزان تولید به ترتیب به ۰/۱۱، ۰/۲۴ و ۰/۲۸ درصد کاهش یافت. با این حال در سناریو قیمت‌گذاری مقدار تولید سیب در سناریو با افزایش ۱۰ درصدی قیمت آب (S2) به ۱۱۷۶۴۳ تن رسید که نشان دهنده افزایش تولید معادل ۰/۰۰۲ درصدی می‌باشد. همچنین با افزایش قیمت آب به میزان ۲۰ درصد مقدار تولید سیب ۰/۰۹ درصد افزایش یافت. اگرچه نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که با اعمال سناریو با ۳۰ درصد افزایش قیمت آب مقدار تولید سیب ۰/۰۴ کاهش یافت. مقدار تولید مرکبات در الگوی فعلی معادل ۹۱۶۴ تن به دست آمد که با توجه به سناریو سهمیه‌بندی این میزان دچار تغییر شد. به نحوی که با کاهش ۱۰ درصدی مقدار آب در دسترس، مقدار تولید مرکبات به ۰/۱۴ درصد کاهش یافت. همچنین با کاهش ۱۰ و ۲۰ درصدی سهمیه آب آبیاری میزان تولید مرکبات نسبت به الگوی فعلی به ترتیب ۰/۱۷ و ۰/۲۳ درصد کاهش یافت. در سناریو قیمت‌گذاری آب آبیاری مقدار تولید مرکبات در گروه‌های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد افزایش قیمت به ترتیب بدون تغییر، ۰/۱۷ درصد افزایش و ۰/۱۶ کاهش یافت.

افزایش قیمت آب آبیاری میزان آب مصرفی در باغات کاهش یافته است. با این حال طبق مطالعات به عمل آمده توسط محقق نشان می‌دهد که نیاز آبی باغات انار به مراتب پایین‌تر از آب مصرفی در استان است؛ بنابراین، علاوه بر سناریوهای تعریف شده در پژوهش به نظر می‌رسد که لزوم اطلاع‌رسانی و فرهنگ‌سازی در باغداران انار استان احساس می‌شود.

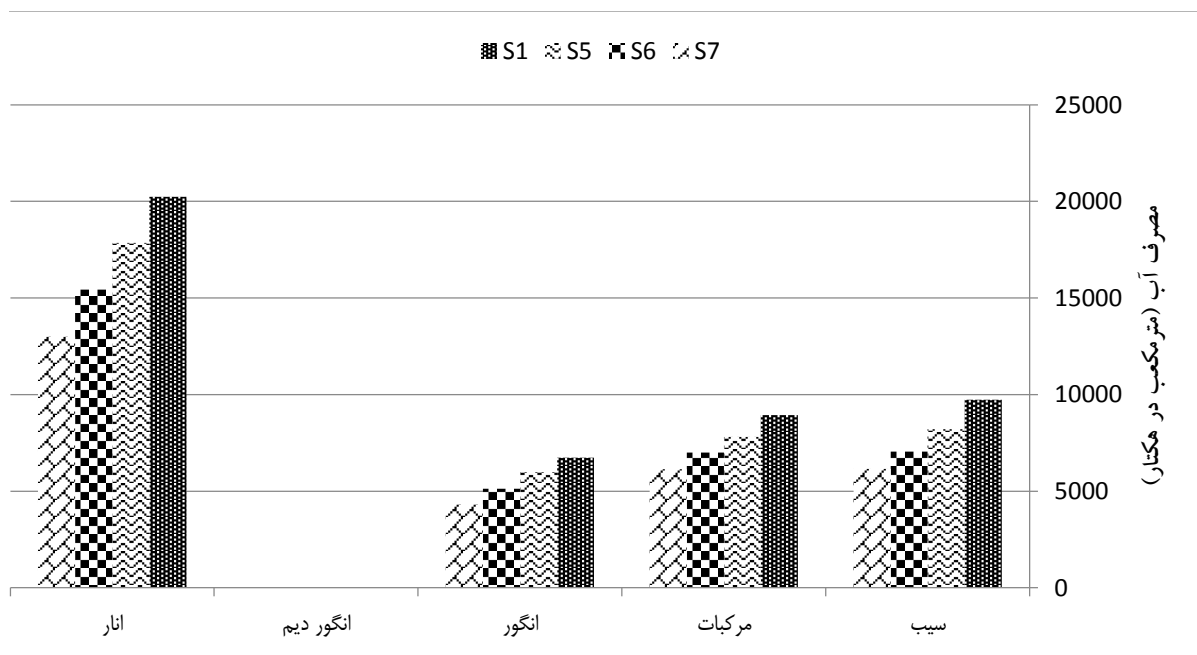
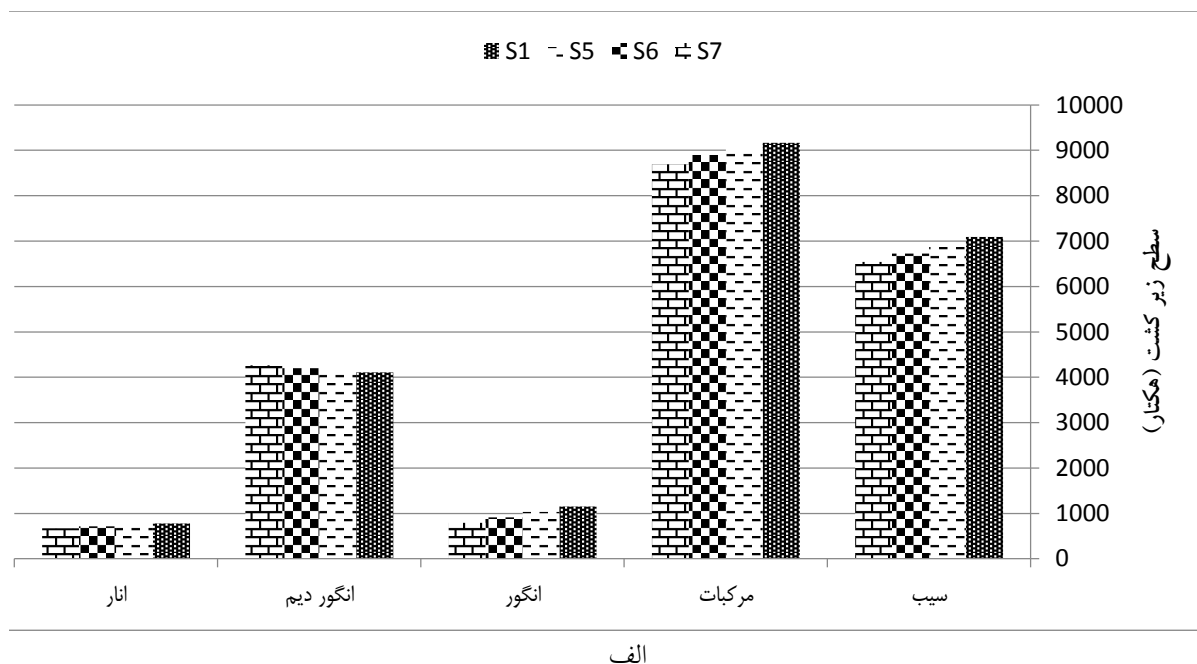
سیاست سهمیه‌بندی آب در باغبانی

میزان تغییرات سطح زیرکشت باغات در سیاست اعمال شده سهمیه‌بندی در مدل PMP در شکل (۴) ارایه شده است. نتایج نشان می‌دهد که در الگوی کشت فعلی (S1) سطح زیر کشت باغات مرکبات معادل ۹۱۶۴ هکتار است که با اعمال سیاست سهمیه‌بندی در سطوح ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد کاهش سهمیه آب به ترتیب به ۹۰۴۵، ۸۱۹۵ و ۸۶۹۵ هکتار رسید؛ که معادل ۱/۳، ۳/۰ و ۵/۲ درصد کاهش در سطح زیرکشت باغات است. سطح باغات سیب با ۷۰۸۹ هکتار بخش قابل توجهی از باغات استان را در بر می‌گیرد. با این وجود با اعمال سیاست محدودیت ۱۰ درصدی آب الگوی کشت این محصول به ۶۹۱۰ هکتار رسیده است که معادل ۲/۶ درصد کاهش یافته است. در سناریو S6 و S7 سطح زیرکشت سیب به ترتیب به ۶۷۲۳ و ۶۵۴۲ هکتار رسید که به ترتیب معادل ۵/۲ و ۷/۸ درصد کاهش است. به نظر می‌رسد که کاهش سهمیه آب در دسترس برای باغداران منجر به کاهش سطح زیرکشت باغات در استان می‌شود.

با توجه به اطلاعات مندرج در جدول (۴) نتایج نشان می‌دهد که در الگوی کشت فعلی، سطح زیرکشت باغات انگور آبی ۱۱۵۰ و انگور دیم ۴۱۱۰ هکتار برآورد شده است. با این وجود سطح زیر کشت انگور دیم در سناریوهای S5، S6 و S7 به ترتیب به ۴۱۷۰، ۴۱۹۷ و ۴۲۶۵ هکتار رسید؛ بنابراین افزایش قیمت آب آبیاری منجر به افزایش سطح زیرکشت باغات انگور دیم به میزان ۱/۴، ۱/۲ و ۳/۸ درصد افزایش شد. دلیل این امر نیاز آبی پایین‌تر انگور دیم در مقایسه با انگور آبی است. با این حال سطوح

در هر هکتار به ازای ۳۰ درصد کاهش سهمیه ۰/۰۰۱ درصد کاهش یافت.

تولید انگور دیم در هر هکتار با اعمال سیاست سهمیه‌بندی نسبت به الگوی فعلی تغییر چندانی نکرد با این وجود با کاهش سهمیه آب در انگور آبی مقدار تولید



شکل ۴- (الف) تغییرات سطح زیرکشت (هکتار) و (ب) میزان مصرف آب (متر مکعب در هکتار) در سیاست اعمال شده سهمیه‌بندی در مدل PMP

جدول ۳- میزان تولید (تن) در باغات در سیاست اعمال شده در سیاست‌های مختلف در مدل PMP

سناریو سهمیه‌بندی			سناریو قیمت‌گذاری				
S7	S6	S5	S4	S3	S2	S1	
۱۱۷۳۱۵	۱۱۷۳۶۰	۱۱۷۵۲۰	۱۱۷۶۰۰	۱۱۷۷۵۰	۱۱۷۶۴۳	۱۱۷۶۴۰	سیب
۹۱۴۰	۹۱۴۸	۹۱۵۲	۹۱۵۰	۹۱۸۰	۹۱۶۴	۹۱۶۴	مرکبات
۲۵۸۴۹۰	۲۵۸۵۱۰	۲۵۸۵۱۵	۲۵۹۷۵۰	۲۵۹۲۱۰	۲۵۸۶۴۰	۲۵۸۶۰۳	انگورآبی
۵۱۷۵۶	۵۱۷۵۳	۵۱۷۵۵	۵۱۷۶۰	۵۱۷۶۰	۵۱۷۴۹	۵۱۷۵۵	انگور دیم
۷۷۰	۷۷۸	۷۸۰	۷۸۱	۷۸۹	۷۸۴	۷۸۰	انار

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج به دست آمده نشان داد که در بخش زراعت در تمام سناریوهای مربوط به افزایش قیمت و یا کاهش سهمیه آب (کاهش حجم آب در دسترس)، سطح زیر کشت و مصرف آب در هکتار کاهش می‌یابد. با این وجود، نتایج نشان داد که سطح زیرکشت محصولات دیم افزایش یافت. دلیل افزایش سطح زیر کشت محصولات دیم در مقایسه با سایر کشت‌های آبی را احتمالاً می‌توان به سبب نیاز آبی کمتر محصولات دیم و تنها اتکا به بارش نزولات جوی در نظر گرفت. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که کاهش ۳۰ درصدی سهمیه آب به تنهایی و یا افزایش قیمت آب به تنهایی منجر به نگهداری و حفظ منابع آبی نمی‌شوند. با این وجود سیاست ترکیبی کاهش سهمیه و افزایش قیمت آب، کاهش بیشتری را در سطح زیرکشت اراضی آبی نشان می‌دهد. این نتایج با یافته‌های بلالی و همکاران (۱۳۸۹) و وکیل پور و مرتضوی (۱۳۹۵) همخوانی دارد.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که سیاست قیمت-گذاری آب در برخی از دامنه‌های قیمتی، تاثیر قابل توجهی در کاهش تقاضا و بهره‌برداری منابع آب زیرزمینی، کاهش تقاضای آب در بخش کشاورزی و در نتیجه واکنش به وضع قیمت آب آبیاری به شکل تغییر الگوی کشت در راستای کاهش کشت محصولات با نیاز آبی بالا و جایگزینی آنها با محصولات با نیاز کمتر نمود که وضع قیمت آب آبیاری به دلیل افزایش هزینه استفاده از منابع آب و کاهش منافع بازده ناخالص محصولات با نیاز آبی بالا نقش مؤثری در حفظ و نگهداری آب داشته است.

نتایج پژوهش حاضر با پژوهش‌های بلالی و همکاران (۱۳۸۹)، پرهیزکاری و همکاران (۱۳۹۳)، وزیری

و همکاران (۱۳۹۵) و باقری و همکاران (۱۳۹۶) همسو است. به علاوه نتایج گویای کاهش تولیدات فعالیت‌های کشاورزی است که خود منجر به محدود شدن فعالیت‌های اجتماعی و اقتصادی جبران ناپذیری بر شرایط کشاورزی منطقه دارد. با در نظر گرفتن کاهش منابع آبی کشور و بهره‌برداری‌های نامناسب از این منابع آینده خطرناکی را برای منابع آبی ترسیم نموده است. کاهش ذخایر آبی ناشی از بهره‌برداری‌های نامناسب در بلند مدت منجر به مخاطره افتادن اقتصاد مبتنی بر کشاورزی کشور می‌شود. هدف اصلی پژوهش حاضر این بود تا اهمیت آب در زراعت و باغبانی مورد بررسی و تأکید قرار گیرد. به نظر می‌رسد که افزایش قیمت آب، کاهش سهمیه آب واحدها و نیز ترکیب این دو سیاست می‌تواند از هدر رفت آب جلوگیری کند و منجر به کاهش اتلاف آب در واحدهای زراعی و باغی شود. نتایج به دست آمده در این پژوهش نشان داد که استفاده از سیاست ترکیبی کاهش سهمیه و افزایش قیمت آب، سطح زیر کشت محصولات را نسبت به استفاده جداگانه از هر کدام از این سیاست‌ها بیشتر کاهش می‌دهد. اعمال سناریوهای تعریف شده منجر به کاهش اراضی آبی و در نتیجه کاهش مصرف آب می‌شود. با این وجود مصرف نهاده‌ها تحت تأثیر افزایش قیمت و کاهش سهمیه آب قرار نمی‌گیرد. به نظر می‌رسد در منطقه مورد مطالعه با افزایش قیمت آب آبیاری کشاورزان برنامه‌ای برای کاهش هزینه نهاده‌ها ندارند و استفاده از سیاست‌های تعریف شده در این بخش منجر به افزایش هزینه‌های کشاورزان می‌شود. با کاهش سهمیه آب الگوی کشت بیشتر به سمت محصولاتی حرکت می‌کند که نیاز آبی کمتری دارند و منجر به کاهش

اراضی زیر گشت گندم و جو آبی می‌شود. اگرچه افزایش قیمت تأثیر کمتری از سهمیه‌بندی بر الگوی کشت دارد. به نظر می‌رسد به صورت قطعی باید بر این باور بود که با کاهش دسترسی به آب (کاهش سهمیه) سطح زیرکشت کاهش پیدا می‌کند. به این معنی که کاهش سهمیه منجر می‌شود تا کشاورزان الگوی کشت خود را به نفع محصولاتی با نیاز آبی کمتر تغییر دهند؛ زیرا این امر در نهایت سود بیشتری برای کشاورزان در پی خواهد داشت. با این حال در افزایش قیمت آب این امر تضمین شده است. به این معنی که با افزایش قیمت آب کشاورزان لزوماً الگوی کشت خود را تغییر نمی‌دهند.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که استفاده از نهاده‌ها در سناریوهای مختلف تعریف شده چندان تحت تأثیر قرار نمی‌گیرد. به این معنی که با افزایش قیمت آب و یا کاهش دسترسی به آب میزان نهاده‌ها در هر هکتار از اراضی باغی و زراعی تحت تأثیر قرار نمی‌گرفت. با این وجود در یک الگوی قابل پیش‌بینی میزان آب مصرفی کاهش پیدا کرد. این امر به صورت اجتناب‌ناپذیری قابل پیش‌بینی است زیرا کاهش آب مصرفی ناشی از کاهش عرضه آن به کشاورزان است؛ بنابراین این امر ممکن است منجر به کاهش آب مصرفی و در نتیجه حفظ ذخایر آب استان شود؛ بنابراین می‌توان گزارش نمود که بکارگیری سیاست افزایش قیمت و سهمیه‌بندی محصولات زمانی می‌تواند مثر و مثر واقع شود که همسو و سازگار با سیاست‌ها و تغییرات اعمال شده در بخش کشاورزی باشد.

فهرست منابع

نتایج به دست آمده از این تحقیق نشان داد که اعمال سیاست کاهش دسترسی به منابع آب تأثیر پایداری بر حفظ منابع آب منطقه مورد بررسی دارد؛ بنابراین، برای تحقق و اجرایی شدن این سیاست و همچنین، برای تخصیص آب کاهش یافته پس از اعمال این سیاست به تولید محصولات زراعی و باغی مازاد پیشنهاد می‌شود که مسئولان بخش کشاورزی و مدیریت منابع آب این منطقه راهکارهای مدیریتی مناسبی مانند تجهیز مزارع به شیوه‌های نوین آبیاری و استفاده از کنتراهای مناسب آب و دریچه‌های تنظیم آب در ورودی اراضی به کار گیرند. از آنجا که نهاده آب درآمدی بیش از مقدار هزینه آن برای کشاورزان ایجاد می‌کند، پیشنهاد می‌شود قیمت‌گذاری و دریافت آب‌بها با در نظر گرفتن ارزش اقتصادی آن در منطقه انجام گیرد زیرا قیمت‌گذاری براساس ارزش اقتصادی سبب ایجاد انگیزه صرفه‌جویی و مصرف کم‌تر آب در میان کشاورزان خواهد شد. البته، توجه به این نکته ضروری است که این سیاست منجر به کاهش سود ناخالص کشاورزان و تولید محصولات کشت شده در منطقه نیز خواهد شد. در نتیجه، افزایش تدریجی قیمت آب به منظور ایجاد تعادل بین منافع و هزینه‌های ناشی از اعمال این سیاست اثرات اجتماعی و اقتصادی بهینه‌تری به همراه دارد. برای رسیدن به این هدف پیشنهاد می‌شود، نخست یک سیاست دریافت آب‌های تدریجی اجرا شده تا کشاورزان بتدریج بتوانند وضعیت خود را با شرایط جدید وفق دهند و سپس برنامه‌ریزی و اجرای این سیاست‌ها نیز با مشارکت آنان انجام گیرد.

۱. باقری ا، نیکوئی ع، خداداد کاشی ف و شوکت فدایی م، ۱۳۹۶. ارزیابی سیاست قیمت‌گذاری آب بر پایداری و حفظ آبخوان: مطالعه آبخوان مهیار شمالی در حوضه زاینده رود. نشریه علمی/اقتصاد و توسعه کشاورزی. دوره ۳۱، شماره ۲. صفحه‌های: ۱۰۵ تا ۱۲۰.
۲. باقری م، محمدی ح، نوری غ و میر ب، ۱۳۹۲. عوامل تعیین‌کننده استفاده پایدار از منابع آب (مطالعه موردی استان کهگیلویه و بویراحمد). نشریه علوم و تکنولوژی محیط زیست. دوره ۱۵ شماره ۱. صفحه‌های ۵۱ تا ۶۴. بخشی ا، دانشور کاخکی م و مقدسی ر، ۱۳۹۰. استفاده از الگوی مثبت برنامه‌نویسی ریاضی برای تجزیه و تحلیل اثرات سیاست‌های جایگزین قیمت‌گذاری آب در دشت مشهد. مجله اقتصاد و توسعه کشاورزی (علوم صنایع کشاورزی). جلد ۳، شماره ۲۵. صفحه‌های ۲۸۴ تا ۲۹۴.

۳. بلالی ح، خلیلیان ص و احمدیان م، ۱۳۸۹. بررسی نقش قیمت‌گذاری آب در بخش کشاورزی بر تعادل منابع آب زیرزمینی. *نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی (علوم و صنایع کشاورزی)*. دوره ۲۴، شماره ۲. صفحه‌های ۱۸۵ تا ۱۹۴.
۴. پرهیزکاری ا، صبحی م و احمدپور برازجانی م، ۱۳۹۳. شبیه‌سازی پاسخ کشاورزان به سیاست‌های قیمت‌گذاری و سهمیه‌بندی آب آبیاری (مطالعه موردی: منطقه سیستان). *فصلنامه اقتصاد و توسعه کشاورزی*. دوره ۲۸ شماره ۲. صفحه‌های ۱۶۴ تا ۱۷۶.
۵. حسوندم، جولایی ر، کرامت زاده ع و اشراقی ف، ۱۳۹۷. کاربرد مدل برنامه‌ریزی ریاضی مثبت به منظور تحلیل اثر سیاست تغییر قیمت و مقدار آب کشاورزی بر الگوی کشت محصولات زراعی شهرستان نکا. *فصلنامه اقتصاد کشاورزی*. جلد ۱۲ شماره ۳. صفحه‌های ۷۳ تا ۹۵.
۶. وزیر آ، وکیل پور م، مرتضوی س.ا. ۱۳۹۵. بررسی اثر قیمت‌گذاری اقتصادی آب آبیاری بر الگوی کشت در دشت دهگلان. *فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات اقتصاد کشاورزی* ۸:۳۱.
7. Abu-Zeid, M. 2001. Water pricing in irrigated agriculture. *International Journal of Water Resources Development*, 17(4): 527-538.
8. Aidam, P.W. 2015. "The impact of water-pricing policy on the demand for water resources by farmers in Ghana", *Agricultural Water Management*, 158, 10-16.
9. Albiac, J., Calvo, E., Esteban, E., & Kahil, T. 2020. The challenge of irrigation water pricing in the Water Framework Directive. *Water altern.* (ART-2020-120389).
10. Asaadi, M. A., Mortazavi, S. A., Zamani, O., Najafi, G. H., Yusaf, T., & Hoseini, S. S. 2019. The impacts of water pricing and non-pricing policies on sustainable water resources management: a case of Ghorveh plain at Kurdistan province, Iran. *Energies*, 12(14), 2667.
11. Chaplin, M. F. (2001). Water: its importance to life. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 29(2), 54-59.
12. De Frahan, B. H., Buysse, J., Polomé, P., Fernagut, B., Harmignie, O., Lauwers, L., & Van Meensel, J. 2007. Positive mathematical programming for agricultural and environmental policy analysis: review and practice. *Handbook of operations research in natural resources*, 129-154.
13. Gallego-Ayala, J. 2012. Selecting irrigation water pricing alternatives using a multi-methodological approach. *Mathematical and Computer Modelling*, 55(3-4), 861-883.
14. Howitt, R.E. 1995. Positive mathematical programming. *American journal of agricultural economics*. 77(2), 329-342.
15. Johansson, R.C., Tsur, Y., Roe, T.L., Doukkali, R. and Dinar, A. 2002. Pricing irrigation water: a review of theory and practice. *Water Policy*, 4(2): 173-199.
16. Meister, D., Chen, C. C., and Heady, E. O, 1978. The profitability of crop and livestock production in the settat province of Morocco, PhD thesis, Purdue University Press.
17. Pimentel, D., Berger, B., Filiberto, D., Newton, M., Wolfe, B., Karabinakis, E., Clark, S., Poon, E., Abbett, E. and Nandagopal, S. 2004. Water resources: *agricultural and environmental issues*. *BioScience*, 54(10), pp.909-918.
18. Röhm, O., & Dabbert, S. 2003. Integrating agri-environmental programs into regional production models: an extension of positive mathematical programming. *American Journal of Agricultural Economics*, 85(1), 254-265.
19. Rosegrant, Mark W., Claudia Ringler, and Tingju Zhu. 2009. Water for agriculture: maintaining food security under growing scarcity. *Annual review of Environment and resources* 34: 205-222.
20. Savenije, H.H. and Van Der Zaag, P. 2002. Water as an economic good and demand management paradigms with pitfalls. *Water international*, 27(1): 98-104.

21. Tsur, Y. and Dinar, A. 1997. The relative efficiency and implementation costs of alternative methods for pricing irrigation water. *The World Bank Economic Review*, 11(2): 243-262

Potential Effects of Agricultural Water Pricing and Quota on Productivity and Use of Agricultural Inputs in Kohgiluyeh Boyerahmad Province

A. Biniaz, M. Ahmadpour Borazjani¹, S. Ziaee, and H. Mohammadi

Scientific member, Payame Noor University.

arsalan.biniaz@gmail.com

Associate Professor, Department of Agricultural Economics, Zabol University.

mahmoud_ahmadpour@yahoo.com

Associate Professor, Department of Agricultural Economics, Zabol University.

samanziaee@gmail.com

Assistant Professor, Department of Agricultural Economics, Zabol University.

hamidmohammadi1378@gmail.com

Received: January 2021, and Accepted: July 2021

Abstract

Water is an essential input for agricultural activities and is scarce in arid areas. Therefore, sustainable use of limited water resources in agriculture is of great importance. In the present study, water pricing and quotation methods in agriculture and horticulture sectors of Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad Provinces were studied as tools for water resources management. For this purpose, the positive mathematical planning (PMP) approach was used and the cultivation pattern in the area was simulated. Then, the effect of water pricing and quotation policies on the pattern of cultivation was examined in the form of 7 scenarios including: (no change in water quota or price), (no change in quota +10%, 20% or 30% higher price for water), and (10%, 20%, or 30% lower quota with no change in water price). The results showed that in all scenarios, the area under cultivation and water consumption of crops would decrease and the area under cultivation of rainfed crops would increase. For example, under 30% reduction in water quota, wheat cultivation area decreased from 28530 ha to 23004 ha, with similar trends for irrigated barley and maize. In addition, the results indicate a decrease in the gross yield of agricultural activities, which, in turn, would lead to a decrease in the level of agricultural activities in the region, with social and economic consequences on the agricultural conditions of the region. With the intensification of water restrictions (increasing prices and reducing quotas), the amount of water consumed for the province's gardens will also decrease. According to the results, reducing the water supply and increasing its price has a great impact on the number of livestock and the amount of water used in livestock. In general, it seems that increasing water prices, reducing the water quota of units and also the combination of these two scenarios can reduce water loss in agricultural activities.

Keywords: Positive Mathematical Planning Water resources management, Cultivation pattern

¹ - Corresponding author: Zabol, Department of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, Zabol University

Evaluating Some Infiltration Models under Different Soil Texture Classes and Land Uses in Urmia Lake Basin

F. Batoukhteh¹, M. Khoshravesh, and H. Dehghanisani

PhD Student in Irrigation and Drainage Engineering, Water Engineering Department, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

batoukhtehf@yahoo.com

Associate Professor, Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.

khoshravesh_m24@yahoo.com

Associate Researcher, Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Alborz, Iran.

h.dehghansani@areeo.ac.ir

Received: December 2020, and Accepted: July 2021

Abstract

Water infiltration is one of the most important properties of soil that plays an important role in watershed management. The main purpose of this study was to estimate the coefficients of different equations of water infiltration into soil, including Philip, Kostyakov, Kostyakov-Louise, Horton, and SCS to estimate the infiltration rate and potential for runoff in long-duration rainfall in two land uses (rangeland and agricultural) and three soil textures (loam, clay loam, and silty clay loam). These models were fitted to the measured infiltration data to estimate the model parameters and find a suitable model for this region. After estimating the parameters, the infiltration rates for 2, 4 and 24 hours were calculated using the infiltration rate equations of each model. For this purpose, the infiltration data were obtained by double rings method from 16 point of different regions in the basin. The parameters of these models were then obtained, using least square optimization method. In order to evaluate the accuracy of the models, the coefficient of determination (R^2), Nash Sutcliffe (NSE) efficiency, root mean square error (RMSE) and mean error (ME) were calculated. Comparisons of the mean of evaluation statistics using the Tukey method showed that the method of estimating cumulative infiltration in the Kostyakov-Louise model had a more-stable trend compared to other models and was evaluated as the best in most soil texture classes and land uses. Means comparisons showed that despite the differences between the models in estimating the cumulative infiltration, the differences between the models in estimating the infiltration rate were not significant and were in the same group. Regardless of the model used, soil texture and land use are the two main factors affecting the final infiltration rate. According to the results, the rate of infiltration with time in agricultural use has significant changes, such that, in this use, it was initially high and decreased sharply with increasing time from 2 hours to 24 hours. In order to reduce the weakening effects of agricultural activities on soil quality and to increase the infiltration rate in long-duration rainfall and reduce runoff, management activities such as expansion of conservation agriculture, no-tillage, and minimum tillage farming operations will play a very effective role.

Keywords: Horton Model, Kostiakov-Lewis Model, Philip Model, Soil Conservation Service (SCS) Model, Infiltration Rate

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

Investigation of the Effect of Deficit Irrigation and Two Irrigation Methods on Yield and Yield Components of Two Peanut Cultivars

A. Abdzad Gohari¹

Young Researchers and Elite Club, Islamshahr Branch, Islamic Azad University, Islamshahr, Iran.
abdzadgohari_a@yahoo.com

Received: September 2020, and Accepted: March 2021

Abstract

Knowing the appropriate cultivars and proper irrigation management is one of the most important factors affecting the growth and yield of peanut plant. The present study was conducted as split split plots in the form of a randomized complete block design with three replications, in 2018 and 2019 in Guilan Province. The main plot consisted of two methods of drip and furrow irrigation, and the sub-plots included supplying 125%, 100%, 75%, 50%, and 25% of water requirement, and the sub-sub-plot included two peanut cultivars Guil and Jonobi. The results of the study showed significant effect of irrigation method on seed yield (at $p < 0.5$) and the effect of water supply on all measured traits (at $p < 0.1$). The highest seed yield in 2018 and 2019 was observed in Guil cultivar with 100% water requirement of the plant with an average of 3221 and 3161 kg.ha⁻¹, respectively. In the two study years, annual averages of seed yields in drip irrigation (1808 and 1803 kg/ha) compared to the furrow method (1753 and 1754 kg/ha) showed an increase of 3.1% and 2.8%, respectively. The correlation between traits, showed a positive and significant effect between seed yield and number of pods per plant, number of seeds per plant, and 100-seed weight. Based on the results, for peanut cultivation in the study area, Guil cultivar with drip irrigation and providing 100% of water requirement (5481 m³ of water/ha in this research) is recommended.

Keywords: Drip irrigation, Furrow method, Water Stress, Guil cultivar

¹. Corresponding author: Islamic Azad University, Islamshahr, Iran

Locating Suitable Areas for Surface and Pressurized Irrigation Systems Using Hierarchical Analysis in Dez Plain

H. Poursamsam, E. Akbari¹, A.M. Akhoond-Ali, and

S. Boroomand Nasab

Irrigation Expert, Agricultural Jihad Management of Dezful, Dezful, Iran.

Hamed_poorsamsam@yahoo.com

MSc. in River Engineering and Irrigation, Faculty of Water Science Engineering, Shahid Chamran University
Ahwaz, Ahwaz, Iran.

Elliakbari@yahoo.com

Professor, Department of Hydrology and Water Resources, Faculty of Water Engineering, Shahid Chamran
University Ahwaz, Ahwaz, Iran.

Aliakh@scu.ac.ir

Professor, Department of Irrigation and Drainage, Faculty of Water Science Engineering, Shahid Chamran
University Ahwaz, Ahwaz, Iran.

Boroomand@scu.ac.ir

Received: October 2020, and Accepted: March 2021

Abstract

Pressurized irrigation methods can be a suitable solution for optimal use of water resources, provided that the selection, design, implementation and operation of irrigation systems are done with sufficient care and according to the principles. In decision-making and implementation of pressurized irrigation systems at the sub-regional and regional scale, several factors such as water, soil and climate along with socio-economic factors are of particular importance. Dez Plain (including Lor, Dimchah, West Dez, East Dez and Sabili plains) is the largest plain and one of the most important agricultural hubs in Khuzestan Province. In this study, using AHP in GIS software, the suitability of various areas for implementing different irrigation systems (localized, solid set, wheel move, centre pivot, linear, Gun, low-pressure, and surface) was investigated in Dez Plain. For this purpose, effective criteria including socio-economic and field physical conditions were considered for implementation of each irrigation method. Socio-economic criteria included four sub-criteria, namely, operation and maintenance, costs, laborers skills, and local culture, and physical conditions included water, climate, soil, and topography. The final location map was prepared in GIS software. According to the results, Dez Plain areas with high suitability for each methods were as follows: 62.77% for all sprinkler systems, 14.6% for localized irrigation, 14.3% for low-pressure irrigation, and 8.3% for surface irrigation. Among all irrigation methods, the solid-set sprinkler obtained the highest score in all parts of the study area and, in total, 15.04% of the whole plain is highly suitable for this system.

Keywords: Solid set sprinkler, Localized irrigation, Low-pressure irrigation

¹ -Corresponding author: Faculty of Water Science Engineering, Shahid Chamran University, Ahwaz, Iran.

Effects of Improved Agricultural Field Practices on Water Productivity and Water Use Efficiency Indices in the Eastern Basin of Lake Urmia

A. Sangtarashan, S. M. Mirlatifi¹, and H. Dehghani Sanij

Former MSc. student, Dept. of Irrigation and Drainage Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

a.sangtarashan@modares.ac.ir

Associate Professor, Dept. of Irrigation and Drainage Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

mirlat_m@modares.ac.ir

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

h.dehghanisanij@areeo.ac.ir

Received: March 2020, and Accepted: March 2021

Abstract

This research was performed to improve water productivity by changing a number of farmers' field practices such as tillage, dimensions of the irrigation borders, using newly released plants varieties, and improving fertilizer management in eight farms located in the Oskoo, Ajabshir, and Bonab cities, all parts of the eastern Uromieh Lake Basin, during 2015-2016 growing season. The adopted farm practices were applied in the treatment farms, while in the control farms, all the farming operations were implemented according to the local traditional practices. In all farms, the flow rates diverted to each farm, the soil moisture content in the root zone during the growing season, and indices related to the growth and yield of crops were measured. The indices of water productivity (WP), water use efficiency (WUE) and water economic productivity (WPe) were calculated. Water consumption was lower up to 9% while crops yields of the treatment farms were higher up to 34%, as compared with the control farms. According to the results, on average, implementation of applied technologies in the treatment farms increased WP, WUE, and WPe by 38%, 31%, and 56 %, respectively, as compared to the control farms.

Keywords: Actual crop evapotranspiration, Consumptive water, Farm water management, Tillage method

¹ - Corresponding author: Department of Irrigation and Drainage Engineering, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

Effect of Different Levels of Irrigation and Fertilizer on Water and Nitrogen Productivity in Lettuce

M. S. Jafari, H. Noory¹, A. M. Liaghat, and H. Ebrahimian

PhD candidate, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

m.saeedjafari@ut.ac.ir

Associate Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

hnoory@ut.ac.ir

Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

aliaghat@ut.ac.ir

Associate Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

ebrahimian@ut.ac.ir

Received: June 2020, and Accepted: March 2021

Abstract

Lettuce is one of the most important leafy vegetables used primarily for fresh and salad applications. The purpose of this study was to investigate the effect of different levels of water and nitrogen on lettuce yield and find the best irrigation and nitrogen fertilizer practices for producing this crop in drip irrigation. Iceberg variety of lettuce was planted in 2018 with three irrigation treatments (I_1 , I_2 and I_3 to provide 100%, 80%, and 60% of crop evapotranspiration, ET_a , respectively) and four nitrogen treatments (N_1 , N_2 , N_3 , and N_4 to provide 105, 70, 35 and zero kg of nitrogen per hectare in total, respectively). In 2019, two irrigation treatments (I_1 and I_3) and two nitrogen treatments (N_1 and N_4) were used. The experiment had a randomized complete block design with three replications. The results indicated that the effect of irrigation and nitrogen treatments and their interactions on the marketable yield of lettuce; but the dry matter produced was only affected by irrigation and nitrogen treatments. Maximum marketable yield and dry matter production were 66.1 ton.ha⁻¹ and 2728.2 kg.ha⁻¹ for full irrigation treatment with 105 kg.ha⁻¹ nitrogen (I_1N_1) treatment, respectively. The minimum marketable yield and dry matter were 37.5 ton.ha⁻¹ and 1929.6 kg.ha⁻¹ for 60% ET_a treatment with 35 kg.ha⁻¹ nitrogen (I_3N_3) treatment, respectively. The maximum and minimum irrigation water productivities for marketable yield were 21.63 and 15.38 kg.m⁻³ for I_2N_1 and I_3N_3 treatments, respectively. The linear and nonlinear production functions of yield-water and yield-nitrogen were obtained for lettuce variety Iceberg, which can be used in similar environmental conditions in research and practical applications.

Keywords: Deficit irrigation, Fertilizer nitrogen, Marketable yield, Production function, Lettuce variety Iceberg

¹. Corresponding author: Department of Irrigation and Reclamation Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Iran.

Evaluation of Irrigation Management and the Possibility of Improving It in Wheat Fields in Sistan Dam Irrigation District Using SWAP Model

M.A. Khandan Barani, P. Afrasiab¹, M. Akbari, and M. Delbari

PhD student, Department of Water Engineering, Water and Soil Group, University of Zabol, Zabol, Iran.

aminbarani2008@gmail.com

Associate Professor, Department of Water Engineering, Water and Soil Group, University of Zabol, Zabol, Iran.

peyman.afraziab@uoz.ac.ir

Associate Professor, Department of Agricultural Technical and Engineering Research, Technical and Engineering Research Institute, Karaj, Iran.

akbari_m43@yahoo.com

Associate Professor, Department of Water Engineering, Water and Soil Group, University of Zabol, Zabol, Iran.

masoomah.delbari@uoz.ac.ir

Received: October 2020, and Accepted: March 2021

Abstract

In this research, the status of water productivity for wheat production and strategies to increase water productivity in different quantitative conditions of water was determined and analyzed in the irrigation district of Sistan Dam. In this regard, the SWAP simulation model was calibrated and validated by considering the current water resources operation, various quantities of irrigation water, and use of field information. Water production functions were used to determine the irrigation schedule (time and depth) for wheat crop. The results of field measurements in the crop year 2016-2017 in the irrigation district showed that farmers irrigate wheat on average four times in the current conditions. Farmers' average crop yield and water productivity were about 1450 kg/ha and 0.41 kg/m³, respectively. These results show that available water is not appropriately used and should be addressed with practical solutions to improve water productivity. The validation and calibration results of the SWAP model also showed the high accuracy of the model in the case study. The results of different management scenarios of eliminating some irrigation shifts compared to the existing conditions indicated that, although there was no significant difference in water productivity, crop yield decreases about 37%. The results of evaluating the scenarios of reducing the depth and frequency of irrigation (using 640 mm per season and applying 40 mm at each shift) showed that, with reliable and timely water supply and more frequent irrigation, water productivity could be increased by 30% compared to the baseline scenario; and crop yield can be doubled. In these scenarios, the presence of adequate moisture in the plant's root zone increases the yield, and the amount of deep percolation is greatly reduced. The amount of water used by farmers is excessive for various reasons. Therefore, it is recommended to train farmers on how to improve irrigation and crop management according to the water available in the irrigation district, so that they can distribute water according to the real needs of the plant and irrigate at the right time and sufficient quantity.

Keywords: Irrigation planning, Water productivity, Depth and frequency of irrigation

¹- Corresponding author: Department of Water Engineering, Water and Soil Group, University of Zabol, Zabol, Iran

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. 1
2021

***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 1/ 2021

ISSN: 2228-7140

Contents

Subject

Page

Evaluation of Irrigation Management and the Possibility of Improving It in Wheat Fields in Sistan Dam Irrigation District Using SWAP Model.....1
M.A. Khandan Barani, P. Afrasiab, M. Akbari, and M. Delbari

Effect of Different Levels of Irrigation and Fertilizer on Water and Nitrogen Productivity in Lettuce.....2
M. S. Jafari, H. Noory, A. M. Liaghat, and H. Ebrahimian

Effects of Improved Agricultural Field Practices on Water Productivity and Water Use Efficiency Indices in the Eastern Basin of Lake Urmia.....3
A. Sangtarashan, S. M. Mirlatifi, and H. Dehghani Sanij

Locating Suitable Areas for Surface and Pressurized Irrigation Systems Using Hierarchical Analysis in Dez Plain.....4
H. Poursamsam, E. Akbari , A.M. Akhoond-Ali , and S. Boroomand Nasab

Investigation of the Effect of Deficit Irrigation and Two Irrigation Methods on Yield and Yield Components of Two Peanut Cultivars5
A. Abdzad Gohari

Evaluating Some Infiltration Models under Different Soil Texture Classes and Land Uses in Urmia Lake Basin.....6
F.Batoukhteh, M. Khoshravesh, and H. Dehghanisanij

Potential Effects of Agricultural Water Pricing and Quota on Productivity and Use of Agricultural Inputs in Kohgiluyeh Boyerahmad Province.....7
A.Biniaz, M. Ahmadpour Borazjani, S. Ziaee, and H. Mohammadi