



پژوهش آب در کشاورزی

Wra.areeo.ac.ir

ISSN: 2228-7140

ب / جلد ۳۶ / شماره ۱ / سال ۱۴۰۱

صفحه

عنوان

۱..... واکنش رشدی و فیزیولوژیک ارقام مختلف سورگوم به شوری آب آبیاری.....
محسن سیلپور

برآورد تبخیر-تعرق واقعی گندم با استفاده از الگوریتم سبال نسبت به نتایج لایسیمتری در شرایط استاندارد در ایستگاه‌های
تحقیقاتی تبریز و کرج..... ۲۱.....
علی مرشدی، حسین جعفری و اژدر عنابی میلانی

۳۵..... تعیین مقدار بهینه آب آبیاری گل گاوزبان در مراحل مختلف رشد با استفاده از طرح مرکب مرکزی.....
پریسا شاهین رخسار و اصلا ن اگدرنژاد

۵۵..... اثر شوری آب آبیاری بر عملکرد نسبی و برخی ویژگی‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک سورگوم.....
مرجان نوروزی، الهام چاوشی و مهدی قاجار سپانلو

۷۵..... تعیین ضریب تنش شوری در مراحل مختلف رشد ذرت علوفه‌ای.....
رضا سعیدی

۹۳..... تأثیر محل کارگذاری مالچ پلاستیکی در آبیاری جوچه‌ای بر بهره‌وری آب ذرت علوفه‌ای.....
علی پهلوانی، حامد ابراهیمیان و فریبرز عباسی

۱۰۵..... نظام آبیاری و رابطه آن با مالکیت زمین در مازندران عصر قاجاریه.....
معصومه یدالله پور عربی، شهرام یوسفی‌فر و محمدعلی کاظم‌بیگی

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

جلد ۳۶ شماره (۱)
۱۴۰۱

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

- واکنش رشدی و فیزیولوژیک ارقام مختلف سورگوم به شوری آب آبیاری.....۱
محسن سیسپور
- برآورد تبخیر-تعرق واقعی گندم با استفاده از الگوریتم سیال نسبت به نتایج لایسمتری در شرایط استاندارد در ایستگاه‌های
تحقیقاتی تبریز و کرج.....۲۱
علی مرشدی، حسین جعفری و اژدر عنابی میلانی
- تعیین مقدار بهینه آب آبیاری گل گاوزبان در مراحل مختلف رشد با استفاده از طرح مرکب مرکزی.....۳۵
پریسا شاهین رخسار و اصلاز اگدرنژاد
- اثر شوری آب آبیاری بر عملکرد نسبی و برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی سورگوم.....۵۵
مرجان نوروزی، الهام چاوشی و مهدی قاجار سپانلو
- تعیین ضریب تنش شوری در مراحل مختلف رشد ذرت علوفه‌ای.....۷۵
رضا سعیدی
- تأثیر محل کارگذاری مالچ پلاستیکی در آبیاری جویچه‌ای بر بهره‌وری آب ذرت علوفه‌ای.....۹۳
علی پهلوانی، حامد ابراهیمیان و فریبرز عباسی
- نظام آبیاری و رابطه آن با مالکیت زمین در مازندران عصر قاجاریه.....۱۰۵
معصومه یدالله پور عربی، شهرام یوسفی فر و محمدعلی کاظم بیگی

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

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

الف) اصول کلی

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

ب) نحوه تهیه و ارسال مقاله

نحوه نگارش مقاله

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

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

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

شناسنامه مقاله

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

برگ شناسه

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

عنوان مقاله

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

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

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

واژه‌های کلیدی:

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

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

مقدمه

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

مواد و روشها

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

نتایج

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

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

بحث

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

تشکر و قدردانی

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

فهرست منابع

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

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

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

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

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

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

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

مثال‌های برای تنظیم منابع

مقاله از مجله

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

مقاله از کارگاه آموزشی یا علمی

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

مطلب از کتاب

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

مطلب نقل شده یک نویسنده در یک مجموعه مقالات

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

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

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

ذکر مطلب از اینترنت

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

منابع مورد استفاده در متن بدین صورت نگاشته شوند:

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

اسمیت (۲۰۰۲) گزارش کرد ...

اسمیت و جونز (۲۰۰۲) گزارش کردند...

اسمیت و همکاران (۲۰۰۲) گزارش کردند...

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

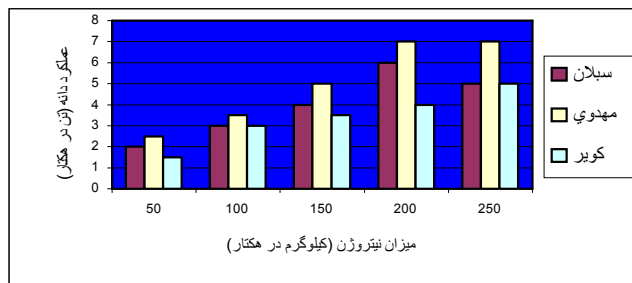
جدول نامناسب

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

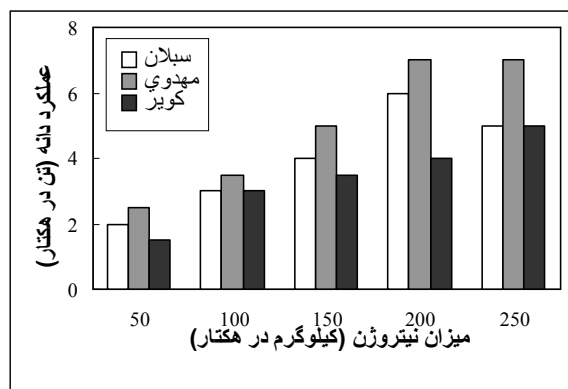
جدول مناسب

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

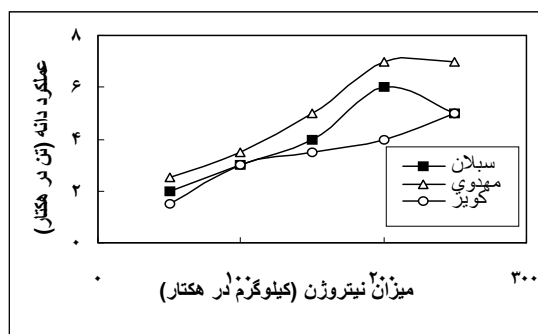
نامناسب



مناسب



مناسب



دکتر محمد بای بوردی.....	۱ دآوری
دکتر مسعود پارسی نژاد.....	۳ دآوری
دکتر آرش تافته.....	۳ دآوری
دکتر نادر حیدری.....	۲ دآوری
دکتر محمدرضا خالدیان.....	۱ دآوری
دکتر ناصر دواتگر.....	۱ دآوری
دکتر محمدحسن رحیمیان.....	۲ دآوری
مهندس مصلح الدین رضایی.....	۱ دآوری
دکتر غلامحسن رنجبر.....	۲ دآوری
دکتر علی شاهنظری.....	۱ دآوری
دکتر امامعلی شعبانی.....	۲ دآوری
دکتر اژدر عنابی میلانی.....	۱ دآوری
دکتر محمد فیضی.....	۱ دآوری
دکتر رضا محمدی کیا.....	۳ دآوری
دکتر منصور معیری.....	۱ دآوری
دکتر علی مومن پور.....	۵ دآوری
دکتر علی نصرالهی.....	۱ دآوری
دکتر شادمان ویسی.....	۲ 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

واکنش رشدی و فیزیولوژیک ارقام مختلف سورگوم به شوری آب آبیاری

محسن سیل‌سپور^۱

استادیار، بخش تحقیقات کشت گلخانه‌ای، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان تهران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی،

ورامین، ایران. mseilsep@yahoo.com

دریافت: دی ۱۴۰۰ و پذیرش: خرداد ۱۴۰۱

چکیده

در این پژوهش، تحمل به شوری پنج رقم سورگوم (اسپیدفید، کیمیا، پیام، سپیده و بگاه) در پنج سطح شوری آب آبیاری (آب غیر شور، و شوری ۴، ۸، ۱۲ و ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر) در گلخانه مطالعه شد. طرح آماری آزمایش بلوک‌های کامل تصادفی به‌صورت فاکتوریل با ۲۵ تیمار و چهار تکرار بود. صفات مورد مطالعه ارتفاع بوته، سطح برگ، وزن خشک ریشه و اندام هوایی، نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی، شاخص کلروفیل برگ، غلظت سدیم، کلر و پتاسیم در برگ و ریشه بود. اثر رقم و اثر تنش شوری بر میانگین کلیه صفات اندازه‌گیری شده معنی‌دار بود ($P < 0.01$). در شوری های ۴، ۸، ۱۲ و ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر، وزن خشک اندام هوایی به‌ترتیب ۱۶/۲٪، ۳۵/۱٪، ۵۵/۷٪ و ۶۹/۴٪ نسبت به شاهد (۵/۷۲ گرم در بوته)، وزن خشک ریشه به‌ترتیب ۲۶/۶٪، ۵۳٪، ۷۲٪ و ۸۲٪ کاهش وزن نسبت به تیمار شاهد (پنج گرم در بوته) و سطح برگ بوته به‌ترتیب ۲۹/۴٪، ۵۸/۳٪، ۷۵/۵٪، ۸۶/۳٪ کاهش نسبت به تیمار شاهد (۳۶۰ سانتی‌متر مربع) نشان داد. بین غلظت کلر و سدیم برگ با وزن خشک اندام‌هوائی همبستگی منفی وجود داشت. از ضریب حساسیت به تنش فیشر و مورر برای ارزیابی حساسیت به شوری ارقام بر اساس وزن خشک اندام هوایی استفاده شد. بر اساس ضریب حساسیت به تنش شوری، رقم اسپیدفید کمترین ضریب حساسیت به شوری (۰/۷۳) و رقم بگاه بیشترین ضریب حساسیت به شوری (۱/۲۱) را دارا بود. رگرسیون بین سطوح مختلف شوری با وزن خشک اندام هوایی برای هر رقم تعیین شد. بر این اساس، وزن خشک اندام هوایی ارقام اسپیدفید، کیمیا، پیام، سپیده و بگاه در شوری های ۱۳/۸۹، ۱۲/۹۵، ۹/۷۳، ۹/۶۲ و ۹/۵۰ دسی‌زیمنس بر متر، ۵۰٪ کاهش یافت. بر اساس نتایج، رقم اسپیدفید از تحمل به شوری بیشتری نسبت به دیگر ارقام برخوردار بود و برای کشت در شرایط آب و خاک شور توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: تنش شوری، تحمل به شوری، ضریب حساسیت به تنش فیشر و مورر، رقم اسپیدفید

^۱ - آدرس نویسنده مسئول: ورامین، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان تهران.

مقدمه

در قسمت‌های مختلف دنیا، به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه، مسائل مرتبط با آب از قبیل کاهش کمی و کیفی آب، آلودگی آب و افزایش خسارات ناشی از سیل وجود دارد. این مسائل، کمبود مواد غذایی و به‌دنبال آن گسترش بیماری‌ها را در پی خواهد داشت (رنگاسامی، ۲۰۱۰). با این وصف، یکی از راه‌های مبارزه با کمبود آب، تأمین بخشی از نیازهای آبی از طریق استفاده از آب‌های شور است (هنگلر، ۲۰۱۰). از طرف دیگر، یکی از چالش‌های اساسی که در سراسر جهان وجود دارد، کاهش عملکرد گیاهان به دلیل تنش شوری حاصل از آب و خاک شور است (مونزو تستر، ۲۰۰۸). نتایج پژوهش‌ها نشان داده است که ۹۷/۵ درصد آب‌های جهان شور است و هم‌چنین در بسیاری از نواحی، زمین‌های شور درصد زیادی از اراضی را به خود اختصاص داده‌اند. به‌همین دلیل، شوری آب و خاک، امروزه یکی از مشکلات عمده کشاورزی در سطح جهان می‌باشد (بارت لنارد، ۲۰۰۳). از طرف دیگر، حساسیت محصولات عمده زراعی غیرشورزیست از یک طرف و تغییرات تدریجی آب و هوایی، از قبیل بروز پدیده خشک‌سالی، موجب شده است که پژوهش در زمینه محصولات جایگزین متحمل به تنش‌های محیطی از جایگاه ویژه‌ای برخوردار باشد (جاکوبسن و همکاران، ۲۰۰۳). تروگنیز، ۲۰۰۳. کوپرو و ایسا، ۲۰۰۳؛ بنابراین بررسی روش‌های جدید برای کاهش این چالش‌ها ضروری است. یکی از این روش‌ها کشت گیاهانی است که بتوانند سطوح بالایی از شوری خاک را تحمل کنند (کوپرو و همکاران، ۲۰۰۸). سورگوم (*Sorghum bicolor* L.) به‌عنوان یک گیاه نیمه‌متحمل به شوری با آستانه ۶/۸ دسی‌زیمنس بر متر شناخته می‌شود (فرانکوئیس و همکاران، ۱۹۸۴). این گیاه براساس تقسیم بندی گیاهان در مقاومت به تنش شوری، در کلاس نیمه متحمل قرار می‌گیرد (ماس و هافمن، ۱۹۷۷). پژوهشگران دیگر نیز آستانه تحمل به شوری سورگوم را ۴/۱ دسی‌زیمنس بر متر تعیین کرده و شیب

کاهش عملکرد آن را ۱۰/۵ درصد محاسبه نموده‌اند (رنجبر و سلطانی‌گرد فرامری، ۱۳۹۶).

سورگوم به‌دلیل ویژگی‌های فیزیولوژیکی از جمله مقاومت به خشکی، شوری، کارایی مصرف آب بالاتر از سایر گیاهان علوفه‌ای، عملکرد نسبتاً زیاد، کیفیت مطلوب و قابلیت نگهداری آن به صورت علوفه خشک، به ویژه سیلو، سبب گردیده تا در مناطق خشک و نیمه‌خشک از ارزش ویژه‌ای برخوردار شود (کافی و همکاران، ۲۰۱۱). ارزیابی سیزده رقم سورگوم نسبت به شوری نشان داد که تنش شوری، طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و وزن خشک گیاه‌چه ارقام سورگوم را به‌طور معنی‌داری کاهش داد (چاوهران، ۲۰۱۱). در یک آزمایش گلدانی بر روی دو رقم سورگوم دانه‌ای که تحت اثر شوری‌های مختلف ناشی از کلرید سدیم در مقادیر ۳/۴، ۶/۷، ۹/۶، ۱۲/۴ و ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر قرار گرفته بودند، گزارش شد که رشد اندام هوایی و وزن خشک ساقه‌چه در سطح شوری ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر به میزان ۷۵ درصد کاهش یافته است.

کاهش عملکرد در شرایط شور احتمالاً به علت تغییر در انتقال فرآورده‌های فتوسنتزی به ریشه‌ها، کاهش رشد بخش هوایی، به‌ویژه برگ‌ها و یا به‌دلیل بسته‌شدن جزئی یا کامل روزنه‌ها یا به علت اثر مستقیم نمک بر سیستم فتوسنتزی و یا تأثیر بر توازن یونی در گیاهان است (حیدری شریف آباد، ۱۳۸۰). در پژوهشی دیگر، راجع به عملکرد و اجزای عملکرد سورگوم علوفه‌ای در سطوح مختلف آبیاری (۱/۵ و ۲/۵ برابر نیاز آبی گیاه) و سطوح مختلف شوری (اختلاط آب چاه با آب دریای خزر) بین تیمار شاهد با تیمارهای مورد بررسی اختلاف معنی‌دار مشاهده گردید (شریفان و کاظمی حسنونند، ۱۳۹۴). طی پژوهش دیگری، ۱۵ لاین امیدبخش سورگوم تحت تنش شوری با NaCl در پنج سطح (صفر، ۳-، ۶-، ۹- و ۱۲- بار) قرار گرفتند. با کاهش پتانسیل اسمزی محلول به ۱۲-بار، کلیه صفات اندازه‌گیری شده کاهش معنی‌دار نشان دادند، به گونه‌ای که درصد جوانه‌زنی (۲۷/۲۳ درصد)، سرعت جوانه‌زنی (۳۰/۱۸ درصد)، طول ریشه‌چه (۷۷/۷۴ درصد)، طول

ساقه‌چه (۷۳/۲۴ درصد)، شاخص بینه بذر (۸۲/۷۳ درصد) و وزن تر گیاهچه (۵۹/۳۸ درصد) کاهش نشان دادند (خدارحم پور و سلطانی، ۱۳۹۲).

طی یک پژوهش دیگر، واکنش ۴۵ لاین و رقم سورگوم به تنش شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر شوری آب آبیاری سنجیده شد. تنش شوری موجب کاهش میانگین شاخص‌های مختلف ژنوتیپ‌های مورد مطالعه شد. به طوری که قطر ساقه، ارتفاع بوته، تعداد برگ، شاخص سطح برگ، عملکرد علوفه تر و خشک تحت تنش شوری به ترتیب ۱۴/۴۵، ۲۵/۲۴، ۱۸/۰، ۳۱/۸، ۴۰/۱، ۳۲/۳ درصد کاهش یافت. بیشترین عملکرد خشک تحت شرایط بدون تنش از لاین KDFGS23 (۲۸۵۳۰ کیلوگرم بر هکتار) و تحت تنش شوری از رقم جامبو (۲۱۰۴۱ کیلوگرم بر هکتار) به دست آمد (شاکری و همکاران، ۱۳۹۶). پژوهش دیگری به منظور بررسی تحمل به شوری لاین‌های امید بخش سورگوم علوفه‌ای داخلی در دو مرحله آزمایشگاهی و مزرعه‌ای انجام گردید. در مرحله جوانه‌زنی تیمارهای آزمایش شامل سطوح شوری ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ دسی‌زیمنس بر متر و یک تیمار آب مقطر به عنوان شاهد و ارقام KFS1، KFS2، KFS3، KFS4، MFS1، MFS2 و LFS56 بودند. در آزمایش مزرعه‌ای نیز ارقام فوق در دو شرایط تنش شوری ۱۱ دسی‌زیمنس بر متر و بدون تنش شوری کشت گردیدند. نتایج آزمایش نشان داد که در شرایط آزمایشگاهی با افزایش شوری، T50 (مدت زمان لازم برای ۵۰ درصد جوانه زنی) افزایش یافت. همچنین بدون در نظر گرفتن نوع رقم، آستانه تحمل به شوری در مرحله جوانه زنی ۸/۳۷ دسی‌زیمنس بر متر با شیب ۱/۶۴ تعیین شد. در شرایط مزرعه‌ای و شرایط بدون تنش شوری، بیشترین عملکرد را رقم KFS2 با متوسط ۷۷/۲ تن در هکتار داشت. در شرایط تنش شوری، بالاترین عملکرد مربوط به رقم KFS2 با عملکرد ۴۹/۴ تن در هکتار بود (آناقلی و همکاران، ۱۳۸۹). همچنین به منظور بررسی اثر تنش شوری بر رشد، عملکرد و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک ارقام سورگوم علوفه‌ای، آزمایشی با دو سطح

شوری آب آبیاری ۷ و ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر و سه رقم سورگوم علوفه‌ای (پگاه، اسپیدفید سفید و قرمز) انجام شد. نتایج نشان داد که تنش شوری باعث کاهش معنی‌دار ویژگی‌های ارتفاع بوته و سطح برگ شد. بیشترین وزن خشک علوفه در تمام سطوح شوری متعلق به رقم پگاه بود. ضمن این که نتایج نشان داد با افزایش شوری در دو رقم پگاه و اسپیدفید فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت از روند افزایشی معنی‌داری برخوردار بود، به طوری که در رقم پگاه با افزایش شوری به ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر، در مقایسه با شاهد، آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، پراکسیداز و کاتالاز به ترتیب به میزان ۲/۱، ۴/۵ و ۲/۸ برابر افزایش نشان داد. با افزایش شوری تا سطح ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر در مقایسه با شاهد، نسبت سدیم به پتاسیم در اندام هوایی ارقام اسپیدفید سفید، قرمز و پگاه به ترتیب به میزان ۱۰/۷، ۶/۸ و ۱/۷ برابر افزایش نشان داد و در ریشه ارقام مذکور به ترتیب به میزان ۹/۶، ۸/۱ و ۴/۷ برابر افزایش یافت (علی نیا و کاظمینی، ۱۳۹۶). این پژوهش به منظور ارزیابی صفات رشد و تحمل به شوری پنج رقم سورگوم با استفاده از شاخص‌های تحمل به شوری در شرایط کنترل شده گلخانه به منظور معرفی متحمل‌ترین رقم به شوری برای کاشت در مناطق شور صورت پذیرفت. همچنین تعیین رگرسیون بین سطوح مختلف شوری با وزن خشک اندام هوایی در هر رقم به منظور مطالعه تولید ماده خشک اندام هوایی در سطوح مختلف شوری که کمک شایانی در تعیین تحمل به شوری ارقام می‌نماید، از دیگر اهداف این پژوهش بود.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، پاسخ‌های رشدی و فیزیولوژیک پنج رقم سورگوم نسبت به سطوح مختلف شوری آب آبیاری با طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی در قالب فاکتوریل با دو عامل شوری و رقم در گلخانه تحقیقاتی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان تهران در سال ۱۳۹۷ مطالعه شد. عامل اول شامل پنج سطح

به عنوان فیلتر ریخته شد. پنج سانتی متر بالای گلدان‌ها برای اعمال آبیاری خالی در نظر گرفته شد و بقیه پر از خاک شد. خاک مورد استفاده برای کاشت از ایستگاه مرکزی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان تهران تامین شد که ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن در جدول ۱ آورده شده است.

در هر گلدان در ابتدای خرداد ماه پنج بذر کاشته شد. پس از کاشت بذرها روی آنها یک لایه ماسه بادی ریخته شد تا از تبخیر سریع رطوبت کاسته شود. برای آبیاری گلدان‌ها از آب شور طبیعی با رقیق‌سازی با آب غیرشور ($EC=0.5 \text{ dS.m}^{-1}$) طبق تیمارهایی مورد نظر استفاده شد (جدول ۲).

شوری آب آبیاری (بدون محدودیت شوری، ۴، ۸، ۱۲ و ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر از منبع آب شور طبیعی از طریق رقیق‌سازی با آب غیرشور) و عامل دوم شامل پنج رقم سورگوم (اسپیدفید، پگاه، سپیده، پیام و کیمیا) در چهار تکرار بود که در مجموع ۱۰۰ گلدان آزمایشی را تشکیل می‌داد. سطوح شوری به گونه‌ای انتخاب شدند که با توجه به آستانه تحمل به شوری سورگوم که ۶/۸ دسی‌زیمنس بر متر گزارش شده است (فرانکوئیس و همکاران، ۱۹۸۴)، تنش شوری به گیاه وارد شود.

گلدان‌های مورد استفاده از جنس پولیکا با قطر دهانه ۲۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر که داری زهکشی انتهایی بودند بودند. برای اینکه زهکشی با سهولت بیش‌تری انجام شود در کف تمامی گلدان‌ها یک لایه شن ریز

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در گلدان‌ها

K(ava) mg.kg ⁻¹	P(ava) mg.kg ⁻¹	Total N %	O.C %	T.N.V %	pH	Ec dS m ⁻¹
۳۶۳	۱۱/۲	۰/۰۵	۰/۵۷	۲۳	۷/۲	۱/۱

ادامه جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در گلدان‌ها

B mg.kg ⁻¹	Fe mg.kg ⁻¹	Mn mg.kg ⁻¹	Cu mg.kg ⁻¹	Zn mg.kg ⁻¹	بافت	Sand %	Silt %	Clay %
۰/۸	۳/۲۶	۵/۶۴	۰/۶۳	۱/۱	لوم رسی	۲۲	۴۴	۳۴

جدول ۲- ویژگی‌های شیمیایی آب آبیاری

SAR	سدیم meq/l	پتاسیم meq/l	منیزیم meq/l	کلسیم meq/l	سولفات meq/l	کلر meq/l	بی‌کربنات meq/l	کربنات meq/l	pH	EC dS/m
۲۶/۷	۱۱۹/۶	۰/۶۹	۲۸/۶	۱۱/۴	۳۴/۲	۱۲۲/۶	۳/۵	۰	۷/۷	۱۶/۶

و سبزشدن بوته‌ها و استقرار آنها، بوته‌ها تنک و دو بوته در هر گلدان حفظ شد. حجم آب آبیاری برای گلدان‌ها براساس اندازه‌گیری رطوبت خاک گلدان و رساندن آن به ظرفیت مزرعه محاسبه شد (۲۳۵۰ سانتی‌متر مکعب) و کمبود آن در طول اجرای آزمایش از طریق وزن کردن گلدان‌ها جبران گردید. در طول دوره آزمایش حمعا ۱۵ بار آبیاری صورت پذیرفت. در طول اجرای آزمایش (غیر از سه نوبت اول)، گلدان‌ها با محلول غذایی (همراه با آب آبیاری تیمارهای شوری) رقیق‌شده هوگلند (نصف غلظت اصلی) آبیاری شدند (هوگلند و آرنون، ۱۹۵۰). آزمایش به مدت هشت هفته (تا قبل از مرحله گلدهی) ادامه داشت.

برای رقیق‌سازی آب شور و رسیدن به هدایت الکتریکی تیمارهای پژوهش، ابتدا هدایت الکتریکی آب شور طبیعی با افزودن آب غیرشور روی هدایت الکتریکی ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر تثبیت شد. سپس برای رسیدن به هدایت الکتریکی ۴، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، آب شور طبیعی به نسبت‌های چهار به سه، دو به یک و چهار به یک (آب شور به آب غیرشور) با آب غیرشور رقیق‌سازی شد. برای افزایش مقاومت گیاهچه نسبت به شوری، تا زمان استقرار گیاهچه در گلدان، رژیم شوری اعمال نشد و گلدان‌ها فقط با آب معمولی بدون محدودیت شوری ($EC=0.5 \text{ dS m}^{-1}$) آبیاری شدند. پس از گذشت ۱۰ روز

ریشه در شرایط تنش شوری به وزن آن در شرایط غیر تنش شوری به شوری و نسبت سدیم و کلر برگ به ریشه نیز محاسبه شد.

حساسیت ارقام به تنش شوری با استفاده از ضریب حساسیت به تنش شوری فیشر نیز محاسبه گردید (فیشر و مورر، ۱۹۷۸) (رابطه ۱).

$$S = \frac{1 - \left(\frac{Y_s}{Y_p}\right)}{1 - \left(\frac{Y_s}{Y_p}\right)} \quad (1)$$

که در آن :

S: ضریب حساسیت به تنش

Y_s : میانگین وزن خشک اندام هوایی رقم مورد نظر در شرایط تنش شوری

Y_p : میانگین وزن خشک اندام هوایی همان رقم در شرایط غیر تنش

Y_s : میانگین وزن خشک اندام هوایی تمام ارقام در شرایط تنش شوری

Y_p : میانگین وزن خشک اندام هوایی تمام ارقام در شرایط غیر تنش می باشند.

رگرسیون بین سطوح مختلف شوری آب آبیاری و وزن خشک نسبی اندام هوایی برای هر رقم محاسبه شد. سپس با استفاده از معادله رگرسیون هر رقم، سطحی از شوری آب آبیاری که موجب کاهش ۵۰ درصدی وزن خشک نسبی اندام هوایی در هر رقم می شد، محاسبه گردید. وزن خشک نسبی اندام هوایی از رابطه ۲ محاسبه شد.

$$RDW = \frac{TDW}{CDW} 100 \quad (2)$$

که در آن:

TDW: وزن خشک اندام هوایی تیمار مورد نظر (تیمارهای ۴، ۸، ۱۲ و ۱۶ دسی زیمنس بر متر آب آبیاری)

CDW: وزن خشک اندام هوایی تیمار شاهد (بدون محدودیت شوری آب آبیاری)

تجزیه واریانس داده های صفات اندازه گیری شده با نرم افزار MSTATC انجام شد. مقایسه میانگین ها نیز با استفاده از آزمون چند دامنه ای دانکن صورت پذیرفت.

پس از گذشت هشت هفته، شاخص کلروفیل برگ با استفاده از دستگاه کلروفیل سنج (مینولتا ساخت ژاپن) اندازه گیری شد. برای این منظور شاخص کلروفیل پنج برگ اندازه گیری و میانگین آن محاسبه گردید و به عنوان شاخص کلروفیل برگ واحد آزمایشی وارد محاسبات گردید.

ارتفاع بوته نیز در هر واحد آزمایشی از کف گلدان تا انتهای ساقه با خطکش با دقت میلی متر ثبت گردید. سپس بوته ها از سطح خاک گلدان کف بر شدند. برای جداسازی ریشه از خاک، گلدان ها به صورت عمودی به کف زمین کوبیده شدند و ستون های خاک به صورت کامل از داخل گلدان ها خارج شدند. ریشه های هر قسمت تا جایی که امکان داشت به صورت دستی از خاک جدا گردید. برای جدا کردن ریشه های باقی مانده در خاک از الک استفاده شد. در داخل الک، خاک اطراف ریشه ها به صورت کامل شستشو داده شد و ریشه های باقی مانده جمع آوری شدند (حسن پور و همکاران، ۱۳۹۵). هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک تیمارهای مختلف نیز در پایان آزمایش با استفاده از دستگاه هدایت سنج الکتریکی (مدل ۶۵۱۳ مارک JENWAY ساخت انگلیس) تعیین گردید. صفات رشدی مورد اندازه گیری شامل وزن خشک ریشه، وزن خشک اندام هوایی، طول اندام هوایی و سطح برگ بود. برای اندازه گیری وزن ریشه و اندام هوایی، ابتدا ریشه و اندام هوایی برداشت شده و به تفکیک داخل پاکت کاغذی گذاشته شد و برای خشک شدن در آون به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد قرار گرفت. سپس پاکت ها از آون خارج و وزن خشک ریشه و اندام هوایی توسط ترازوی دیجیتالی تا دو رقم اعشار اندازه گیری شد. سطح برگ با استفاده از دستگاه اندازه گیری سطح برگ (Delta T MK2, England) اندازه گیری شد. غلظت سدیم، پتاسیم و کلر برگ و ریشه با استفاده از روش های رایج موسسه تحقیقات خاک و آب (امامی، ۱۳۷۵) صورت پذیرفت. نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی، نسبت وزن خشک اندام هوایی در شرایط تنش شوری به وزن خشک آن در شرایط غیر تنش شوری، نسبت وزن خشک

یافته‌ها و بحث

شده است. اثر رقم و اثر شوری در مورد کلیه صفات رشد معنی‌دار بود. اثر رقم و اثر شوری آب آبیاری بر میانگین صفات اندازه‌گیری شده در جدول ۴ آورده شده است.

نتایج تجزیه واریانس داده‌های آزمایش در مورد صفات مرفولوژیک ارقام مختلف سورگوم در جدول ۳ درج

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات مرفولوژیک پنج رقم سورگوم

منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن خشک ریشه	وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک کل	ارتفاع بوته	سطح برگ	شاخص تحمل ریشه	شاخص تحمل اندام هوایی	شاخص کلروفیل برگ
بلوک	۳	۰/۱۸ ^{ns}	۰/۱۶ ^{ns}	۰/۴۶ ^{ns}	۲۲/۰ ^{ns}	۲۶۱ ^{ns}	۰/۱۳ ^{ns}	۰/۰۰ ^{ns}	۲۱/۴ ^{ns}
رقم	۴	۱۴ ^{**}	۷/۲۹ ^{**}	۴۰/۹۶ ^{**}	۵۷۶/۷ ^{**}	۳۶۳۳۵ ^{**}	۰/۱۴ ^{**}	۰/۱۸ ^{**}	۱۱۵ ^{**}
شوری	۴	۵۲ ^{**}	۵۶ ^{**}	۲۱۶ ^{**}	۶۲۶۲/۳ ^{**}	۳۲۱۹۰۸ ^{**}	۱/۵۷ ^{**}	۲/۲۶ ^{**}	۱۷۰۱ ^{**}
رقم×شوری	۱۶	۰/۳۲ ^{ns}	۰/۴۶ ^{ns}	۱/۲۲ ^{ns}	۶۲/۵ ^{ns}	۲۹۷۳ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}	۱۱/۷ ^{ns}
اشتباه	۷۲	۰/۸۲ ^{ns}	۰/۲۱ ^{ns}	۱/۲۳ ^{ns}	۵۴/۸ ^{ns}	۳۰۴ ^{ns}	۰/۰۲ ^{ns}	۰/۰۰ ^{ns}	۳/۹ ^{ns}
ضریب تغییرات		۵/۷	۷/۶	۸/۳	۶/۶	۸/۲	۴/۱	۴/۶	۷/۵

علامت ns، * و ** به ترتیب به معنای عدم وجود تفاوت آماری معنی‌دار، تفاوت آماری معنی‌دار در سطح پنج درصد و تفاوت آماری معنی‌دار در سطح یک درصد می باشد

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات رقم و تیمارهای شوری بر شاخص‌های مرفولوژیک

عامل رقم	وزن خشک اندام هوایی بوته (g)	وزن خشک ریشه بوته (g)	وزن خشک به اندام هوایی (g)	وزن خشک اندام هوایی به ریشه (g)	ارتفاع بوته (cm)	سطح برگ بوته (cm ²)	شاخص تحمل اندام هوایی	شاخص تحمل ریشه	شاخص کلروفیل
اسپیدفید	۴/۶۸a	۳/۵۱a	۰/۷۵a	۱/۳۳a	۸۸/۴a	۲۳۴a	۰/۷۱a	۰/۶۴a	۴۳/۲a
کیما	۴/۵۲a	۳/۱۷b	۰/۶۹a	۱/۴۲a	۷۳/۴b	۲۱۹b	۰/۷۶a	۰/۶۰a	۴۲/۸a
پیام	۳/۲۰b	۲/۳۴c	۰/۷۳a	۱/۳۶a	۶۶/۸bc	۱۵۱cd	۰/۶۶ab	۰/۵۴b	۴۰/۶b
سپیده	۳/۱۷c	۲/۲۸c	۰/۷۱a	۱/۳۹a	۶۷/۴bc	۱۵۶c	۰/۵۷b	۰/۴۶c	۴۰/۳b
پگاه	۲/۹۲d	۲/۰۹c	۰/۷۱a	۱/۳۹a	۵۹/۸c	۱۴۲d	۰/۵۷b	۰/۴۰d	۳۷/۲c
عامل شوری									
۰	۵/۷۲a	۵/۰۰a	۰/۸۷a	۱/۱۴e	۱۱۸a	۳۶۰a	۱a	۱a	۵۱/۴a
۴	۴/۷۹b	۳/۶۷b	۰/۷۶b	۱/۳۰d	۸۸b	۲۵۴b	۰/۸۴b	۰/۷۳b	۴۶/۵b
۸	۳/۷۱c	۲/۳۵c	۰/۶۳c	۱/۵۷c	۷۲c	۱۵۰c	۰/۶۴c	۰/۴۵c	۴۲/۷c
۱۲	۲/۵۳d	۱/۳۹ d	۰/۵۴d	۱/۸۲b	۴۶d	۸۸d	۰/۴۴d	۰/۲۸d	۳۵/۵d
۱۶	۱/۷۵e	۰/۸۸e	۰/۵۰e	۱/۹۸a	۲۸e	۴۹e	۰/۳۰e	۰/۱۸e	۲۸/۰e

اعداد با علامت انگلیسی مشابه در هر ستون و برای هر عامل (شوری یا رقم) تفاوت آماری معنی دار با هم ندارند

وزن خشک ریشه، وزن خشک اندام هوایی و نسبت وزن

خشک ریشه به اندام هوایی

وزن خشک ریشه و اندام هوایی تحت تاثیر اثر رقم و شوری قرار داشت (جدول ۳). وزن خشک ریشه و اندام هوایی ارقام مختلف مورد مطالعه با هم اختلاف معنی دار آماری داشتند (جدول ۴). بیشترین وزن خشک ریشه و اندام هوایی به ترتیب ۳/۵۱ و ۴/۶۸ گرم بر بوته مربوط به رقم اسپیدفید و کمترین میزان آن به ترتیب به میزان ۲/۰۹ و ۲/۹۲ گرم در بوته مربوط به رقم پگاه بود. وزن خشک

اندام هوایی اسپیدفید و کیما تفاوت آماری معنی‌داری با هم نداشتند، ضمن این که وزن خشک ریشه ارقام پیام، سپیده و پگاه نیز تفاوت آماری معنی‌داری با هم نشان ندادند. وزن خشک ریشه و اندام هوایی تحت تاثیر سطوح مختلف شوری قرار گرفتند (جدول ۳). شوری باعث کاهش معنی‌دار وزن خشک ریشه و اندام هوایی گردید، به گونه‌ای که وزن خشک ریشه از پنج گرم در تیمار شاهد به ۳/۶۷، ۲/۳۵، ۱/۳۹ و ۰/۸۸ گرم در بوته در تیمارهای ۴، ۸، ۱۲ و ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر رسید که به ترتیب موید ۲۶/۶، ۵۳،

۷۲ و ۸۲ درصد کاهش وزن خشک نسبت به تیمار شاهد بود. هم چنین تنش شوری موجب کاهش معنی دار وزن خشک اندام هوایی ارقام مختلف سورگوم شد، به گونه ای که وزن خشک اندام هوایی از ۵/۷۲ گرم در تیمار شاهد به ۴/۷۹، ۳/۷۱، ۲/۵۳ و ۱/۷۵ گرم در تیمارهای شوری ۴، ۸، ۱۲ و ۱۶ دسی زیمنس بر متر رسید که موید ۱۶/۲، ۳۵/۱، ۵۵/۷ و ۶۹/۴ درصد کاهش وزن خشک نسبت به شاهد بود (جدول ۴).

نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی تنها تحت تاثیر شوری قرار گرفت و کاهش معنی دار یافت، به گونه ای که این نسبت در تیمارهای شوری ۴، ۸، ۱۲ و ۱۶ دسی - زیمنس بر متر به ترتیب ۱۲/۶، ۲۷/۵، ۳۷/۹ و ۴۸/۸ درصد کاهش نشان داد که نشان دهنده کاهش بیشتر وزن خشک ریشه در مقایسه با اندام هوایی در اثر تنش شوری بوده است. نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر در مورد کاهش بیشتر وزن خشک ریشه در مقایسه با کاهش وزن اندام هوایی در اثر تنش شوری با نتایج سایر پژوهشگران در مورد گلرنگ مطابقت داشت (دمیر کایا و ایپکت، ۲۰۰۳)، گرچه بر اساس نظر پژوهشگران این موضوع به ژنوتیپ و سطح شوری نیز بستگی دارد (کوچکی و همکاران، ۱۹۸۱).

عملکرد اندام هوایی از جمله صفاتی است که در گیاهان علوفه ای همواره مورد توجه بوده است (سلیمانی و همکاران، ۲۰۰۸)، با این وصف، کاهش شاخص های رشد سورگوم تحت تنش شوری، به ویژه وزن اندام هوایی، توسط پژوهشگران گزارش شده است (لاسردا و همکاران، ۲۰۰۳).

در گیاهان تحت تنش شوری، عدم تورژسانس مناسب سلول، و تخصیص بیشتر مواد سنتز شده برای مقابله با تنش، کوتاه شدن دوره رشد گیاه و فرار از تنش همگی می توانند مانع از توسعه عادی سلول ها و در نتیجه کاهش شاخص های مختلف رشد گیاه شود (لاسردا و همکاران، ۲۰۰۳). کاهش وزن اندام هوایی در اثر شوری در نتیجه کاهش جذب آب، کاهش سطح جذب فتوسنتز کننده، برهم خوردن توازن یونی، عدم جذب یون های ضروری و کاهش

سنتز پروتئین ها می باشد (کریشنامورتی و همکاران، ۲۰۰۷). به طور کلی تجمع یون سدیم در شرایط تنش شوری از طریق تخریب غشاء سلولی موجب آسیب به گیاه می شود و کاهش عملکرد در گیاه را به دنبال خواهد داشت (دین لین و همکاران، ۲۰۱۴). کاهش وزن خشک گیاه می تواند به دلیل تاثیر شوری بر فعالیت های بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی گیاه باشد (کراین، ۲۰۰۵). پژوهشگران بیان نمودند که ارتباط وزن خشک اندام های مختلف گیاه و زیست توده سورگوم به شوری یکی از صفات مهم و قابل اطمینان به منظور بررسی واکنش گیاهان به تنش شوری می باشد (کریشنامورتی و همکاران، ۲۰۰۷). کاهش وزن خشک سورگوم در اثر شوری به دلیل کاهش در اجزای عملکرد گیاه و کاهش تقسیم، رشد و تنفس سلولی توسط پژوهشگران گزارش شده است. به طور کلی، کاهش عملکرد تحت تنش شوری امری طبیعی است، زیرا تحت تنش شوری، میزان یون های سمی کلر و سدیم در برگ افزایش می یابد. بنابراین می توان بخشی از کاهش عملکرد تحت تنش شوری را به تجمع این یون ها در گیاه نسبت داد (طباطبایی و همکاران، ۲۰۱۴). هم چنین مرور منابع نشان می دهد که رابطه منفی بین میزان سدیم بافت گیاه و عملکرد وجود دارد (زاید و همکاران، ۲۰۱۱). هم چنین شوری باعث کاهش مقدار هدایت روزنه ای، تعرق و میزان آب نسی می شود که بر کاهش وزن تر اندام هوایی تاثیر می گذارد (ثابت تیموری و همکاران، ۱۳۸۶). یکی از دلایل کاهش عملکرد را می توان به کاهش فتوسنتز در نتیجه تنش حاصل از تجمع نمک در محدوده ریشه نسبت داد که این مسأله می تواند در نتیجه کاهش ورود دی اکسید کربن به دلیل کاهش هدایت روزنه و هم چنین کاهش سطح برگ باشد (نتوند و همکاران، ۲۰۰۴). از سوی دیگر، افزایش پتانسیل اسمزی در نتیجه حضور نمک در محدوده ریشه و کاهش آن در سلول های گیاهی، موجب تغییر در مسیر انتقال فرآورده های فتوسنتزی و تجمع آن در سلول های ریشه برای مقابله با تنش حاصله خواهد شد. به عبارت دیگر، کاهش انرژی آزاد آب در خاک، گیاه را وادار خواهد

مقاومت متوسطی به شوری داشت (کاظم‌زاده حقیقی، ۲۰۰۸). در پژوهش دیگری، که در آن ۲۷ ژنوتیپ مختلف سورگوم تحت شرایط شوری ۱۰ دسی‌زسمنس بر متر قرار گرفتند، تنوع بسیار گسترده‌ای از نظر صفات عملکرد دانه و طول دوره گلدهی مشاهده شد (ردی و همکاران، ۲۰۱۰).

رگرسیون وزن خشک اندام هوایی با سطوح مختلف شوری در ارقام مختلف سورگوم

به منظور تعیین واکنش وزن خشک اندام هوایی ارقام مختلف سورگوم در سطوح مختلف شوری اقدام به تعیین رگرسیون بین وزن خشک نسبی اندام هوایی هر رقم با سطوح مختلف شوری شد (جدول ۵).

کرد تا برای جذب آب انرژی بیشتری مصرف کند که این امر مستلزم افزایش پتانسیل اسمزی در سلول‌های گیاهی با تجمع مواد قندی در آن است. تجمع مواد آلی ساخته شده در سلول‌های ریشه به منظور تنظیم اسمزی و مقابله با اثرات مخرب شوری در جذب آب، انتقال آن به سایر اندام‌های هوایی و متعاقباً رشد رویشی را محدود ساخته و در نهایت منتج به کاهش عملکرد خواهد شد (امداد و همکاران، ۱۳۷۹). بر اساس پژوهش‌های صورت گرفته، تحمل به شوری در بین ارقام یک گونه نیز می‌تواند متفاوت باشد که این موضوع در مورد سورگوم (کریشنامورتی و همکاران، ۲۰۰۷) گندم (مونز و حامز، ۲۰۰۳) و محصولات دیگر به اثبات رسیده است. کاظم‌زاده حقیقی با بررسی نه رقم سورگوم علوفه‌ای تحت تنش شوری به این نتیجه رسید که از بین ارقام مورد بررسی، فقط رقم ایرانی فلمی‌هرات

جدول ۵- رگرسیون بین سطوح مختلف شوری و عملکرد نسبی وزن خشک اندام هوایی در ارقام مختلف سورگوم

رقم	نوع معادله	شیب	عرض از مبدا	P.Value	هدایت الکتریکی (dS m ⁻¹) آب آبیاری برای کاهش ۵۰ درصدی وزن خشک نسبی اندام هوایی
اسپیدفید	خطی	-۴/۰۳	۱۰۶/۲	P<0.01	۱۳/۸۹
کیمیا	خطی	-۴/۰۹	۱۰۳/۴	P<0.01	۱۲/۹۵
پیام	خطی	-۴/۸۳	۹۷/۰	P<0.01	۹/۷۳
سپیده	خطی	-۴/۸۰	۹۶/۲	P<0.01	۹/۶۲
پگاه	خطی	-۴/۸۲	۹۵/۸	P<0.01	۹/۵۰

تفاوت آماری معنی‌داری با هم نداشتند شوری باعث کاهش معنی‌دار ارتفاع بوته شد. به گونه‌ای که ارتفاع بوته در تیمارهای ۴، ۸، ۱۲ و ۱۶ دسی‌زسمنس بر متر به ترتیب ۱۶/۹، ۲۴/۴، ۲۳/۷، ۳۲/۳ درصد نسبت به شاهد (۱۱۸ سانتی‌متر) کاهش یافت (جدول ۴). کاهش ارتفاع بوته می‌تواند نتیجه کاهش رشد سلول در اثر شوری و کاهش تخصیص اسیمیلات‌ها، به دلیل کاهش سطح فتوسنتزکننده به منظور رشد باشد. رشد طولی ساقه نتیجه فعالیت مریستم میان‌بافتی گره‌ها است و طول میان‌گره‌ها به علت افزایش تعداد سلول‌ها و عمدتاً افزایش اندازه سلول‌ها افزایش می‌یابد که در اثر شوری تعداد و طول میان‌گره کاهش و در نهایت ارتفاع گیاه نیز کاهش می‌یابد (لاسرده و همکاران، ۲۰۰۳). با افزایش غلظت نمک‌ها، فشار اسمزی محلول خاک زیاد می‌شود، در نتیجه مقدار انرژی که گیاه

بر اساس نتایج حاصله، ارقام اسپیدفید، کیمیا، پیام، سپیده و پگاه در شوری‌های ۱۳/۸۹، ۱۲/۹۵، ۹/۷۳، ۹/۶۲ و ۹/۵۰، دچار کاهش ۵۰ درصدی وزن خشک اندام هوایی شدند که نشان‌دهنده تحمل بیشتر رقم اسپیدفید به شوری می‌باشد.

ارتفاع بوته

ارتفاع بوته ارقام مختلف سورگوم تحت تأثیر اثر رقم و شوری قرار داشت (جدول ۳). ارتفاع بوته ارقام مختلف مورد مطالعه با هم اختلاف معنی‌دار آماری داشتند (جدول ۴). بیشترین ارتفاع بوته مربوط به رقم اسپیدفید (۸۸/۴ سانتی‌متر) بود که با سایر ارقام تفاوت آماری معنی‌دار داشت. ارقام کیمیا، پیام و سپیده و پگاه

باید صرف جذب آب از خاک نماید، افزایش می‌یابد که این عمل باعث افزایش تنفس و کاهش ارتفاع و عملکرد گیاه می‌شود (مولوی و همکاران، ۱۳۹۱). نتایج پژوهش‌ها نشان داده است که با تجمع نمک در گیاه، شیب اسمزی بین بیرون و داخل سلول افزایش می‌یابد. لذا برای توازن ترمودینامیکی بین بیرون و داخل سلول، آب از داخل سلول خارج می‌گردد، سلول پلاسمولیز می‌گردد و در نهایت رشد سلول متوقف و یا سلول از بین می‌رود که نهایتاً کاهش ارتفاع گیاه را در پی خواهد داشت (وولکمار و همکاران، ۱۹۹۸).

شاخص تحمل ریشه و اندام هوایی و به شوری

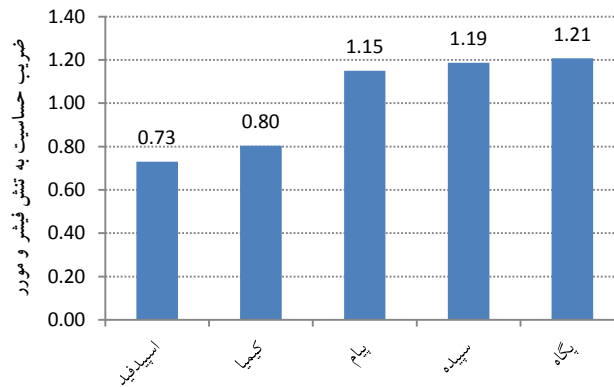
شاخص تحمل ریشه به شوری تحت تاثیر اثر رقم و شوری قرار گرفت (جدول ۳) که این شاخص در ارقام مختلف مورد مطالعه متفاوت بود (جدول ۴). بیشترین شاخص تحمل ریشه مربوط به رقم اسپیدفید و کیمیا بود که با سایر ارقام تفاوت آماری معنی‌دار داشتند. از نظر شاخص تحمل ریشه، ارقام به ترتیب اسپیدفید و کیمیا، پیام، سپیده و پگاه طبقه بندی شدند، به گونه‌ای که ارقام اسپیدفید و کیمیا متحمل‌ترین و رقم پگاه حساس‌ترین رقم به شوری شناخته شد (جدول ۴). شاخص تحمل ریشه تحت تاثیر سطوح مختلف شوری نیز قرار گرفت و در اثر تنش شوری کاهش معنی‌دار یافت، به گونه‌ای که شاخص فوق در تیمارهای ۴، ۸، ۱۲ و ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب ۲۷، ۵۳، ۷۲ و ۸۲ درصد نسبت به شاهد کاهش نشان داد (جدول ۴).

شاخص تحمل اندام هوایی نیز تحت تاثیر اثر رقم و شوری قرار داشت (جدول ۳). این شاخص در ارقام مختلف مورد مطالعه اختلاف معنی‌دار آماری داشت

(جدول ۴). بیشترین شاخص تحمل اندام هوایی مربوط به رقم اسپیدفید و کیمیا بود که تفاوت آماری معنی‌دار با ارقام سپیده و پگاه داشتند (جدول ۴). این شاخص تحت تاثیر سطوح مختلف شوری نیز قرار گرفت و کاهش یافت، به گونه‌ای که شاخص فوق در تیمارهای شوری ۴، ۸، ۱۲ و ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب ۳۶، ۱۶، ۵۶ و ۷۰ درصد کاهش نسبت به تیمار شاهد نشان داد (جدول ۴). شاخص تحمل به شوری ریشه و اندام هوایی نشان‌دهنده حساسیت اندام مورد مطالعه به شوری است. هر چه این شاخص کوچک‌تر باشد، نشان‌دهنده این است که وزن اندام مورد مطالعه در تیمار تنش شوری نسبت به تیمار غیرشور، بیشتر کاهش یافته است که نشان‌دهنده حساسیت اندام مورد مطالعه به شوری است (اشرف و همکاران، ۲۰۰۶). از این شاخص به‌طور موفقیت‌آمیزی برای ارزیابی تحمل به شوری ژنوتیپ‌های سورگوم استفاده شده است (ردمن و همکاران، ۲۰۰۵).

ضریب حساسیت به تنش

بر اساس ضریب حساسیت به تنش شوری، رقم اسپیدفید بیشترین تحمل به شوری و رقم پگاه کمترین تحمل به تنش شوری را داشت (شکل ۱). مقادیر بالای ضریب حساسیت به تنش، نشان‌دهنده حساسیت بیشتر ژنوتیپ‌ها به شوری است و بنابراین هر چه این ضریب کمتر باشد، ژنوتیپ به شوری تحمل بیشتری دارد (چوگان و همکاران، ۲۰۰۸). طی یک پژوهش، ۴۵ لاین و رقم سورگوم را با استفاده از ضریب حساسیت به تنش شوری فیشر و مورر ارزیابی شدند. نتایج نشان داد که ارقام جامبو، سیستان و قلمی هرات بیشترین تحمل به شوری را داشتند (شاگری و همکاران، ۱۳۹۶).



شکل ۱- ضریب حساسیت به تنش شوری در ارقام مختلف سورگوم

سطح برگ

سطح برگ تحت تاثیر اثر رقم و اثر شوری قرار داشت (جدول ۳). بیشترین سطح برگ بوته (۲۳۴ سانتی متر مربع) مربوط به رقم اسپیدفید (۲۳۴ سانتی متر مربع) بود که با سایر ارقام تفاوت آماری معنی دار داشت (جدول ۴). تنش شوری موجب کاهش معنی دار سطح برگ گردید، به گونه ای که سطح برگ در تیمارهای شوری ۴، ۸، ۱۲ و ۱۶ دسی زیمنس بر متر به ترتیب ۲۹/۴، ۵۸/۳، ۷۵/۵، ۸۶/۳ درصد کاهش نسبت به تیمار شاهد (۳۶۰ سانتی متر مربع) نشان داد (جدول ۴). نتایج پژوهش ها موید این مطلب است که سطح برگ، یکی از حساس ترین اندام هوایی به شوری بوده (پاریدا و دس، ۲۰۰۵) و کاهش آن با افزایش سطح شوری آب آبیاری در مطالعات دیگری نیز گزارش شده است (هوگ و همکاران، ۲۰۱۲). تنش شوری با افزایش آستانه فشار تورمی لازم برای رشد سلول های برگ (کروزر و همکاران، ۲۰۰۱) و کاهش فضای بین سلولی از یک سو و ایجاد مسمومیت یونی ناشی از تجمع یون های سدیم و کلر و در نتیجه، صدمه به غشاها و مولکول های پروتئینی از سویی دیگر، زمینه لازم برای کاهش سطح برگ را فراهم می آورد. کاهش سطح برگ نیز متعاقباً باعث کاهش جذب نور و فتوسنتز و در نهایت کاهش تولید فرآورده های فتوسنتزی لازم برای رشد برگ شده و در نتیجه، توسعه برگ های جدید را با مشکل مواجه می سازد (کروزر و همکاران، ۲۰۰۱؛ حیدری شریف آبادی، ۱۳۸۰). کاهش

سطح برگ اولین واکنش گیاهان به تنش شوری ملایم می باشد و می تواند به علت کاهش پتانسیل آب و تورژسانس برگ همراه با پیری برگ ها و نکروزه شدن آنها در تنش شوری باشد، هم چنین کاهش سطح برگ و رشد سایر اندام های گیاهی در اثر افزایش شوری می تواند به دلیل تغییر میزان هورمون های رشد نیز باشد (مان و همکاران، ۲۰۱۱). کاهش میزان فتوسنتز و محدود شدن گسترش سطح برگ با افزایش شوری در گیاه سورگوم (نتوندو و همکاران، ۲۰۰۴) و سایر گیاهان (مقسومی هولاسو و پوراکبار، ۲۰۱۴) نیز گزارش شده است.

شاخص کلروفیل برگ

شاخص کلروفیل برگ تحت تاثیر اثر رقم و اثر شوری بود (جدول ۳). شاخص کلروفیل برگ ارقام مختلف مورد مطالعه با هم اختلاف معنی دار آماری داشتند. بیش ترین شاخص کلروفیل برگ مربوط به ارقام اسپیدفید و کیمیا بود که با سایر ارقام تفاوت آماری معنی دار داشتند (جدول ۴). تنش شوری موجب کاهش معنی دار شاخص کلروفیل برگ گردید، به گونه ای که سطح برگ در تیمارهای شوری ۴، ۸، ۱۲ و ۱۶ دسی زیمنس بر متر به ترتیب ۹/۵، ۱۶/۹، ۳۰/۹، ۴۵/۵ درصد کاهش نسبت به تیمار شاهد (۵۱/۴) نشان داد (جدول ۴). گزارش شده است که در اثر شوری مقدار اتیلن برگ افزایش و میزان کلروفیل گیاه به

کلروفیل و در نتیجه فتوسنتز گیاه کاهش می‌یابد (مونز، ۲۰۰۲).

غلظت سدیم، پتاسیم و کلر در برگ و ریشه

خلاصه جدول تجزیه واریانس داده‌های مربوط به غلظت سدیم، پتاسیم و کلر در برگ و ریشه در جدول ۶ درج شده است. اثر شوری و اثر رقم بر غلظت سدیم و کلر برگ و ریشه و نسبت سدیم و کلر برگ به سدیم و کلر ریشه معنی‌دار بود. اثر رقم و اثر شوری بر میانگین شاخص‌های فوق در جدول ۷ درج شده است.

دلیل فعالیت آنزیم کلروفیلاز به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد (پاریدا و همکاران، ۲۰۰۴). هم‌چنین گزارش شده که تنش شوری باعث باز شدن حلقه‌های پورفیرینی کلروفیل شده و مواد سمی حاصل از این تجزیه به واکوئل‌ها منتقل و باعث از بین رفتن رنگ سبز برگ‌ها می‌شوند (پاریدا و همکاران، ۲۰۰۴). نتایج پژوهش‌ها نشانگر این مطلب است که در اثر شوری، کلروفیل و کلروپلاست‌ها تجزیه می‌شوند (کافی و همکاران، ۲۰۱۱). از دلایل دیگر کاهش شاخص کلروفیل برگ در تیمارهای تحت تنش شوری، اختلال در جذب عناصری مثل منیزیم و آهن می‌باشد که در ساخت کلروفیل نقش اساسی دارند و با کاهش جذب آنها، سنتز

جدول ۶- نتایج تجزیه واریانس غلظت سدیم، کلر و پتاسیم بافت‌های گیاهی پنج رقم سورگوم

منابع تغییرات	درجه آزادی	سدیم برگ	سدیم ریشه	سدیم برگ به ریشه	کلر برگ	کلر ریشه	کلر برگ به ریشه	پتاسیم برگ	پتاسیم ریشه	پتاسیم برگ به ریشه
تکرار	۳	۰/۰۹ ^{ns}	۰/۱۰ ^{ns}	۰/۰۰۲ ^{ns}	۰/۰۹ ^{ns}	۰/۰۸ ^{ns}	۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۳۴ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}	۰/۰۷ ^{ns}
رقم	۴	۰/۰۹ ^{**}	۰/۱۱ [*]	۰/۲۳ ^{**}	۰/۵۱ ^{**}	۰/۱۷ ^{**}	۰/۱۹ ^{**}	۰/۱۶ ^{ns}	۰/۳۴ ^{**}	۰/۲۱ ^{**}
شوری	۴	۰/۰۸ ^{**}	۱۲/۸ ^{**}	۰/۳۹ ^{**}	۶/۵۰ ^{**}	۸/۵ ^{**}	۰/۲۵ ^{**}	۱۲/۱۹ ^{**}	۱/۹۲ ^{**}	۰/۲۸ ^{**}
اثر متقابل	۱۶	۰/۱۱ ^{ns}	۰/۰۴ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}	۰/۰۶ ^{ns}	۰/۰۴ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}	۰/۰۷ ^{ns}	۰/۰۳ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}
اشتباه	۷۲	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۷	۰/۰۳	۰/۰۸
ضریب تغییرات		۵/۳	۵/۲	۴/۶	۶/۴	۷/۲	۴/۳	۵/۶	۵/۷	۴/۱

علامت ns، * و ** به ترتیب به معنای عدم وجود تفاوت آماری معنی‌دار، تفاوت آماری معنی‌دار در سطح پنج درصد و تفاوت آماری معنی‌دار در سطح یک درصد می‌باشد

جدول ۷- مقایسه میانگین اثرات رقم بر غلظت سدیم، کلر و پتاسیم در بافت‌های گیاهی پنج رقم سورگوم (درصد در ماده خشک)

عامل متغیر	سدیم برگ	سدیم	نسبت سدیم برگ به ریشه	کلر برگ	کلر ریشه	نسبت کلر برگ به ریشه	پتاسیم برگ	پتاسیم ریشه	پتاسیم برگ به ریشه
رقم									
اسپیدفید	۰/۹۱b	۱/۴۳ab	۰/۶۱d	۰/۸۵e	۱/۴۱ab	۰/۵۶d	۲/۵۵a	۰/۸۸ab	۲/۸۹c
کیمیا	۰/۹۲b	۱/۳۲b	۰/۶۶cd	۰/۸۱d	۱/۲۳d	۰/۶۲cd	۲/۵۲a	۰/۷۹b	۳/۱۸b
پیام	۱/۱۳ab	۱/۴۳ab	۰/۷۴bc	۰/۹۵c	۱/۳۲c	۰/۶۶bc	۲/۵۰a	۰/۹۸a	۲/۵۵e
سپیده	۱/۳۱a	۱/۵۱a	۰/۸۰ab	۱/۰۵b	۱/۳۷bc	۰/۷۰ab	۲/۴۶b	۰/۸۳b	۲/۹۶d
پگاه	۱/۳۸a	۱/۴۹a	۰/۸۸a	۱/۲۱a	۱/۴۸a	۰/۷۴a	۲/۳۲c	۰/۶۳c	۳/۶۸a
شوری									
۰	۰/۱۵e	۰/۲۹e	۰/۵۳b	۰/۱۳e	۰/۳۰e	۰/۴۴e	۳/۴a	۱/۲۲a	۲/۷۸e
۴	۰/۷۴d	۱/۰۳d	۰/۷۴a	۰/۷۴d	۱/۲۶d	۰/۵۹d	۳/۰b	۰/۹۸b	۳/۰۶d
۸	۱/۲۱c	۱/۵۷c	۰/۸۰a	۱/۰۸c	۱/۵۴c	۰/۷۰c	۲/۵c	۰/۸۶c	۲/۹۰c
۱۲	۱/۶۶b	۲/۰۶b	۰/۸۰a	۱/۲۸b	۱/۷۰b	۰/۷۵b	۲/۰d	۰/۶۲d	۲/۲b
۱۶	۱/۸۹a	۲/۲۶a	۰/۸۳a	۱/۶۲a	۲/۰۱a	۰/۸۰a	۱/۴e	۰/۴۲e	۳/۳a

اعداد با علامت انگلیسی مشابه در هر ستون و برای هر عامل (شوری یا رقم) با هم تفاوت آماری معنی‌دار در سطح ندارند

غلظت سدیم برگ و ریشه

نتایج نشان داد که تفاوت آماری معنی‌داری در میزان سدیم برگ و ریشه ارقام سورگوم وجود دارد (جدول ۶) در این خصوص ارقام اسپیدفید و کیمیا کم‌ترین میزان سدیم برگ و ارقام سپیده و پگاه، بیش‌ترین میزان سدیم برگ و ریشه را دارا بودند (جدول ۷). نتایج نشان داد که غلظت سدیم در برگ و ریشه تحت تاثیر سطوح مختلف شوری می‌باشد. غلظت سدیم در برگ و ریشه با افزایش شوری، افزایش یافت. سدیم برگ در تیمارهای شوری ۴، ۸، ۱۲ و ۱۶ دسی زیمنس بر متر به ترتیب ۳۹۳، ۷۰۶، ۱۰۰۶ و ۱۱۶۰ درصد نسبت به شاهد (۱۵/۰ درصد) افزایش نشان داد. سدیم ریشه نیز در تیمارهای فوق به ترتیب به میزان ۲۵۵، ۴۴۱، ۶۱۰ و ۶۷۹ درصد نسبت به شاهد (۲۹/۰ درصد) افزایش یافت (جدول ۷).

نسبت سدیم برگ به سدیم ریشه نیز مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. این نسبت، یک شاخص مهم برای ارزیابی تحمل به شوری در یک گونه می‌باشد. هر چه این نسبت کوچک‌تر باشد، به معنای انتقال کم‌تر سدیم از ریشه به برگ می‌باشد که نشان دهنده تحمل بیشتر گیاه به تنش شوری می‌باشد (ردی و همکاران، ۲۰۱۰). نتایج نشان داد که رقم اسپیدفید و کیمیا دارای کم‌ترین نسبت سدیم برگ به ریشه و رقم سپیده و پگاه بیش‌ترین مقدار این نسبت را دارا بودند. این بدین معنی است که رقم اسپیدفید و کیمیا مقدار کمتری از سدیم ریشه را به اندام‌های هوایی از جمله برگ ارسال کرده است و از طریق این سازوکار باعث افزایش تحمل به شوری گردیده است (جدول ۷). نتایج پژوهش‌ها نشان داده است که یکی از اثرات مخرب شوری در گیاه، جذب یون سدیم می‌باشد (مونز، ۲۰۰۲). با افزایش کلرید سدیم، غلظت سدیم در محلول خاک و در نتیجه جذب آن توسط گیاه افزایش می‌یابد و می‌تواند در گیاه سمیت ایجاد نموده و سبب ایجاد عدم توازن یونی در گیاه شود. نتایج پژوهش‌های صورت گرفته (مظلومی و رونقی، ۲۰۱۲) نیز افزایش معنی‌دار غلظت سدیم در گیاه اسفناج را در حضور شوری نشان داد که با پژوهش حاضر

همخوانی داشت. شوری باعث افزایش جذب سدیم ریشه شده و نهایتاً این یون در برگ تجمع می‌یابد. یکی از مکانیسم‌های تحمل به شوری در گیاهان از جمله سورگوم، تجمع یون سدیم در ریشه و انتقال کم‌تر آن به برگ می‌باشد. در این راستا هر چه شاخص سدیم برگ به ریشه کوچک‌تر باشد، تحمل ژنوتیپ به شوری بیشتر است (کریشنامورتی و همکاران، ۲۰۰۷). سایر پژوهشگران نیز از این شاخص برای ارزیابی تحمل ژنوتیپ‌های سورگوم به شوری استفاده کرده‌اند (نصیرخان و همکاران، ۲۰۰۷).

غلظت کلر برگ و ریشه

نتایج نشان داد که تفاوت آماری معنی‌داری در غلظت کلر برگ و ریشه ارقام مختلف وجود دارد (جدول ۶). در این خصوص ارقام اسپیدفید و پیام کم‌ترین میزان کلر به ترتیب برگ و ریشه و رقم پگاه بیش‌ترین میزان کلر برگ و ارقام پگاه و اسپیدفید بیش‌ترین میزان کلر ریشه را دارا بودند (جدول ۷). نتایج این پژوهش نشان داد که ارقام با جذب کمتر کلر، عملکرد بیشتری تحت شرایط شور تولید کردند (جدول ۴). یکی از مکانیسم‌های تحمل به شوری در گیاهان، ناشی از تجمع کم‌تر کلر در برگ است. در واقع کلر زیاد در بافت برگ، فرآیندهای فیزیولوژیک گیاه را دچار اختلال می‌کند (تاسی و همکاران، ۲۰۰۴). مشخص شده است که تحمل ژنوتیپ‌های مختلف به شوری از جذب کلر کمتر به وسیله ریشه و انتقال کمتر آن به اندام هوایی ناشی می‌شود (تیکل و تیمان، ۲۰۱۰). نتایج پژوهش حاضر نشان داد که غلظت کلر در برگ و ریشه تحت تاثیر سطوح مختلف شوری می‌باشد. کلر برگ در تیمارهای شوری ۴، ۸، ۱۲ و ۱۶ دسی زیمنس بر متر به ترتیب ۴۶۹، ۷۳۰، ۸۸۴ و ۱۱۴۶ درصد نسبت به شاهد (۱۳/۰ درصد) افزایش نشان داد. کلر ریشه نیز در تیمارهای فوق به ترتیب به میزان ۳۲۰، ۴۱۳، ۴۶۶ و ۵۶۶ درصد نسبت به شاهد (۳۰/۰ درصد) افزایش یافت (جدول ۷). نسبت کلر برگ به ریشه نیز مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. نتایج نشان داد که رقم اسپیدفید و کیمیا دارای کم‌ترین نسبت کلر

برگ به ریشه و رقم پگاه و سپیده بیشترین مقدار این نسبت را دارا بودند. این بدین معنی است که رقم اسپیدفید و کیمیا مقدار کمتری از کلر ریشه را به اندامهای هوایی از جمله برگ ارسال کرده است و از طریق این سازوکار باعث افزایش تحمل به شوری گردیده است (جدول ۷).

غلظت پتاسیم برگ و ریشه

نتایج نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین ارقام مختلف، از لحاظ غلظت پتاسیم برگ وجود ندارد، ولی غلظت پتاسیم در ریشه ارقام مختلف با هم تفاوت آماری معنی‌داری داشت (جدول ۶). بیشترین غلظت پتاسیم ریشه در ارقام پیام و اسپیدفید و کمترین مقدار آن در رقم پگاه مشاهده شد (جدول ۷). نتایج همچنین نشان داد که اثر شوری نیز بر غلظت پتاسیم برگ و ریشه، معنی‌دار بود (جدول ۶). در این رابطه شوری باعث کاهش غلظت پتاسیم بافت‌های مختلف گیاه شد. پتاسیم برگ در تیمارهای شوری ۴، ۸، ۱۲ و ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب ۱۱/۷، ۲۶/۴، ۴۱/۱ و ۵۸/۸ درصد نسبت به شاهد (۳/۴ درصد) کاهش نشان داد. پتاسیم ریشه نیز در تیمارهای فوق به ترتیب به میزان ۱۹/۶، ۲۹/۵، ۴۹/۱ و ۶۵/۶ درصد نسبت به شاهد (۱/۲۲ درصد) کاهش یافت (جدول ۷). نتایج پژوهش‌ها نشان داده است که یون پتاسیم در حفظ تعادل اسمزی، باز و بسته شدن روزنه‌ها و فعال‌سازی تعدادی از آنزیم‌های گیاهی نقش دارد (سزبرا و همکاران، ۲۰۰۹؛ سزبرا و همکاران، ۲۰۰۸). پتاسیم علاوه بر تاثیر اساسی بر متابولیسم‌های حیاتی گیاه، در شرایط تنش شوری بسیار با اهمیت جلوه می‌کند، به نحوی که مدیریت کارآمد پتاسیم در مقابل سدیم در گیاه، در شرایط شوری دارای اهمیت فراوانی است (مونز و تستر، ۲۰۰۸). یکی از عوامل موثر در شناسایی و گزینش لاین‌های متحمل به تنش شوری محتوای پتاسیم برگ است. تحت شرایط تنش شوری با توجه به کاهش پتاسیم و افزایش سدیم در گیاه، می‌توان به رابطه رقابتی بین سدیم و پتاسیم پی برد. افزایش سدیم باعث کاهش کاتیون‌های دیگر مانند پتاسیم و برهم زدن

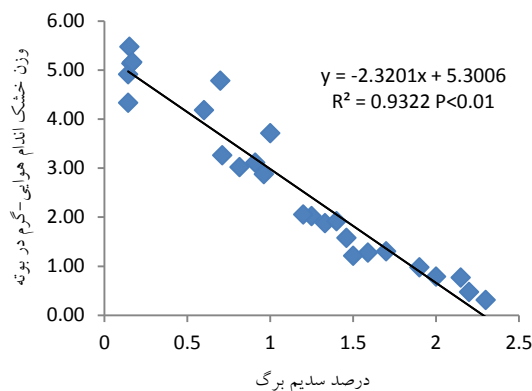
تعادل کاتیونی گیاه می‌شود (دنیلین و همکاران، ۲۰۱۴). کاهش پتاسیم تحت شرایط تنش شوری می‌تواند به دلیل رقابت سدیم بر سر مکان‌های اتصال به ناقل‌ها در غشای پلاسمایی و یا نشت پتاسیم به دلیل عدم ثبات غشا باشد (فرریا سیلوا و همکاران، ۲۰۰۸). اگر تنش شوری با کمبود پتاسیم همراه شود، صدمه به گیاه شدیدتر می‌شود (ژانگ و همکاران، ۲۰۰۸). نتایج پژوهش‌ها نشان داده است که تنش شوری موجب کاهش نسبت K^+/Na^+ می‌گردد که در نتیجه افزایش جذب سدیم و کاهش جذب پتاسیم می‌باشد (نصیرخان و همکاران، ۲۰۰۷). همچنین افزایش جذب سدیم و کاهش جذب پتاسیم در اثر تنش شوری توسط سایر پژوهشگران گزارش شده است (تاهیر و همکاران، ۲۰۱۰). رابطه قوی بین نسبت سدیم به پتاسیم برگ و تحمل به شوری در گیاه گزارش شده است (نتندو و همکاران، ۲۰۰۴، لاسردا و همکاران، ۲۰۰۳). این پژوهشگران بیان نمودند این ویژگی می‌تواند به عنوان یک عامل مهم در انتخاب ارقام توسط اصلاح‌گرها به کار گرفته شود. در نتیجه می‌توان بیان داشت که تجمع کمتر یون سدیم نوعی واکنش دفاعی به تنش شوری است و رقم اسپیدفید و کیمیا از این مکانیسم برای تحمل به شوری استفاده کرده‌اند.

همبستگی غلظت سدیم و کلر برگ با وزن خشک اندام‌های هوایی و وزن خشک کل

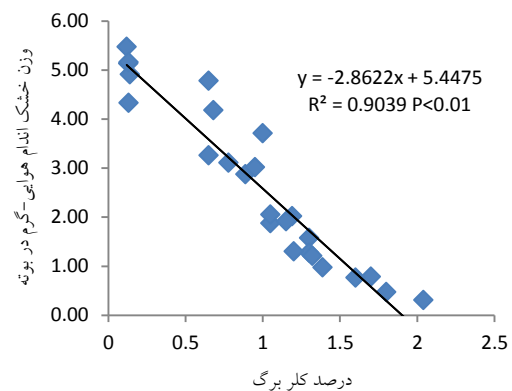
به منظور مشخص شدن تاثیر سدیم و کلر بر وزن خشک اندام هوایی و وزن خشک کل، اقدام به تعیین همبستگی بین غلظت کلر و سدیم برگ با وزن خشک اندام‌های هوایی و وزن خشک کل گردید. نتایج نشان داد که بین غلظت کلر و سدیم برگ با وزن خشک اندام‌های هوایی و وزن خشک کل همبستگی معنی‌دار منفی وجود دارد. شیب خط برازش در مورد کاهش وزن خشک اندام‌های هوایی و وزن خشک کل با کلر منفی‌تر از شیب خط برازش کاهش وزن خشک اندام‌های هوایی و وزن خشک کل با سدیم بود (شکل‌های ۲، ۳، ۴ و ۵). یکی از مکانیسم‌های تحمل به شوری در گیاهان ناشی از تجمع کمتر کلر

در برگ است. در واقع کلر زیاد در بافت‌های برگ، فرایندهای فیزیولوژیک گیاه از جمله جذب و متابولیسم یون نیترات را دچار اختلال می‌کند (تاسی و همکاران، ۲۰۰۴). مشخص شده است که تحمل ژنوتیپ‌های مختلف به شوری از جذب کلر کمتر به وسیله ریشه و انتقال کمتر آن به اندام هوایی ناشی می‌شود (تاکل و تیرمان، ۲۰۱۰). ارتباط منفی معنی‌داری بین میزان عناصر کلر و سدیم در برگ و ریشه با وزن خشک کل گیاه توسط سایر پژوهشگران نیز اعلام شده است. نتایج یک پژوهش در خصوص اثر سطوح مختلف شوری بر خصوصیات مرفوفیزیولوژیک نیشکر نشان داد که وزن خشک کل همبستگی منفی با غلظت سدیم و کلر برگ دارد، به گونه‌ای که شیب خط برازش در مورد کاهش وزن خشک اندام هوایی نیشکر با کلر ($-131/7$) منفی‌تر از شیب خط برازش کاهش وزن خشک اندام هوایی نیشکر با سدیم ($-96/2$) بود

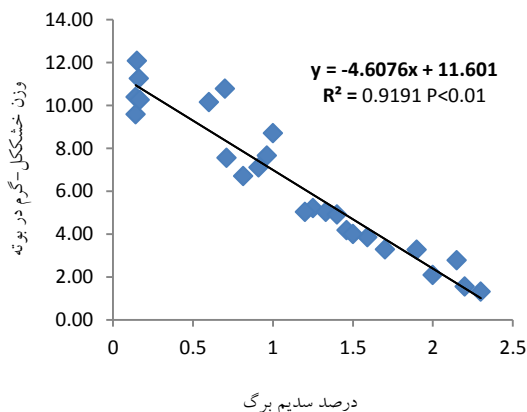
(سلطانی هویزه و همکاران، ۱۳۸۸). با افزایش غلظت عناصر سمی (سدیم و کلر)، گیاه تحت تأثیر اثرات سوء این یون‌ها قرار گرفته، دچار سمیت یونی و به هم خوردن تعادل عناصر غذایی گذشته در نتیجه بسیاری از فرایندهای طبیعی و فیزیولوژیکی گیاه دچار اختلال می‌گردد. کاهش سطح برگ و کاهش تعداد برگ (که همبستگی منفی با محتوای سدیم و کلر دارند) منجر به کاهش فتوسنتز گشته، در نتیجه تولید گیاه کاهش می‌یابد. از سوی دیگر پدیده تحمل به شوری یک پدیده انرژی‌خواه است. گیاه برای مقابله با اثرات مضر شوری مجبور به مصرف انرژی بیشتر می‌باشد. بدین ترتیب در این شرایط مقدار کمتری از تولیدات فتوسنتزی به مصرف تولید ماده خشک و عملکرد می‌رسد بنابراین وزن خشک کل گیاه با افزایش محتوای عناصر سمی کلر و سدیم کاهش می‌یابد (سلطانی هویزه و همکاران، ۱۳۸۸)



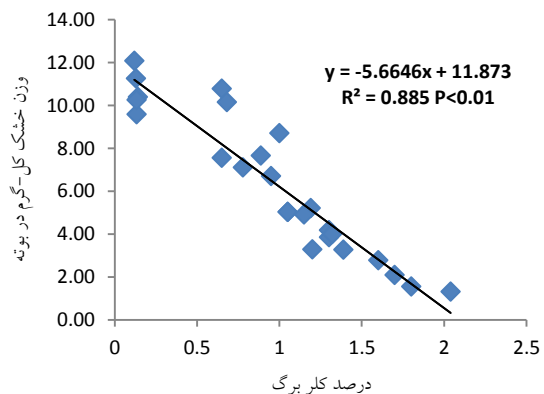
شکل ۳- همبستگی سدیم برگ با وزن خشک اندام هوایی



شکل ۲- همبستگی کلر برگ با وزن خشک اندام هوایی

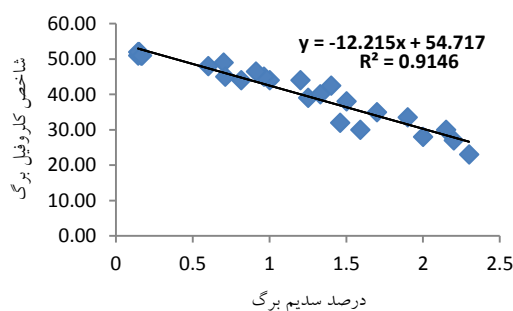


شکل ۵- همبستگی سدیم برگ با وزن خشک کل



شکل ۴- همبستگی کلر برگ با وزن خشک کل

جذب عناصر غذایی از جمله نیتروژن و منیزیم که اتم مرکزی ملکول کلروفیل می‌باشد، موجب محدود شدن ساخت کلروفیل می‌گردد (صفری و همکاران، ۲۰۱۵). بر اثر تنش شوری، تغذیه گیاه مختل شده و کلروفیل یا کم تشکیل شده و یا این که تجزیه می‌شود. در نتیجه، غلظت آن کاهش یافته و دستگاه کلروفیل سنج عدد کمتری را نشان می‌دهد (نجفی و سرهنگ‌زاده، ۲۰۱۲). در شرایط تنش به واسطه افزایش فعالیت آنزیم‌های کلروفیلاز و پراکسیداز، افزایش ترکیبات فنلی و کاهش جذب نیتروژن از غلظت کلروفیل برگ کاسته می‌شود (رسام و همکاران، ۲۰۱۵). نتایج سایر تحقیقات نیز موید وجود همبستگی منفی معنی‌دار بین غلظت سدیم و کلر برگ با شاخص کلروفیل برگ می‌باشد (سیلسپور و همکاران، ۱۳۹۵).

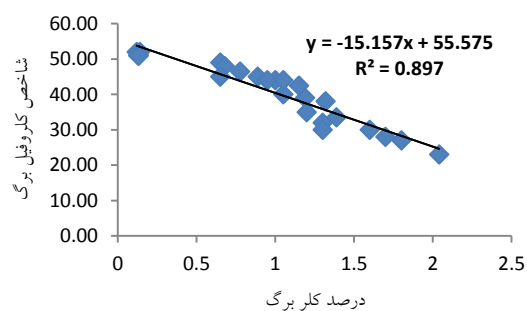


شکل ۷- همبستگی سدیم برگ با شاخص کلروفیل برگ

رفتن سطح کلرید سدیم در محیط ریشه، جذب عناصر غذایی بویژه پتاسیم را کاهش می‌دهد (اجمل‌خان و گلزار، ۲۰۰۳) که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. همچنین پژوهشگران دیگر بیان نمودند که گیاهانی که در معرض شوری قرار می‌گیرند میزان زیادی سدیم جذب می‌کنند که در نهایت سبب کاهش پتاسیم گیاه می‌گردد (هاسگوا و همکاران، ۲۰۰۰).

همبستگی غلظت سدیم و کلر برگ با شاخص کلروفیل برگ

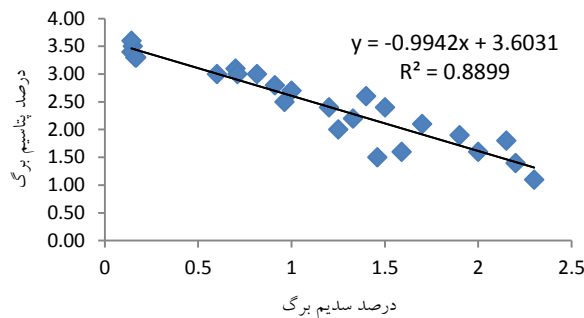
به منظور مشخص شدن تاثیر غلظت سدیم و کلر برگ بر شاخص کلروفیل آن، همبستگی بین کلر و سدیم برگ با شاخص کلروفیل بررسی گردید. نتایج نشان داد که بین غلظت کلر و سدیم برگ با شاخص کلروفیل آن، همبستگی منفی معنی‌داری وجود دارد. شیب خط برازش در مورد کاهش شاخص کلروفیل برگ با کلر منفی‌تر از شیب خط برازش کاهش شاخص کلروفیل برگ با سدیم بود (شکل‌های ۶ و ۷). تخریب کلروفیل در اثر شوری توسط سایر محققین نیز گزارش شده است و با یافته‌های این پژوهش مطابقت داشت. تنش شوری از طریق کاهش



شکل ۶- همبستگی کلر برگ با شاخص کلروفیل برگ

همبستگی غلظت سدیم و پتاسیم برگ

به منظور مشخص شدن تاثیر غلظت سدیم برگ بر غلظت پتاسیم آن، اقدام به تعیین همبستگی بین این دو متغیر گردید. نتایج نشان داد که همبستگی منفی با شیب ۰/۹۹- بین غلظت سدیم برگ و غلظت پتاسیم آن وجود دارد. به عبارت دیگر، سدیم باعث کاهش جذب پتاسیم در برگ شده بود (شکل ۸). پژوهشگران بیان کردند که بالا



شکل ۸- همبستگی غلظت پتاسیم و سدیم برگ

نتیجه گیری

بیشترین وزن خشک اندام هوایی مربوط به رقم اسپیدفید و کیمیا بود که تفاوت آماری معنی داری با سایر ارقام داشتند. همچنین بیشترین وزن خشک ریشه، ارتفاع بوته و سطح برگ نیز مربوط به رقم اسپیدفید بود که تفاوت آماری معنی داری با سایر ارقام داشت. رقم اسپیدفید و کیمیا دارای کمترین نسبت سدیم برگ به ریشه و رقم پگاه بیشترین مقدار این نسبت را دارا بود. همچنین رقم اسپیدفید و کیمیا دارای کمترین نسبت کلر برگ به ریشه و رقم پگاه بیشترین مقدار این نسبت را دارا بود. بنابراین چنین نتیجه گیری شد که رقم اسپیدفید مقدار کمتری از سدیم و کلر ریشه را به اندامهای هوایی از جمله برگ ارسال کرده است و از طریق این سازوکار باعث افزایش تحمل به شوری گردیده است. یکی از عوامل موثر در شناسایی و گزینش لاینهای متحمل به تنش شوری محتوای پتاسیم برگ است. تحت شرایط تنش شوری با توجه به کاهش پتاسیم و افزایش سدیم در گیاه، می توان به رابطه رقابتی بین سدیم و پتاسیم پی برد. افزایش سدیم باعث کاهش کاتیونهای دیگر

مانند پتاسیم و برهم زدن تعادل کاتیونی گیاه می شود و موجب کاهش رشد و عملکرد گیاه می گردد. بر اساس نتایج این پژوهش، بر اساس ضریب حساسیت به شوری فیشر، محتوای کلر برگ، سطح برگ و وزن خشک ریشه، رقم اسپیدفید متحمل ترین رقم و پگاه حساس ترین رقم به شوری شناخته شد.

تشکر و قدردانی

این مقاله بخشی از نتایج پروژه تحقیقاتی "مطالعه تحمل به شوری در ژنوتیپهای مختلف سورگوم و امکان-سنجی افزایش تحمل به شوری با کاربرد سالیسیلیک اسید و هیومیک اسید" با شماره ۹۷۰۳۵۶-۱۰-۴۱-۲۴ است که بدین وسیله از سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی (www.areeo.ir)، موسسه تحقیقات خاک و آب (www.swri.ir) و مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان تهران (www.tehran.areeo.ac.ir) تشکر می گردد.

فهرست منابع

۱. امامی، ع. ۱۳۷۵. روش‌های تجزیه گیاه. موسسه تحقیقات خاک و آب. نشریه شماره ۹۸۲. کرج. ایران
۲. امداد، م. ر. و فرداد، ح. ۱۳۷۹. اثر تنش شوری و رطوبتی بر عملکرد ذرت. مجله علوم کشاورزی ایران، جلد ۳۱. ۶۴۱-۶۵۴
۳. آنالقی، ا. طباطبایی، س. ع. و فومن، ع. ۱۳۸۹. ارزیابی تحمل به شوری ارقام سورگوم علوفه‌ای با استفاده از شاخص‌های حساسیت و تحمل به تنش. مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی، جلد ۳، شماره ۱، ۸۹-۱۰۲
۱. ثابت‌تیموری، م. ح. خزاعی، ا. و نصیری‌محلاتی، م. ۱۳۸۶. تأثیر سطوح مختلف شوری بر فعالیت آنزیم آنتی-اگسیدان برگ و خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه کنگد. مجله پژوهش‌های آب در کشاورزی، جلد ۴. ۱۰۹-۱۱۹.
۲. چوگان، ر.، حیدری، ع. ر.، محمدی، ع. و حدادی، م. ح. ۱۳۸۷. ارزیابی تحمل به خشکی در هیبریدهای ذرت دانه ای با استفاده از شاخص‌های تحمل به خشکی. گیاه و خاک. جلد ۲۴. شماره ۳. ۵۴۳-۵۶۲.
۳. حیدری شریف‌آباد، ح. ۱۳۸۰. گیاه و شوری. انتشارات موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، تهران، ۱۹۰ صفحه.
۴. خدارحم‌پور، ز. و سلطانی، آ. رتبه‌بندی لاین‌های سورگوم علوفه‌ای (*Sorghum bicolor* L) به تنش شوری بر اساس رشد اولیه گیاهچه. ۱۳۹۲. مجله علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی. جلد ۵. شماره ۱۸. ۴۹-۶۵.
۴. رنجبر، غ. و سلطانی گردفرامری، و. ۱۳۹۶. مقایسه عملکرد و غلظت عناصر برگ سورگوم و کوشیا در شوری‌های مختلف آب آبیاری و تراکم کوشیا. پژوهش آب در کشاورزی. جلد ۳۱. شماره ۱. ۲۹-۴۲.
۵. سلطانی حویزه، م. و میرمحمدی میبدی، س. و ارزانی، ا. ۱۳۸۸. بررسی همبستگی صفات مرفوفیزیولوژیک با عملکرد وزن خشک ارقام تجاری و امیدبخش نیشکر تحت شرایط تنش شوری در ابتدای مرحله رشد رویشی. فیزیولوژی گیاهان زراعی. جلد ۲ شماره ۱، ۲۶-۳۳.
۶. سیل‌سپور، م. گلچین، ا. و روزبان، م. ۱۳۹۵. ارزیابی پاسخ‌های رشدی دو رقم زیتون در شرایط شوری. به زراعی کشاورزی، دوره ۱۸، شماره ۱.
۷. شریفان، ح. و کاظمی‌حسنوند، م. ۱۳۹۴. بررسی عملکرد و اجزای عملکرد گیاه سورگوم تحت شرایط آبیاری با آب دریای خزر. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. جلد ۹. ۱۶۹-۱۶۳.
۸. صفری محمدیه، ز. مقدم، م. عابدی، ب. و سمیعی، ل. ۱۳۹۴. تأثیر تنش شوری بر برخی از پارامترهای عملکرد و خصوصیات مورفولوژیکی نعنای (*Mentha spicata* L) در شرایط هیدروپونیک. مجله علوم و فناوری کشت‌های گلخانه‌ای. جلد ۶. شماره ۳. ۹۷-۱۰۷.
۵. علی‌نیا، م. و کاظمینی، س. ع. ۱۳۹۶. اثر تنش شوری بر رشد، عملکرد و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک ارقام سورگوم علوفه‌ای. نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی. جلد ۷، شماره ۲.
۶. علی‌نایی فرد، س. طباطبایی، س. ج.، حاجیلو، ج.، چاپارزاده، ن. ۱۳۸۷. تأثیر مواد آنتی اکسیدانت و شوری بر خصوصیات فتوسنتزی و رشد رویشی زیتون رقم زرد. علوم باغبانی ایران، جلد ۳۹. شماره ۱.
۷. گل‌عین، ب.، میرعباسی، ف.، ربیعی، و.، فیفایی، ذ. ۱۳۹۲. اثر تنش شوری بر میزان کلر، سدیم، پتاسیم، کلروفیل و قندهای محلول در نژادگان‌های مرکبات. تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی. جلد ۷، شماره ۳. ۱۸۳-۱۷۳.
۸. مقصومی هلاسو، س. و پوراکبر، ل. ۱۳۹۳. اثرات تنش شوری بر رشد و برخی پارامترهای فیزیولوژیکی نهال گندم (*Triticum aestivum* L). مجله زیست‌شناسی گیاهی ایران. جلد ۶. شماره ۱۹. ۳۱-۴۲.

۹. مولوی، ح. محمدی، م. و لیاقت. ع. ۱۳۹۱. اثر مدیریت آب شور طی دوره رشد بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت دانهای و پروفیل شوری خاک. مجله علوم و مهندسی آبیاری. جلد ۳۵. ۱۱-۱۸.
10. Ajmal Khan, M. and Gulzar, S. 2003. Germination responses of *Sporobolus ioclados*: A saline desert grass. *Journal of Arid Environments*. 53, 387-394.
 11. Archangi A, Khodambashi M, Mohammadkhani A. 2012. The effect of salt stress on orphological characteristics and Na^+ , K^+ and Ca^{2+} ion contents in medicinal plant fenugreek (*Trigonella foenum graecum* L.) under hydroponic culture. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture*, 3 (2), 33-41.
 12. Ashraf, M., McNeilly, T. and Bradshaw. A. D. 2006. Selection and habitability of tolerance to sodium chloride in four forage species. *Crop Sci*. 227: 232- 234.
 13. Chauhan, R., Chaudhary, R., Singh, A. and Singh. P. K. 2012. Salt tolerance of *Sorghum bicolor* cultivars during germination and seedling growth. *Research Journal of Recent Sciences*, 1(3): 1-10.
 14. Craine, J. M. 2005. Reconciling plant strategy theories of Grime and Tilman. *Journal of Ecology* 93: 1041-1052.
 15. Croser, C., Renault, S., Franklin, J. and Zwiazek, J. 2001. The effect of salinity on the emergence and seedling growth of piceamorian, picceaglausa and pinusbanksiana. *Environ. Poll.* 115:6-16.
 16. Deinlein, U., Stephan, A. B., Horie, T., Luo, W., Xu, G. and Schroeder, J. I. 2014. Plant salttolerance mechanisms. *Trends in Plant Science* 19: 371-379.
 17. Demir Kaya, M. & Ipek, A. 2003. Effect of different soil salinity levels on germination and seedling growth of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 27, 221-227.
 18. Demiral, T. and Turkan, I. 2004. Comparative lipid peroxidation, antioxidant defense systems and proline content in roots of two rice cultivars differing in salt tolerance. *Environ. Exp. Bot.* 53: 247-257.
 19. Ferreira-Silva, S. L., Silveira, J., Voigt, E., Soares, L. and Viegas, R. 2008. Changes in physiological indicators associated with salt tolerance in two contrasting cashew rootstocks. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 20: 51-59.
 20. Francois, L.E., Donovan, T.J. and Maas, E.V. 1984. Salinity effects on seed yield, growth and germination of grain sorghum. *Agron. J.* 76: 741-744.
 21. Hasegawa, P. M. Bressnan, R. A. Zhu, J. K. and Bohnert, H. J. 2000. Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 51, 463-499.
 22. Henggeler, J.C. 2005. The conjunctive use of saline irrigation water on deficit-irrigated cotton. Ph.D Thesis. Biological and Agricultural Engineering, Texas A&M University.
 23. Huang, C.H. Zong, L. Buonanno, M. Xue, X. Wang, T. and Tedeschi, A. 2012. Impact of saline water irrigation on yield and quality of melon (*Cucumismelo* cv. Huanghemi) in northwest China: *European Journal of Agronomy* 43: 68-76.
 24. Jacobsen S. E., Mujica. A and Jensen, C. R. 2003. Resistance of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to adverse, abiotic factors. *J. Exp. Bot.*, 54: 21-21.
 25. Kafi, M., Nabati, J. and Mehrjerdi, Z.M. 2011. Effect of salinity and silicon application on oxidative damage of sorghum (*Sorghum bicolor* L.). *Pak. J. Bot.* 43: 2457-2462.
 26. Kazemzadeh Haghighi, A. 2008. Evaluation of salinity tolerance in relation to proline accumulation and soluble sugars in nine forage sorghum varieties. *Biology Journal* 1 (1): 15-23.
 27. Koyro, H.W and Eisa, S. S. 2008. Effect of salinity on composition, viability and germination of seeds of *Chenopodium quinoa* Willd. *Plant Soil* 302: 79-90.
 28. Krishnamurthy, L., Serraj, R., Hash, A., and Reddy, B. V. 2007. Screening sorghum genotypes for salinity tolerant biomass production. *Euphytica* 156: 15-24.
 29. Lacerda, C. F., Cambraia, J., Oliva, M. A., and Prisco, J. T. N. 2003. Solute accumulation and distribution during shoot and leaf development in two sorghum genotypes under salt stress. *Environmental and Experimental Botany* 49: 107-120.

30. Maas, E.V., and Hoffman, G.J. 1977. Crop salt tolerance—current assessment. Journal of Irrigation and Drainage. Div. ASCE. 103:115– 134.
31. Mane, A. V., Deshpande, T. V., Wagh, B. A and Samant, J. S. 2011. A critical review on physiological changes associated with reference to salinity. International Journal of Environmental Science 1(6): 1192-1216.
32. Mazloomi, F. and Ronaghi, A. 2012. Effect of salinity and phosphorus on growth and chemical composition of two varieties of spinach. Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture, 3(1), 85-96.
33. Munns R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. Plant Cell Environ. 25:239-250.
34. Munns, R. and Tester, M. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. Annu. Rev. Plant Biol. 59: 651-681.
35. Najafi, N. and Sarhangzadeh, E. 2012. Effect of NaCl salinity and soil waterlogging on growth characteristics of forage corn in greenhouse conditions. Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture, 3 (2), 1-15.
36. NasirKhan, M., Manzer, H., Sedighqui, M., Khan, A., and Naeen, M. 2007. Salinity induced changes in growth, enzyme activities, photosynthesis, proline accumulation and yield in linseed genotypes. World Journal of Agricultural Science. 3(5), 685-695.
37. Netondo, G. W., Onyango, J. C. and Beck, E. 2004. Sorghum and Salinity: II. Gas exchange and chlorophyll fluorescence of sorghum under salt stress. Crop Science 44: 806-811.
38. Parida, A. K. and Das, A. B. 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants: A review. Ecotoxicol. Environ. Safety 60: 324-349.
39. Parida, A. K., Das, A. B and Mittra, B. 2004. Effects of salt on growth, Ion accumulation photosynthesis and leaf anatomy of the mangrove. Trees. 18:167-174.
40. Rassam, G. Dadkhah, A. and Khoshnoud Yazdi, A. 2015. Evaluation of Water Deficit on Morphological and Physiological Traits of Hyssop (*Hyssopus officinalis* L.). Journal of Agronomy Sciences. 5(10), 1-12. Reddy, B. V. S., Ashok Kumar, A., Sanjana Reddy, P., Ibrahim, M., Ramaiah, B., Dakheel, A. J., Ramesh, S. and Krishnamurthy, L. 2010. Cultivar options for salinity tolerance in sorghum. Journal of SAT Agricultural Research 8: 1-5. Available online at: [http:// ejournal.icrisat.org](http://ejournal.icrisat.org).
41. Redmann, R. E., Qi, M. Q. and Belyk, M. 2005. Growth of sorghum varieties in response to soil salinity. Can. J. Plant Sci. 94: 797- 799.
42. Rengasamy, P. 2010. Soil processes affecting crop production in salt-affected soils. Funct. Plant Biol., 37: 613-620.
43. Soleimani, M. R., Kafi, M., Ziaee, M. and Shabahang, J. 2008. Effect of limited irrigation with saline water on forage of two local populations of *Kochia scoparia* L. Schrad. Journal of Water and Soil 22: 148-156. Szczerba M. W., Britto D. T. and H. J. Kronzucker 2009. K⁺ transport in plants: physiology and molecular biology. Plant Physiology. 166: 447-466.
44. Szczerba M. W., Britto D. T., Balkos K. D. and Kronzucker, H. J. 2008. NH₄⁺-stimulated and -inhibited components of K⁺ transport in rice (*Oryza sativa* L.). Experimental Botany, 59: 3415–3423.
45. Tabatabaei, S. A., Kouchaki, A. R. and Molasadeghi, J. 2014. Evaluation of salinity tolerance of barley cultivars in vitro and field conditions. Crop Physiology Journal 5 (20): 87-101.
46. Tahir, M., NaeemIqbal, H.R., MuhammaQasim, M., and Yasin, A. 2010. Growth modulation and ion partitioning in salt stressed sorghum (*Sorghum bicolor* L.) by exogenous supply of salicylic acid. Pakistan Journal of Botany, 42, 3047-3054.
47. Teakle, N. L. and Tyerman, S. D. 2010. Mechanisms of Cl transport contributing to salt tolerance. Plant, Cell and Environment 33: 566-589.
48. Teakle, N. L. and Tyerman, S. D. 2010. Mechanisms of Cl transport contributing to salt tolerance. Plant, Cell and Environment 33: 566-589.
49. Trognitz, B. R. 2003. Prospects of breeding quinoa for tolerance to abiotic stress. Food Rev. Int. 19: 129-137.
50. Tsai, Y. C., Hong, C. Y., Liu, L. F. and Kao, H. 2004. Relative importance of Na⁺ and Cl⁻

- in NaCl induced antioxidant systems in roots of rice seedlings. *Physiologia Plantarum* 122: 86-94.
51. Tsai, Y. C., Hong, C. Y., Liu, L. F. and Kao, H. 2004. Relative importance of Na⁺ and Cl⁻ in NaCl induced antioxidant systems in roots of rice seedlings. *Physiologia Plantarum* 122: 86-94.
52. Volkmar, K., Hu, Y., and Steppuhn, H. 1998. Physiological responses of plants to salinity: A review. *Can. J. Plant Sci.* 78: 19-27.
53. Zayed, B. A., Salem, A. K. M. and El-Sharkawy, H. M. 2011. Effect of different micronutrient treatments on rice (*Oriza sativa* L.) growth and yield under saline soil conditions. *World Journal of Agricultural Sciences* 7 (2): 179-184.
54. Zheng, Y., Aijun, J., Tangyuan, N., Xud, J., Zengjia, L. and Gaoming, J. 2008. Potassium nitrate application alleviates sodium chloride stress in winter wheat cultivars differing in salt tolerance. *Journal of Plant Physiology* 165: 32-41

برآورد تبخیر-تعرق واقعی گندم با استفاده از الگوریتم سبال نسبت به نتایج لایسیمتری در شرایط استاندارد در ایستگاه‌های تحقیقاتی تبریز و کرج

علی مرشدی^۱، حسین جعفری و اژدر عنابی میلانی

استادیار پژوهش، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شهرکرد، ایران.

a.morshedi@areeo.ac.ir

استادیار پژوهش، بخش تحقیقات آبیاری و فیزیک خاک، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

jafari52_h@yahoo.com

استادیار پژوهش، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی، سازمان تحقیقات،

آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز، ایران.

a_o_milani@yahoo

دریافت: مهر ۱۴۰۰ و پذیرش: اسفند ۱۴۰۰

چکیده

این پژوهش با هدف برآورد تبخیر-تعرق واقعی گیاه گندم با استفاده از الگوریتم سبال و مقایسه آن با داده‌های اندازه‌گیری شده از لایسیمتر، در دو منطقه مطالعاتی تبریز و کرج در سه سال زراعی (۱۳۹۶ تا پایان سال زراعی ۱۳۹۹) اجرا شد. مقدار تبخیر-تعرق واقعی گندم در طول دوره رشد به دو روش الف: استفاده از ماهواره لندست ۸ در قالب الگوریتم توازن انرژی برای سطح (سبال، SEBAL) و ب: استفاده از لایسیمتر زهکش‌دار، محاسبه و یافته‌ها مقایسه شدند. با توجه به اینکه الگوریتم سبال، تبخیر-تعرق گیاهان را در شرایط واقعی و لایسیمترها تبخیر-تعرق را در شرایط پتانسیل (بدون تنش رطوبتی و دارای پوشش کامل در سطح زمین) ارائه می‌دهند، برای جلوگیری از بروز خطا، در روش استفاده از فناوری سنجش از دور، از تبخیر-تعرق واقعی در پیکسل‌هایی استفاده شد که دارای شرایط رطوبتی مشابه یا نزدیک به شرایط استاندارد در لایسیمتر بودند (طبق تعریف پیکسل سرد در الگوریتم سبال). همبستگی مقدار تبخیر-تعرق واقعی بدست آمده از الگوریتم سبال و لایسیمتر، نسبت مناسبی داشت به‌طوری‌که در منطقه‌های مطالعاتی کرج و تبریز ضریب تبیین (R^2) به ترتیب ۰/۷۳ و ۰/۶۵ بدست آمد. افزون بر این، مقایسه داده‌های تبخیر-تعرق واقعی گندم نسبت به لایسیمتر با استفاده از پارامترهای آماری دیگر مانند MAE، RMSE، NRMSE و MBE نشان داد که در دو منطقه مزبور، نتایج به نسبت خوب بود، ولی مقدار تبخیر-تعرق واقعی برآورد شده توسط سبال در بیشتر موارد، بیش از مقدار تبخیر-تعرق اندازه‌گیری شده توسط لایسیمتر بود. در مجموع، با توجه به مزایای بیشتری که الگوریتم سبال دارد، پیشنهاد می‌شود برای سطح وسیع از این فناوری برای برآورد تبخیر-تعرق واقعی گیاه گندم استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: نیاز آبی واقعی، سنجش از دور، لندست ۸

۱-آدرس نویسنده مسئول: بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شهرکرد، ایران.

مقدمه

در بین گیاهان زراعی، گندم در تأمین مواد غذایی کشور سهم ویژه‌ای دارد به طوری که نزدیک به ۳/۵ میلیون هکتار از مزارع کشور، تحت کشت گندم قرار دارد (آمارنامه کشاورزی، ۱۳۹۸). از این رو برآورد تبخیر-تعرق، به عنوان مبنای برنامه‌ریزی آبیاری، سبب صرفه‌جویی حجم قابل توجهی آب در کشور خواهد شد.

در سال‌های اخیر، به دلیل هزینه‌های فراوان و مشکلات اجرای پروژه‌های لایسیمتری، تخمین مقدار آب مصرفی از طریق برآورد تبخیر-تعرق گیاهان زراعی و باغی بر اساس داده‌های سنجش از دور، از موضوعات مورد توجه بوده است (باستیانسن و همکاران، ۲۰۰۵).

فناوری سنجش از دور و پیشرفت‌های اخیر در مدل‌های برآورد تبخیر-تعرق از طریق سنجش از دور مانند الگوریتم بیلان انرژی برای سطح زمین^۱ (سبال، SEBAL) سبب شده که تخمین تبخیر-تعرق واقعی گیاهان زراعی و باغی در اراضی بزرگ و نواحی گسترده‌ی کشت امکان‌پذیر شود (باستیانسن، ۱۹۹۵؛ باستیانسن و همکاران، ۱۹۹۸).

الگوریتم سبال روشی است که بر پایه روابط تجربی و فیزیکی، میزان تبخیر-تعرق واقعی را با کمترین داده‌های زمینی برآورد می‌کند و اولین بار توسط باستیانسن و همکاران (۱۹۹۸a و ۱۹۹۸b) ارائه شد. این الگوریتم در سال ۲۰۰۲ توسط آلن و همکاران اصلاح شد. الگوریتم سبال در برآورد تبخیر-تعرق واقعی هم در مقیاس مزرعه (صحرائی) و هم در مقیاس حوضه در شرایط اقلیمی متنوعی در بیش از ۳۰ کشور جهان، با دقت نزدیک به ۸۵ درصد در مقیاس صحرائی و ۹۵ درصد در مقیاس روزانه و فصلی آزمون شده است (باستیانسن و همکاران، ۲۰۰۵؛ باستیانسن، ۲۰۰۰؛ باستیانسن و همکاران، ۱۹۹۸b؛ آلن و همکاران، ۲۰۰۲). سنای و همکاران (۲۰۱۶) نیز با استفاده

از مقادیر ماهواره Landsat 8 روش سنجش از دور را برای برآورد تبخیر-تعرق واقعی، مهم و توانا گزارش نمودند. در پژوهش جورج و همکاران (۲۰۱۳) مقدار خطای الگوریتم سبال برابر ۰/۱۵ میلی‌متر در روز بوده است.

در طی سالیان اخیر و در کشور ایران، مطالعات متعددی به منظور ارزیابی صحت و کارایی الگوریتم سبال در برآورد تبخیر-تعرق در مناطق مختلف انجام شده و با نتایج لایسیمتری و دیگر مدل‌های ریاضی، مقایسه شدند. مختاری (۲۰۰۵) در دشت برخوار استان اصفهان نشان داد که تبخیر-تعرق محاسبه شده با استفاده از الگوریتم سبال برای چغندر قند حدود ۲۰ درصد پایین‌تر و برای ذرت ۱۵ درصد بالاتر از مدل پنمن-مانتیت-فائو ۵۶ بوده است. کریمی و همکاران (۱۳۹۱) با استفاده از الگوریتم سبال و تصاویر لندست در دشت ماهیدشت کرمانشاه، بیشترین درصد خطا بین الگوریتم سبال و مقادیر لایسیمتر را برای محصول ذرت، کمتر از ده درصد اعلام کردند. مشتاق و همکاران (۲۰۱۵) توانایی الگوریتم سبال در برآورد تبخیر-تعرق واقعی را در استان اصفهان با استفاده از تصاویر ماهواره Landsat 5 در مقایسه با روش پنمن-مانتیت-فائو ۵۶ تأیید کردند. نروزی و همکاران (۱۳۹۵) کارایی تصاویر ماهواره MODIS را در برآورد تبخیر-تعرق واقعی شالیزارهای شهرستان رشت، مطالعه و مقادیر R^2 و RMSE را برابر با ۰/۳۸۳ و ۳/۳۳۵ میلی‌متر بر روز بدست آوردند. در پژوهش ابراهیمی و همکاران (۱۳۹۵) الگوریتم سبال نسبت به مدل پنمن-مانتیت-فائو ۵۶، دارای ضریب همبستگی ۰/۷۶۴ بود.

هدف از این تحقیق، برآورد و ارزیابی صحت تبخیر-تعرق واقعی گندم با استفاده از الگوریتم سؤال نسبت به نتایج لایسیمتری در طول سه سال زراعی و در دو منطقه مطالعاتی کرج و تبریز با استفاده از شاخص‌های آماری شناخته شده بود.

^۱- Surface Energy Balance Algorithm For Land, SEBAL

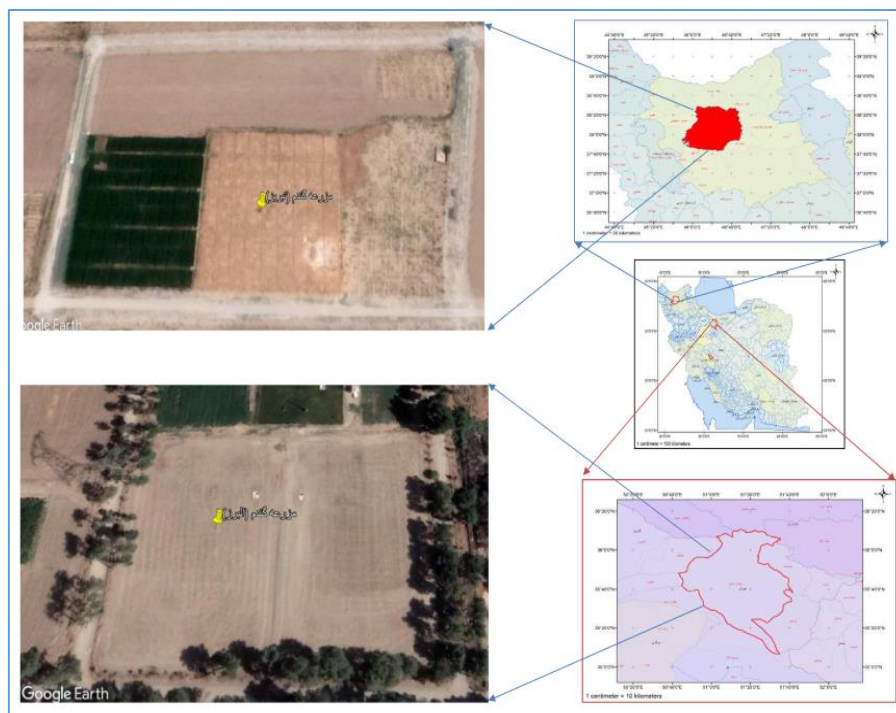
مواد و روش‌ها

محل‌های اجرای پژوهش

محل اجرای آزمایشات لایسیمتری در ایستگاه تحقیقات ستاد مؤسسه تحقیقات خاک و آب در شهرستان کرج (واقع در استان البرز) و ایستگاه تحقیقات خاک و آب مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی در شهرستان خسروشهر (واقع در استان آذربایجان شرقی) بود (شکل ۱). در این پروژه ملی، اندازه‌گیری تبخیر-تعرق گیاه گندم در لایسیمترهای مستقر در ایستگاه‌های تحقیقاتی از یک سو و برآوردهای حاصل از تبخیر-تعرق واقعی به کمک تصاویر ماهواره‌ای (الگوریتم سبال) از سوی دیگر انجام شد. ایستگاه تحقیقات خاک و آب کرج با مشخصات جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۷ دقیقه و ۲۱ ثانیه طول شمالی و ۳۵ درجه و ۴۵ دقیقه و ۳۰ ثانیه عرض شرقی و ارتفاع ۱۲۸۹ متر از سطح دریا، در جنوب شهرستان کرج و در شهر مشکین‌دشت قرار دارد. طبق آمار بلندمدت ایستگاه هواشناسی کرج، میانگین بارندگی سالیانه کرج حدود

۲۴۷/۴ میلی‌متر، میانگین سالیانه دمای هوا ۱۴/۴ درجه سلسیوس که بیشینه و کمینه مطلق آن به ترتیب ۴۲ و ۲۰- درجه سلسیوس، میانگین رطوبت نسبی ۵۳ درصد، میانگین سرعت باد روزانه ۲/۲ متر بر ثانیه و تبخیر سالانه ۲۱۸۴ میلی‌متر و دارای اقلیم نیمه‌خشک با زمستان نسبتاً سرد و تابستان نسبتاً معتدل است (جدول ۱).

ایستگاه تحقیقات خاک و آب تبریز با مشخصات جغرافیایی ۴۶ درجه و ۲ دقیقه و ۳۹ ثانیه طول شمالی و ۳۷ درجه و ۵۸ دقیقه و ۴۲ ثانیه عرض شرقی و ارتفاع ۱۳۶۱ متر از سطح دریا، در غرب شهرستان تبریز و در شهر خسروشهر قرار دارد. طبق آمار بلندمدت ایستگاه هواشناسی تبریز، میانگین بارندگی سالیانه تبریز حدود ۲۶۷، میانگین سالیانه دمای هوا ۱۲/۴ درجه سلسیوس که بیشینه و کمینه مطلق آن به ترتیب ۲۶/۲ و ۴/۱- درجه سلسیوس، میانگین رطوبت نسبی ۵۵ درصد، میانگین سرعت باد روزانه ۲/۶ متر بر ثانیه و دارای اقلیم نیمه‌خشک با زمستان سرد و تابستان گرم است (جدول ۱).



شکل ۱- موقعیت لایسیمترهای مستقر در مزرعه‌های گندم ایستگاه‌های خاک و آب کرج و تبریز

جدول ۱- خلاصه‌ای از مشخصات بلندمدت اقلیمی ایستگاه‌های سینوپتیک تبریز و کرج

پارامتر	میانگین رطوبت نسبی (درصد)	میانگین بارندگی (میلی‌متر)	میانگین بیشینه دمای هوا (سلسیوس)	میانگین کمینه دمای هوا (سلسیوس)	سرعت متوسط باد روزانه (متر بر ثانیه)	اقلیم
کرج	۵۳	۲۴۷/۴	۴۲	-۲۰	۲/۲	زمستان نسبتاً سرد و تابستان نسبتاً معتدل
تبریز	۵۵	۲۶۷	۲۶/۲	-۴/۱	۲/۶	زمستان سرد و تابستان گرم

اندازه‌گیری تبخیر-تعرق گیاه گندم با استفاده از لایسیمتر

در استان البرز از لایسیمتر نصب شده در مزرعه موسسه تحقیقات خاک و آب واقع در مشکین‌دشت کرج با ابعاد ۲×۲×۱ متر (عرض، طول و عمق) در مرکز مزرعه به ابعاد ۳۰ × ۳۰ متر و در استان آذربایجان شرقی از لایسیمتر واقع در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی این استان با ابعاد ۱/۵×۱/۵×۱/۵ متر در مرکز مزرعه به ابعاد ۶۰ × ۶۰ متر استفاده شد. در هر منطقه برای جلوگیری از وقوع تنش آبی گندم داخل لایسیمتر، زمان آبیاری (دور آبیاری) به گونه‌ای تنظیم شد که رطوبت خاک درون لایسیمتر پائین‌تر از ۵۰ درصد آب قابل استفاده در خاک نباشد و به‌منظور اطمینان از آبیاری کامل و نفوذ آب تا پایین منطقه توسعه ریشه گندم درون لایسیمتر، مقدار آب آبیاری تا اندازه‌ای که حداقل ۱۰ درصد از مقدار آن از طریق زهکش نصب‌شده در کف لایسیمتر خارج شود، ادامه پیدا نمود. آب زهکشی شده در هر نوبت آبیاری، جمع‌آوری و اندازه‌گیری شد. تاریخ شروع آماربرداری از آبان ماه تا تیر ماه هر سال و به مدت سه سال زراعی (۱۳۹۶ تا ۱۳۹۹) بود. به‌منظور برآورد تغییر رطوبت خاک داخل لایسیمتر (ΔS) قبل از هر آبیاری، رطوبت خاک در لایه‌های ۱۰ سانتیمتری تا عمق توسعه ریشه گندم بوسیله نوترون‌متر اندازه‌گیری شد. در پایان با استفاده از رابطه ۱ مقدار تبخیر-تعرق گندم محاسبه شد:

$$ET_c = I + P - D \pm \Delta S \quad (1)$$

در این معادله P میزان بارندگی (میلی‌متر)، I میزان آب آبیاری (میلی‌متر)، میزان آب خروجی یا زهکش‌شده

(میلی‌متر)، ET_c میزان تبخیر-تعرق گیاه (میلی‌متر) و ΔS تغییرات رطوبت خاک (ارتفاع معادل تغییرات رطوبت خاک پیش و پس از آبیاری) می‌باشد که بر این اساس مقدار تبخیر-تعرق یا نیاز آبی گیاه در طول فصل زراعی، از رابطه‌ی ۱ برآورد شد (آلن و همکاران، ۱۹۹۸).

برآورد تبخیر-تعرق واقعی گیاه گندم با استفاده از الگوریتم سبال (SEBAL)

در این تحقیق از هشت تصویر ماهواره لندست ۸ برای دشت تبریز و ۱۵ تصویر ماهواره لندست ۸ برای دشت کرج در طول سه سال آزمایش استفاده شد. این تصاویر با دقت تفکیک زمانی ۱۶ روزه و دقت تفکیک مکانی ۳۰ متر در ۳۰ متر از طریق پایگاه اینترنتی 'USGS' تهیه شد. این تصاویر بصورت فشرده بوده (Compressed) و پس از باز کردن (Decompressing) دارای باند‌های مرئی، مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز حرارتی مربوط به ردیف ۱۶۵ و مسیر ۳۵ (کرج) و ردیف ۱۶۸ و مسیر ۳۴ (تبریز) در قالب تصاویر GeoTIFF ذخیره و پردازش شد. تصاویر مربوط به ماهواره به همراه فایل سرآیند (Header) ارائه می‌شوند که دربردارنده اطلاعات مهم برای پردازش تصاویر است. این فایل کوچک دربرگیرنده تاریخ و زمان گذر ماهواره، طول و عرض جغرافیایی مرکز تصویر، زاویه ارتفاعی خورشید (b) در لحظه گذر، مقدار بهره (Gain) و مقدار عرض از مبدأ (Bias) مربوط به تبدیل داده‌های رقومی به شعاع است. زمان گذر برحسب گرینویچ (Greenwich)

$$R_n = (1 - \alpha)R_{S\downarrow} + R_{L\downarrow} - R_{L\uparrow} - (1 - \varepsilon_0)R_{L\downarrow} \quad (3)$$

در این معادله α آلیبدوی سطح زمین و ε_0 تابندگی انتشار حرارتی در طیف حرارتی ($6-14 \mu m$) می باشد. روند کلی محاسبه شار تابش خالص سطح به صورت شماتیک در شکل ۲ ارائه شده است.

شار گرمای خاک G_0 عبارت است از نرخ گنجایش گرما در خاک و پوشش گیاهی ناشی از هدایت گرمایی است. در الگوریتم سبال، ابتدا نسبت G_0/R_n با استفاده از معادله تجربی زیر که توسط باستیانسن (۱۹۹۵) برای نیمه روز بدست آمده، محاسبه شد:

$$\frac{G_0}{R_n} = T_s / \alpha (0.0038\alpha + 0.0074\alpha^2)(1 - 0.98NDVI^4) \quad (4)$$

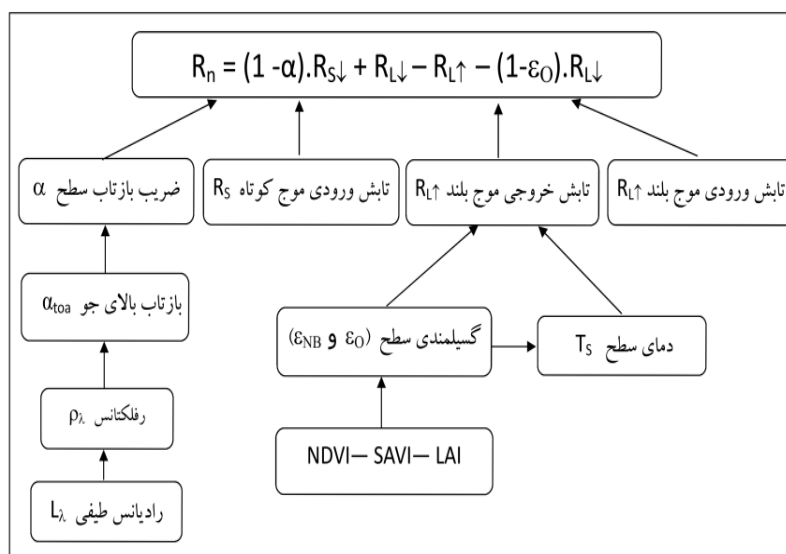
در این معادله T_s دمای سطح ($^{\circ}C$)، α آلیبدوی سطح زمین و $NDVI^1$ شاخص گیاهی می باشد. شار گرمای خاک G_0 در ادامه با ضرب نمودن مقدار G_0/R_n در مقدار محاسبه شده R_n به دست می آید.

(Mean Time, GMT) حدود هفت صبح و به زمان محلی، حدود ۱۱ و ۳۰ دقیقه بود.

الگوریتم سبال بر مبنای استفاده از معادله توازن انرژی (معادله ۲) و محاسبه مقدار شار لحظه ای گرمای نهان تبخیر به عنوان باقیمانده این معادله برای هر پیکسل است (باستیانسن و همکاران، ۱۹۹۸):

$$\lambda ET_{inst} = R_n - G_0 - H \quad (2)$$

در این معادله λET_{inst} شار گرمای نهان تبخیر، R_n میزان تابش خالص خورشیدی، G_0 شار گرمای خاک و H شار گرمای محسوس (همه دارای واحد W/m^2) می باشد. مقدار تابش خالص از بیان چهار شار تابشی در سطح زمین به دست می آید که شامل تابش طول موج کوتاه ورودی ($R_{S\downarrow}$)، باز تابش طول موج کوتاه خروجی ($R_{S\uparrow}$)، تشعشعات طول موج بلند ورودی از اتمسفر ($R_{L\downarrow}$) و تشعشعات طول موج بلند گسیل شده از سطح ($R_{L\uparrow}$) است. تابش خالص لحظه ای در واحد سطح با استفاده از رابطه ۳ محاسبه شد (باستیانسن و همکاران، ۱۹۹۸):



شکل ۲- شمای مراحل محاسبه شار تابش خالص R_n در الگوریتم سبال

گرم) شناسایی و انتخاب شوند. از پیکسل سرد به عنوان پیکسل مرطوب نیز نام برده می شود که در آن پیکسل، از گیاه یونجه که به طور مطلوب آبیاری شده و دارای پوشش

به منظور محاسبه شار گرمای محسوس H در رابطه ۳، ضروری است دو پیکسل مرجع برای تثبیت شرایط مرزی در توازن انرژی (پیکسل سرد و پیکسل

^۱ -Normalized Difference Vegetation Index, NDVI

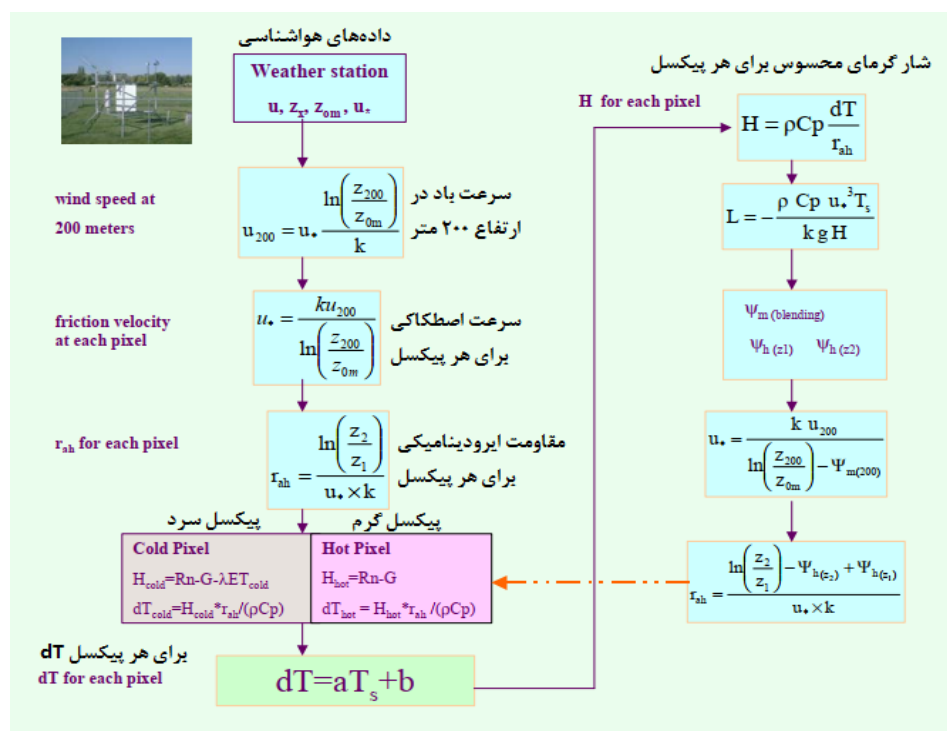
(شکل ۳) است و از رابطه ۵ محاسبه شد (باستیانسن و همکاران، ۱۹۹۸):

$$H = (\rho \cdot c_p \cdot dT) / r_{ah} \quad (5)$$

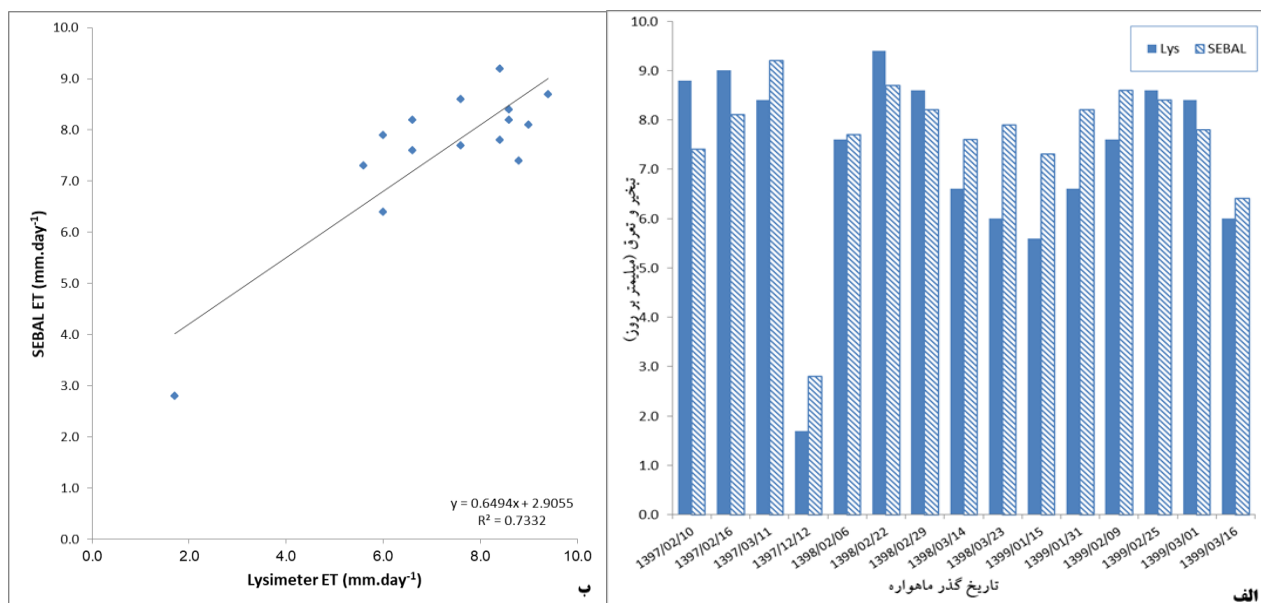
در این معادله ρ عبارت است از وزن مخصوص هوا (kg/m^3)، C_p گرمای ویژه هوا (1004 J/kg/K)، dT برحسب (K) تفاوت دمای (T_1-T_2) بین دو ارتفاع Z_1 و Z_2 و r_{ah} مقاومت آیرودینامیکی برای انتقال گرما (s/m) می‌باشد. شار گرمای محسوس (H) تابع شیب دمایی، زبری سطح و سرعت باد است. حل رابطه ۵ به دلیل وجود دو پارامتر مجهول، مقاومت آیرودینامیکی برای انتقال حرارتی (r_{ah}) و تفاوت دمای پیکسل سرد و گرم (dT) مشکل است و از این رو برای حل آن، استفاده از محاسبات چرخشی (Iteration Calculation) ضروری است. با فرض شرایط جوی خنثی، مقدار اولیه r_{ah} با استفاده از رابطه ۶ به دست می‌آید.

کامل در سطح زمین باشد، به عنوان مبنا استفاده می‌شود. دمای سطح T_s و دمای هوای نزدیک سطح زمین T_a در این پیکسل یکسان فرض می‌شود. پیکسل گرم که پیکسل خشک نیز نامیده می‌شود در مزارع کشاورزی بایر و بدون پوشش گیاهی بوده و تبخیر-تعرق واقعی در آن صفر منظور می‌شود. در پیکسل گرم، شاخص سطح برگ (LAI) نزدیک به صفر (غیر صفر)، $NDVI$ نزدیک به صفر (غیر صفر)، T_s نزدیک به حداکثر است. در پیکسل سرد یونجه، مقدار تبخیر-تعرق واقعی، LAI و $NDVI$ در بالاترین مقدار و T_s بایستی در حداقل باشد. مقدار تبخیر-تعرق واقعی محاسبه شده در سایر پیکسل‌ها بستگی به دقت در انتخاب این پیکسل‌ها در سبال دارد.

شار گرمایی محسوس (H) شدت هدر رفت گرما در هوا به وسیله جابجایی و هدایت در اثر اختلاف دما



شکل ۳- روندنمای تعیین ضرایب a و b (واترز و همکاران، ۲۰۰۲)



شکل ۴- الف- مقادیر تبخیر- تعرق روزانه اندازه‌گیری و برآورد شده توسط لایسیمتر و سبال در روزهای گذر ماهواره در منطقه مطالعاتی کرج
شکل ۴- ب- رابطه برازش بین مقادیر تبخیر- تعرق اندازه‌گیری و برآورد شده توسط لایسیمتر و سبال در روزهای گذر ماهواره در منطقه مطالعاتی کرج

پس از حل رابطه‌های بالا، مقدار تبخیر- تعرق در لحظه‌ای گذر ماهواره (ET_{inst}) به دست آمد (مورس و همکاران، ۲۰۰۰):

$$ET_{inst} = 3600 \frac{\lambda ET}{\lambda} \quad (۷)$$

در این معادله ET_{inst} عبارت است از تبخیر- تعرق لحظه‌ای (mm/hr)، عدد ۳۶۰۰ تبدیل ثانیه به ساعت و λ گرمای نهان تبخیر (J/kg) می‌باشد (معادله ۷).

مقادیر روزانه تبخیر- تعرق بیست و چهار ساعته (ET_{24}) در الگوریتم سبال با روابط ۸ و ۹ و محاسبه شد. در رابطه ۹ متغیر ETF جزء تبخیر- تعرق است. ET_{r-24} از مجموع ۲۴ ساعته تبخیر- تعرق مرجع ساعتی برای روز عبور ماهواره بدست می‌آید.

$$ET_{24} = ET_F * ET_{r-24} \quad (۸)$$

$$ET_F = \frac{\lambda ET}{R_n - G_0} = \frac{R_n - G_0 - H}{R_n - G_0} \quad (۹)$$

$$ET_{r-24} = \sum_1^{24} (ET_{24}) \quad (۱۰)$$

برای تعیین مقدار dT ، یک معادله خطی بین dT و دمای رادیومتریکی سطح (T_s) برقرار می‌شود ($dT = aT_s + b$). در این معادله dT عبارت است از تفاوت دمای نزدیک به سطح، T_s دمای رادیومتریکی سطح و a و b ضرایب تجربی هستند. خطی بودن تابع dT با T_s یک فرض مهم در سبال است و تحقیقات انجام‌شده در دانشگاه آیداهو در کیمبرلی بر مناسب بودن این فرض در شرایط متنوع دلالت می‌کند (واترز و همکاران، ۲۰۰۲). مقاومت آئرودینامیکی در انتقال گرما (r_{ah}) با معادله زیر محاسبه شد:

$$r_{ah} = \frac{\ln\left(\frac{Z_2}{Z_1}\right)}{U_* \times K} \quad (۶)$$

Z_1 و Z_2 ارتفاعات بر حسب متر در بالای سطح جابجایی صفر (d) گیاه، U_* سرعت اصطکاکی (متر بر ثانیه) و K ثابت ون‌کارمن (۰/۴۱) هستند. سرعت اصطکاکی با استفاده از قانون لگاریتمی سرعت باد در شرایط خشی از رابطه زیر محاسبه می‌گردد.

ارزیابی صحت برآورد تبخیر-تعرق گندم

در این مطالعه از شاخص‌های آماری شامل میانگین خطای مطلق (Mean Absolute Error, MAE) که بدون علامت است، میانگین خطای اریب (Mean Bias Error, MBE)، ریشه میانگین مربعات خطا (Root Mean Square Error, RMSE)، ریشه میانگین مربعات خطا نرمال شده (NRMSE Normalized Coefficient of Determination, R²) و ضریب تبیین (R²) استفاده شدند (معادله‌های ۱۱ تا ۱۴). هر چه MAE، RMSE و MBE به صفر و مقادیر R² به یک نزدیک‌تر باشد، صحت برآورد الگوریتم سبال بهتر است.

همچنین معادله رگرسیون خطی به صورت $Y = a \cdot X + b$ بین مقادیر برآورد شده تبخیر-تعرق از الگوریتم سبال به عنوان متغیر وابسته (Y) و داده‌های لایسیمتری به عنوان متغیر مستقل (X) برازش داده شد. پارامترهای a و b ضرایب رگرسیون هستند. در روابط زیر O_i و P_i به ترتیب مقدار اندازه‌گیری شده توسط لایسیمتر و مقدار برآورد شده توسط ماهواره و $\bar{O}$ میانگین حسابی داده‌های اندازه‌گیری شده و n تعداد داده‌ها است.

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |O_i - P_i|}{n} \quad (11)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)}{n} \quad (12)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (13)$$

$$NRMSE = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}}}{\bar{O}} \quad (14)$$

آماره MAE هر چقدر به صفر نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده صحت بیشتر روش در برآورد می‌باشد. مقدار این معیار همواره مثبت است. آماره MBE در حقیقت اختلاف بین میانگین مقادیر مشاهده‌ای و برآوردی است و بیانگر انحراف از میانگین می‌باشد. این مقدار می‌تواند مثبت یا منفی باشد که نشان‌دهنده برآورد بیشتر (مثبت) و یا کمتر (منفی) از میانگین داده‌ها می‌باشد. این معیار نیز هر چقدر به صفر نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده اختلاف کمتر مقادیر برآورد شده نسبت به مقادیر مشاهده‌ای

می‌باشد. آماره RMSE بیانگر میزان خطای برآورد متغیرها نسبت به مقدار مشاهداتی است که بر اساس ریشه مربعات خطا مورد محاسبه قرار می‌گیرد. ضریب تبیین عددی است بین صفر تا یک که رابطه بین دو متغیر را نشان می‌دهد. آماره NRMSE بدون بعد بوده و به صورت نرمال شده از RMSE به دست می‌آید. هر چقدر RMSE و NRMSE از نظر عددی، کوچک‌تر باشند، صحت برآورد، بیشتر است. از نرم‌افزارهای ERDAS Imagine 2015 و ENVI 5.3.1 برای محاسبات مربوط به الگوریتم سبال و از ArcGIS 10.8.1 برای تولید نقشه‌های خروجی و استفاده شد.

نتایج و بحث

پس از حذف روزهای ابری، تصاویر ماهواره‌ای مناسب مورد پردازش قرار گرفت، بنابراین در طول سه سال زراعی در کرج (البرز) و تبریز (آذربایجان شرقی) به ترتیب و در مجموع از ۱۵ تصویر و ۸ تصویر استفاده شد.

منطقه مطالعاتی کرج

مقادیر تبخیر-تعرق روزانه اندازه‌گیری شده (لایسیمتر) و برآورد شده توسط ماهواره (الگوریتم سبال) در روزهای عبور ماهواره مربوط به کرج در شکل‌های ۴ (الف و ب) نشان داده شده‌است. مقادیر پارامترهای آماری شامل میانگین خطای مطلق (MAE)، میانگین انحراف خطا (MBE)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) ریشه میانگین مربعات خطا نرمال شده (NRMSE) و ضریب تبیین (R²) به منظور مقایسه این دو روش تعیین تبخیر و تعرق، برای هر دو منطقه در جدول ۲ نشان داده شد.

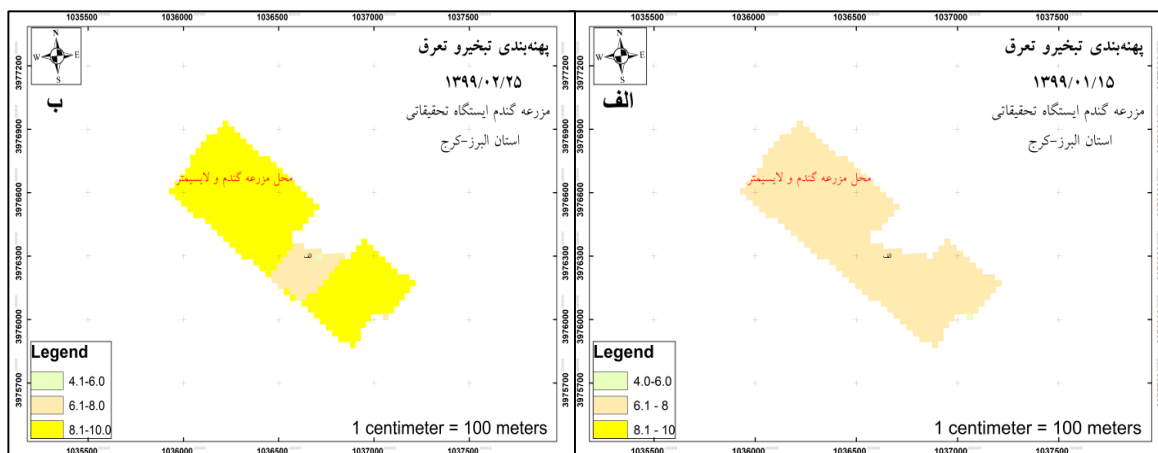
همان‌طور که در شکل‌های ۴ و جدول ۲ مشاهده می‌شود، ضریب تبیین ۰/۷۳ بیانگر خوبی برازش مقادیر اندازه‌گیری شده با استفاده از لایسیمتر و برآورد شده توسط الگوریتم سبال در منطقه مطالعاتی کرج می‌باشد. علامت منفی MBE و مقدار آن نشان داد که در مجموع

سبال در منطقه مطالعاتی کرج به طور میانگین ۱۴ درصد کمتر از روش لایسیمتری برآورد شد ($NRMSE=0.14$). از این رو، بر پایه $NRMSE$ می توان کارایی الگوریتم سبال را خوب ارزیابی کرد. بر این اساس، برآورد تبخیر-تعرق واقعی گندم توسط سبال قابل قبول بوده و با توجه به مزایایی که استفاده از ماهواره مانند پوشش سطح وسیعی از مزارع، سریع و ارزان بودن، نیاز به حداقل داده های میدانی دارد استفاده از این فناوری برای برآورد تبخیر-تعرق واقعی گیاه گندم توصیه می شود. نقشه های پهنه بندی دو روز از منطقه مطالعاتی کرج در شکل های ۵ (الف و ب) نمایش داده شده است.

مقدار تبخیر-تعرق واقعی برآورد شده توسط سبال کمتر از اندازه گیری شده در لایسیمتر بود و مقدار شاخص MAE (۰/۹۲) بیانگر تفاوت اندک نتایج این دو روش برآورد تبخیر-تعرق گندم در ایستگاه کرج بود. اختلاف دو پارامتر MAE و MBE (۰/۹۲ و -۰/۳۶) نشان داد که در برخی از روزهای برآورد تبخیر-تعرق واقعی، مقدار برآورد شده توسط سبال بیشتر و در برخی از روزها کمتر از لایسیمتر بوده است. ریشه میانگین مربعات خطا ($RMSE$) بین داده های تبخیر-تعرق واقعی اندازه گیری شده توسط لایسیمتر و برآورد شده توسط سبال از اختلاف اندک (۱/۱ میلی متر بر روز) در این دو روش است. از طرفی، تبخیر-تعرق واقعی گیاه گندم با الگوریتم

جدول ۲- پارامترهای آماری محاسبه شده بین دو زوج تبخیر-تعرق در ایستگاه تحقیقاتی خاک و آب کرج و تبریز

پارامتر آماری		مقدار
		آذربایجان شرقی
R^2	۰/۷۳	۰/۶۵
MAE	۰/۹۲	۱/۲۵
MBE	-۰/۳۶	-۰/۵۰
$RMSE$	۱/۱	۱/۵۰
$NRMSE$	۰/۱۴	۰/۲۴



شکل ۵- نقشه های پهنه بندی در دو تاریخ گذر ماهواره از فراز منطقه مطالعاتی در کرج
الف- تاریخ گذر ماهواره ۱۳۹۹/۰۱/۱۵ و ب- تاریخ گذر ماهواره ۱۳۹۹/۰۲/۲۵

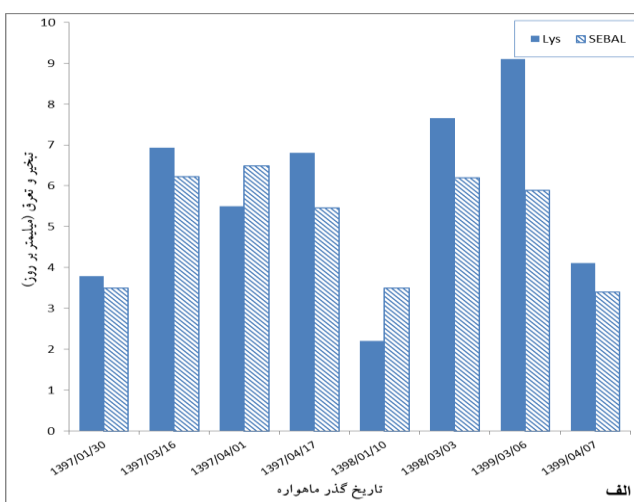
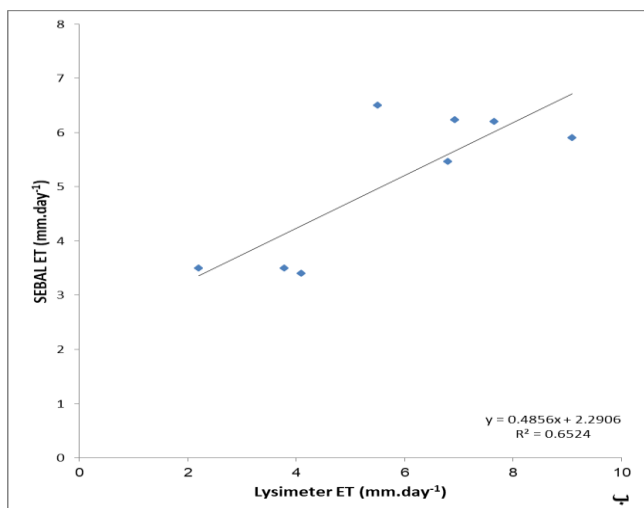
روزهای عبور ماهواره در منطقه مطالعاتی تبریز در شکل های ۶ (الف و ب) نشان داده شده است. میانگین تبخیر-تعرق دو روش برابر با ۵/۶۸ و ۶/۱۵ میلی متر بر

منطقه مطالعاتی تبریز
مقادیر تبخیر-تعرق روزانه اندازه گیری شده توسط لایسیمتر و برآورد شده توسط الگوریتم سبال در

روز (به ترتیب برای سبال و لایسیمتر) بدست آمد. ضریب تبیین بین مقادیر تبخیر-تعرق اندازه‌گیری شده توسط لایسیمتر و برآورد شده توسط سبال در این منطقه از کشور ۰/۶۵ بدست آمد که بیانگر برازش نزدیک دو روش تعیین تبخیر-تعرق گیاه گندم می‌باشد. علامت منفی MBE (با مقدار ۰/۵۰-) نشان داد که در مجموع مقدار تبخیر-تعرق برآورد شده توسط الگوریتم سبال کمتر از مقدار اندازه‌گیری شده توسط لایسیمتر است اما این تفاوت بیشتر از منطقه مطالعاتی کرج است. مقدار شاخص MAE بیانگر تفاوت قابل قبول (۱/۲۵) نتایج این دو روش در برآورد تبخیر-تعرق گندم است. مساوی نبودن قدر مطلق مقدار MAE و MBE نشان داد که در مرحله‌ای از طول دوره رشد گندم، الگوریتم سبال، تبخیر-تعرق واقعی گندم را کمتر از لایسیمتر و در برخی مراحل بیشتر برآورد نموده است. میانگین ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) بین داده‌های تبخیر-تعرق اندازه‌گیری شده توسط لایسیمتر و برآورد شده، نشان داد که پراکندگی داده‌های تبخیر-تعرق واقعی بدست آمده توسط الگوریتم سبال در این منطقه بیشتر از کرج (۱/۵ در مقابل ۱/۱) است و درصد پراکندگی از میانگین در این منطقه بیشتر از منطقه مطالعاتی کرج بود (NRMSE=0.24). بر پایه NRMSE می‌توان کارایی الگوریتم سبال برای منطقه مطالعاتی تبریز را به نسبت خوب ارزیابی کرد. همانطور که پیش‌تر بیان شد، با توجه به مزایایی که استفاده از ماهواره (مانند پوشش وسیع مورد بررسی، سریع و ارزان

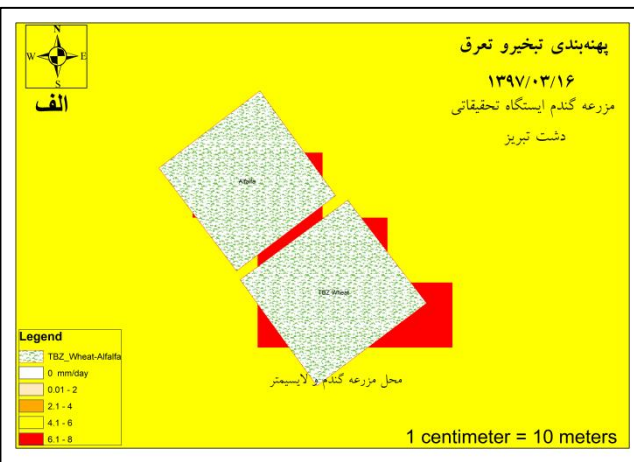
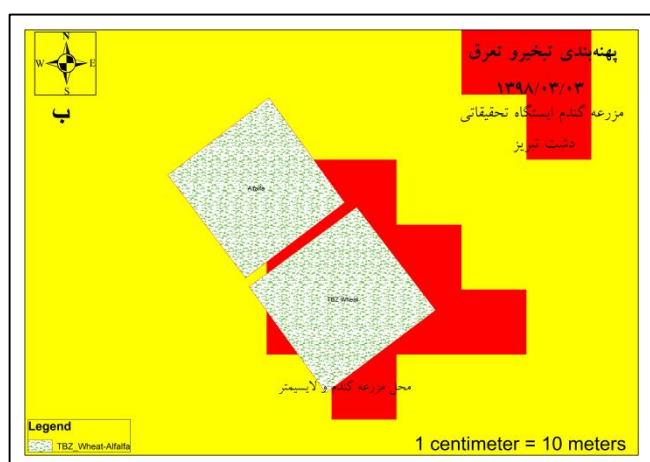
بودن و نیاز به حداقل داده‌های میدانی) دارد، استفاده از این فناوری برای برآورد تبخیر-تعرق واقعی گیاه گندم در این منطقه هم قابل توصیه است. نقشه‌های پهنه‌بندی دو روز از منطقه مطالعاتی تبریز در شکل‌های ۷ (الف و ب) نمایش داده شده است.

نتایج این تحقیق با نتایج سایر پژوهشگران مطابقت خوبی دارد. بطور مثال در پژوهش ارشد (۱۳۸۶) و کریمی و همکاران (۱۳۹۱) حداکثر درصد خطا بین تبخیر-تعرق محاسبه شده با الگوریتم سبال و مقادیر اندازه‌گیری شده در لایسیمتر، کمتر از ده درصد اعلام شد. غلامی سفیدکوهی (۱۳۸۹) الگوریتم سبال را نسبت به مدل پنمن-مانتیش-فائو مقایسه و گزارش کرد ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) ۱۸ میلی‌متر، میانگین خطای مطلق (MAE) ۱۶ میلی‌متر و میانگین خطا (ME) برابر با ۱/۱-میلی‌متر در طول دوره رشد گندم بود که در تحقیق حاضر، شاخص‌های متناظر و مورد اشاره از مقادیر کمتری برخوردار بودند. تیگزریا و باستیانسن (۲۰۰۹) مقدار ضریب تبیین (R^2) را بین ۰/۷۵ تا ۰/۹۹ گزارش کردند که در تحقیق حاضر بین ۰/۶۵ تا ۰/۷۳ بدست آمد. نتایج مشابهی نیز در پژوهش راموس و همکاران (۲۰۰۹)، سینگ و سنای (۲۰۱۵)، سنای و همکاران (۲۰۱۶) و بها تاری و همکاران (۲۰۱۲) گزارش شد. جورج و همکاران (۲۰۱۳) نیز خطای ۲۰ درصدی را در مقیاس ناحیه‌ای از مقایسه داده‌های لایسیمتر، نسبت به الگوریتم سبال گزارش کردند.



شکل ۶- الف- مقادیر تبخیر- تعرق روزانه اندازه‌گیری و برآورد شده توسط لایسیمتر و سبال در روزهای گذر ماهواره در منطقه مطالعاتی تبریز

شکل ۶- ب- رابطه برازش بین مقادیر تبخیر- تعرق اندازه‌گیری و برآورد شده توسط لایسیمتر و سبال در روزهای گذر ماهواره در منطقه مطالعاتی تبریز



شکل ۷- نقشه‌های پهناوندی تبخیر- تعرق گندم در دو تاریخ گذر ماهواره از فراز منطقه مطالعاتی در کرج
الف- تاریخ گذر ماهواره ۱۳۹۹/۰۱/۱۵ و ب- تاریخ گذر ماهواره ۱۳۹۹/۰۲/۲۵

داد که میانگین داده‌های تبخیر- تعرق گندم بین دو روش مورد مطالعه، از اختلاف اندک برخوردار بود. به دلیل مشکلات فراوان در استفاده از لایسیمتر برای برآورد تبخیر- تعرق (هزینه زیاد، زمانبر بودن، عدم تعمیم داده‌ها در سطح وسیع و کنترل رطوبت خاک در شرایط پتانسیل) استفاده از روش‌های سنجش از دور می‌تواند برای این منظور در کانون توجه قرار گیرد. در نهایت، الگوریتم سبال به‌عنوان یک روش پایدار، علمی و اقتصادی قادر به

نتیجه‌گیری نهائی

مقایسه مقدار تبخیر- تعرق بدست آمده از الگوریتم سبال و لایسیمتر در هر دو منطقه مطالعاتی، نشان از همبستگی به نسبت مناسبی بین تبخیر- تعرق حاصل از روش‌های مورد استفاده داشت. به طوری‌که در منطقه‌های مطالعاتی کرج و تبریز، ضریب تبیین (R^2) به ترتیب ۰/۷۳ و ۰/۶۵ حاصل شد. افزون بر این، مقایسه‌های آماری با استفاده از شاخص‌های MAE، RMSE و MBE نشان

تشکر و قدردانی

این مقاله، در بردارنده‌ی بخشی از نتایج یک پروژه ملی با عنوان "برآورد تبخیر و تعرق و پهنه‌بندی نیاز آبی گندم با استفاده از فناوری سنجش از دور (الگوریتم سبال) برای برخی حوضه‌های آبریز در استان‌های البرز، آذربایجان شرقی و چهارمحال و بختیاری" است و بدینوسیله از مؤسسه تحقیقات خاک و آب و همینطور مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی به دلیل تأمین اعتبار مالی و زیرساخت‌های مورد نیاز اجرای این پروژه تقدیر و تشکر می‌شود.

پهنه‌بندی تغییرات تبخیر-تعرق در مقیاس ناحیه‌ای با سرعت و هزینه کمتر است و پیشرفت‌های اخیر در مدل‌های برآورد تبخیر-تعرق از طریق سنجش از دور مانند سبال، تخمین مقدار تبخیر-تعرق واقعی را در اراضی بزرگ و نواحی گسترده‌ی کشت امکان‌پذیر می‌سازد.

فهرست منابع

۱. ابراهیمی، ح.، گندمکار، ا.، المدرسی، س. ع.، رامشت، م. ح. ۱۳۹۵. برآورد دمای سطح زمین و تأثیر پوشش گیاهی بر دمای سطح با استفاده از تصاویر مودیس (مطالعه موردی: حوزه تویسرکان). فصلنامه جغرافیا و برنامه ریزی منطقه ای، ۶(۴)، ۲۳-۳۲.
۲. ارشد، ص.، مباشری، م. ر.، مرید، س.، آقاعلیخانی، م. و ارشد، س. ۱۳۸۷. پیش‌بینی خسارات ناشی از خشکسالی کشاورزی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در اراضی دیم استان کرمانشاه. سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران. دانشگاه تبریز
۳. آمارنامه کشاورزی. ۱۳۹۸. جلد اول، محصولات زراعی سال ۱۳۹۷-۱۳۹۶. دفتر آمار و فناوری اطلاعات، معاونت برنامه‌ریزی اقتصادی، وزارت جهاد کشاورزی، ایران.
۴. کریمی، ع. ب.، فرهادی بانسوله. ه. حصادی. ۱۳۹۱. برآورد تبخیر-تعرق واقعی در مقیاس منطقه ای با استفاده از الگوریتم سبال و تصاویر لندست. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. شماره ۴، جلد ۶، ص. ۳۶۴-۳۵۳.
۵. مشتاق، ن.، جعفری، ر.، سلطانی، س. و رمضانی، ن. ۱۳۹۴. کاربرد مدل توازن انرژی و داده‌های ماهواره لندست سنجنده TM در تخمین تبخیر و تعرق. مجله علوم آب و خاک. ۲۰۷-۲۱۸: (۷۳) ۱۹
۶. یزدانی، و.، ابراهیمی، ح. ۱۳۹۲. مقایسه برآورد ضریب گیاهی فضای سبز به کمک روش سبال و روش لیمپ (مطالعه موردی مشهد). علوم و مهندسی آبیاری (مجله علمی کشاورزی)، جلد ۳۷، شماره ۴، ص ۲۷-۱۱.
۷. غلامی سفیدکوهی، م.، میرلطیفی، س.، محمدی، ک.، و علی محمدی، ع. ۱۳۸۹. برآورد ضریب گیاهی و تبخیر-تعرق واقعی گندم با استفاده از سنجش از دور مطالعه موردی: حوضه گرگانرود. مجله آبیاری و زهکشی ایران، ۴(۲).
8. Allen R. G., Morse A., and Tasumi M. 2002. Application of SEBAL for western US water rights regulation and planning. Proceedings of the International Conference on Irrigation and Drainage, Workshop on Remote Sensing of ET for Large Regions; Montpellier, France.
9. Bastiaanssen W.G.M. 1995. Regionalization of surface flux densities and moisture indicators in composite terrain: A remote sensing approach under clear skies in

- Mediterranean climates, Ph.D. Dissertation, CIP Data Koninklijke Bibliotheek, Den Haag, The Netherlands
10. Bastiaanssen, W. G. M., Menenti, M., Feddes, R. A. and Holtslag, A. A. M. 1998. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL): Part 1. Formulation. *Journal of Hydrology*. 212-213, 198-212.
11. Bastiaanssen, W. G. M., Pelgrum, H., Wang, J., Ma, Y., Moreno, J. F., Roerink, G. J. and van der, W. T. 1998. A Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL): Part 2. Validation. *Journal of Hydrology*. 212-213, 213-229.
12. Bastiaanssen, W. G. M. 2000. SEBAL-based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. *Journal of Hydrology*, 229: 87-100
13. Bastiaanssen, W. G. M., M. Menenti, R. A. Feddes and A. A. M. Holtslag. 1998. "A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL): 1. Formulation." *J. Hydrol.*, 212-213, 198-212.
14. George, Paul, Prasanna, H. Gowda, P. V. Vara, Prasad, Terry A. Howell, Scott A. Staggenborg, Christopher M. U. Neale, 2013. Lysimetric evaluation of SEBAL using high resolution airborne imagery from BEAREX08, *Advances in Water Resources*, in press.
15. Hair, Joseph F. (2011). *Multivariate Data Analysis: An Overview*. In Miodrag Lovric (Ed.), *International Encyclopedia of Statistical Science* (pp. 904-907). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
16. Mokhtari, M. H. 2005. Agricultural drought impact using remote sensing. Ms. C. Diss., ITC. The Netherlands.
17. Morse, A., Allen, R. G., Tasumi, M., Kramber, W. J., Trezza, R., and Wright, J. L. 2000. Final Report: Application of the SEBAL meteorology for estimating evapotranspiration and consumptive use of water through remote sensing. Idaho Department of Water Resources. University of Idaho, Department of Biological and Agricultural. 107p.
18. Ramos, J. G., Cratchley, C. R., Kay, J. A., Casterad, M. A., Martinez-cob, A. and Dominguez, R. 2009. Evaluation of satellite evapotranspiration estimates using ground-meteorological data available for the Flumen District into the Ebro valley of N.E. Spain. *Agricultural Water Management*. 96: 638-652.
19. Senay, G. B., Friedrichs, M., Singh, R. K., & Velpuri, N. M. (2016). Evaluating Landsat 8 evapotranspiration for water use mapping in the Colorado River Basin. *Remote Sensing of Environment*, 185, 171-185.
20. Singh, R. K., & Senay, G. B. (2016). Comparison of Four Different Energy Balance Models for Estimating Evapotranspiration in the Midwestern United States. *Water*, 8(1), 9
21. Teixeira, A. H., W. G. M. Bastiaanssen, M. D. Ahmad & M. G. Bos. 2009. Reviewing SEBAL input parameters for assessing evapotranspiration and water productivity for the Low-Middle Sao Francisco River basin, Brazil Part A: Calibration and validation, *agricultural and forest meteorology*, 149, 462-476.
22. Waters, R., Allen, R., Tasumi, M., Trezza, M. and Bastiaanssen, W. 2002. Surface Energy Balance Algorithms for Land, Advanced Training and User's Manual. NASA EOSDIS/Synergy grant from the Raytheon Company through The Idaho Department of Water Resources.

تعیین مقدار بهینه آب آبیاری گل گاوزبان در مراحل مختلف رشد با استفاده از طرح مرکب مرکزی

پریسا شاهین رخسار^۱ و اصلان اگدرنژاد

استادیار، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گیلان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران.

pshahinrokhsar@yahoo.com

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

a_eigder@ymail.com

دریافت: فروردین ۱۴۰۰ و پذیرش: خرداد ۱۴۰۱

چکیده

باوجود پرباران بودن استان گیلان، پراکنش نامناسب بارندگی در دوره رشد محصول و کمبود رطوبت در زمان نیاز، تأثیری منفی بر رشد محصولات مختلف ازجمله گل گاوزبان می‌گذارد. این پژوهش باهدف مدیریت آبیاری گل گاوزبان در مراحل مختلف رشد انجام شد. به این منظور، پانزده آزمایش مزرعهای با انتخاب سطوح بالا و پایین تیمارها شامل آبیاری (بدون آبیاری (I1) و تأمین کامل نیاز آبی گیاه (I2))، دو مرحله رشد ساقه روی (D1)، ساقه روی و گلدهی (D2)، و دو سال با بارش مختلف (ترسالی (Y1) و خشکسالی (Y2)) بر اساس ۱۵ ترکیب به‌دست‌آمده از طرح مرکب مرکزی در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گیلان واقع در رشت انجام شد. نتایج نشان داد که آبیاری بیش‌ترین و مرحله رشد کم‌ترین اثر را بر عملکرد و شاخص‌های رشد گل گاوزبان داشتند. دوره خشکسالی سبب افزایش مقدار عملکرد دانه، عملکرد روغن و درصد روغن شد درحالی‌که سایر پارامترها در شرایط ترسالی به حداکثر مقدار خود رسیدند. در شرایط تأمین آب آبیاری در زمان گلدهی و ساقه‌روی، وزن هزار دانه برابر با ۱۸/۹ گرم و مقادیر عملکرد گل خشک، عملکرد گل تر، عملکرد دانه و عملکرد اقتصادی نیز به‌ترتیب برابر با ۴۶۸، ۸۵۸، ۴۸۶ و ۹۸۳ کیلوگرم بر هکتار به‌دست آمد. در شرایط تأمین آب آبیاری در زمان گلدهی، عملکرد روغن و درصد روغن به‌ترتیب برابر با ۱۶۰ کیلوگرم بر هکتار و ۳۳/۵٪ تعیین شد. با در نظر گرفتن سطوح بهینه برای همه پارامترها بر اساس درون‌یابی مقادیر عوامل در طرح مرکب مرکزی، اگر درصد و عملکرد روغن اهمیت کمتری نسبت به سایر پارامترها داشته باشد، تأمین ۸۸٪ آب آبیاری در ترسالی و برای دوره گلدهی و ساقه‌روی لازم است. برای دستیابی به حداکثر عملکرد و درصد روغن، تأمین کامل نیاز آبیاری در خشکسالی و در دوره ساقه‌روی می‌بایست در نظر گرفته شود.

واژه‌های کلیدی: ترسالی، دوره گلدهی، عملکرد روغن، عملکرد دانه

^۱ - آدرس نویسنده مسئول: بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گیلان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران.

مقدمه

گل گاوزبان یکی از بزرگ‌ترین خانواده‌های گیاهی است که بالغ‌بر ۱۰۰ جنس و ۲۰۰ گونه را شامل می‌شود و در اکثر مناطق معتدل و گرمسیری دنیا پراکنش دارد (مهربانی و همکاران، ۲۰۰۵). این گیاه برای درمان در طب سنتی استفاده می‌شود و در طب نوین نیز در کشورهایی مانند ترکیه، قبرس، ایتالیا، اسلونی و اسپانیا مورد استفاده قرار می‌گیرد (نقدی‌بادی و همکاران، ۱۳۸۶). امروزه توجه به بسیاری از گیاهان دارویی در جهان افزایش یافته است و گیاه گل گاوزبان به دلیل خواصی از جمله تصفیه‌کننده خون، ملین، خلط‌آور، مدر و آرام‌بخش قلب، تسکین‌دهنده اعصاب، درمان‌کننده یرقان و ورم معده از اهمیت خاصی برخوردار است (مهربانی و همکاران، ۲۰۰۵).

از آنجاکه کشت و پرورش گیاهان دارویی معمولاً به صورت دیم صورت می‌گیرد، کمبود یا پراکنش نامناسب بارندگی همواره یکی از عامل‌های مؤثر بر عملکرد این محصولات می‌باشد. از طرف دیگر در صورت کشت تجاری آن در دشت، امکان کشت مکانیزه، فرآوری و تجاری‌سازی این گیاه مطرح می‌شود که به دنبال آن بحث نیاز آبی و آبیاری این گیاه باید مورد مطالعه قرار گیرد. با توجه به اقلیم خشک و نیمه‌خشک ایران (احمدی و همکاران، ۲۰۱۴، الباجی و همکاران، ۲۰۱۴) و کمبود آب در بخش کشاورزی، لازم است عمق مناسب آبیاری برای کشت گیاهان مختلف در نظر گرفته شود (احمدی و همکاران، ۱۴۰۰). این مهم سبب شده است تا برنامه‌ریزی آبیاری برای گیاهان زراعی مورد توجه محققان قرار گیرد (اگدرنژاد و همکاران، ۱۳۹۷). از پژوهش‌هایی که تأثیر آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه گل گاوزبان انجام شده است می‌توان به پژوهش اکبری‌نیا و همکاران (۱۳۸۶) اشاره کرد. نتایج نشان داد با افزایش تعداد دفعات آبیاری عملکرد گل تا ۴۲۰ کیلوگرم بر هکتار (برای دور آبیاری هفت روز) افزایش یافت. همچنین دور آبیاری ۱۴ روز با مصرف ۳۰۰۰ مترمکعب آب، بهترین شرایط را از

نظر کارایی مصرف آب داشت. دست‌برهان و همکاران (۲۰۱۳) نیز با بررسی تیمارهای مختلف آبیاری بر عملکرد گل گاوزبان بر اساس میزان کاهش سطح آب در تشتک تبخیر نشان دادند که بین تیمارهای آبیاری ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک اختلاف معنی‌داری از نظر عملکرد وجود نداشت. با این وجود تیمار آبیاری ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک سبب کاهش معنی‌دار عملکرد گل گاوزبان شد. کرمی و سپهری (۱۳۹۱) با بررسی اثر تنش‌های مختلف آبی بر عملکرد گل گاوزبان نشان دادند که عملکرد این گیاه زراعی در شرایط بدون تنش آبی بیشترین مقدار (۱۴۲ کیلوگرم بر هکتار) را داشت. این محققان گزارش کردند که اعمال تنش آبی سبب کاهش چشمگیر عملکرد گل گاوزبان شد. یارمحمد زهی و همکاران (۱۳۹۵) با بررسی اثر تنش خشکی و نانو کودها بر برخی صفات مورفولوژیکی گل گاوزبان نشان دادند که همه این صفات تحت تأثیر تنش آبی کاهش یافتند. قلی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۳) با بررسی اثر سطوح تنش خشکی ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی بر عملکرد گل گاوزبان نشان دادند که میزان عملکرد این گیاه دارویی تحت تأثیر میزان تنش خشکی به شدت کاهش یافت.

نتایج تحقیق عبدالهی مایوان و همکاران (۱۳۹۷) نیز نشان داد که مقادیر آبیاری و تراکم بوته به طور معنی‌داری رشد و عملکرد گیاه دارویی گاوزبان اروپایی را تحت تأثیر قرار داد. با کاهش مقدار آبیاری، خصوصیات رشدی و عملکرد به دلیل بروز تنش رطوبتی کاهش یافت. افزایش تراکم تا ۴۰ بوته در مترمربع از طریق افزایش رقابت درون‌گونه‌ای نیز موجب کاهش رشد و عملکرد می‌شود. بالاترین مقادیر عملکرد گل، دانه و بیولوژیک تعداد گل، بذر و شاخه‌های جانبی برای تیمار ۳۰۰۰ مترمکعب در هکتار و تراکم بوته ۲۷ بوته در مترمربع به دست آمد.

گل گاوزبان با ۵۱۶ هکتار سطح زیر کشت، مهم‌ترین گیاه دارویی در گیلان است که کاشت این گیاه عمدتاً به صورت دیم در این مناطق انجام می‌شود (بی‌نام،

۱۳۹۹). با توجه به تحقیقات اشاره شده، زراعت دیم سبب کاهش عملکرد این گیاه دارویی می شود. به همین دلیل نیاز است با توجه به پراکنش نامناسب بارش در استان و افزایش قیمت و ارزش افزوده این گیاه ارزشمند دارویی، لازم است توسعه کشت تجاری آن از طرف سرمایه گذاران و کشاورزان منطقه و تعیین مقدار آب آبیاری تکمیلی این گیاه دارویی مدنظر قرار گیرد.

امروزه مدل های شبیه سازی گیاهی به عنوان ابزاری چندمنظوره در تحقیقات و مدیریت زراعی مطرح هستند (ابراهیمی پاک و همکاران، ۱۳۹۸) و انواع مختلفی از مدل های پیش بینی عملکرد وجود دارد و ارزیابی و اعتبار بخشی مدل به ویژه برای محصولات خاص از جمله گیاهان دارویی ضروری است. یکی از معمول ترین روش های مورد استفاده جهت بهینه سازی عوامل مختلف، استفاده از طرح مرکب مرکزی است (حامدا و وو، ۲۰۰۰). این طرح روشی جایگزین و مناسب برای طرح فاکتوریل می باشد که توسط باکس و هانتز (۱۹۵۷) اصلاح گردید. مزیت استفاده از طرح مرکب مرکزی نسبت به طرح فاکتوریل، امکان استخراج اطلاعات بیشتر از تحلیل این طرح و تعداد کمتر تیمار و تکرارهای مورد نیاز جهت انجام آزمایش می باشد که اجرای این طرح را آسان تر می کند، همچنین امکان تعیین ترکیب های مختلف متغیر مستقل را در آزمایش فراهم می آورد (اصلان، ۲۰۰۷). در این روش می توان اطلاعات بیشتری از تحلیل طرح به دست آورد در حالی که در روش های معمول آماری انجام آن غیرممکن است. همچنین سبب می شود بتوان سناریوهای مختلفی را باهم مقایسه کرد. این شرایط در طرح های معمول آزمایشات وجود ندارد (خاشعی سیوکی و همکاران، ۱۳۹۵).

به نظر می رسد مدل های شبیه سازی رشد گیاهی که اثرات مقادیر مختلف آب بر روی عملکرد محصول را به صورت کمی شبیه سازی می کنند، ابزارهای مفید برای انجام مطالعات مختلف از جمله انتخاب گیاه مناسب برای کاشت، تعیین بهترین مدیریت زراعی، برآورد ظرفیت تولید

منطقه ای و پیش بینی اثرات تغییر اقلیم باشند. برای درک این ویژگی ها، تحقیقات گسترده بر روی گیاهان با ارزش دارویی و اعمال تیمارهای مختلف مورد نیاز می باشد. با توجه به اینکه بسیاری از گیاهان موجود در عرصه های طبیعی کشور ما ایران، از جمله گیاه دارویی گل گاوزبان از دیدگاه دارویی و اقتصادی از پتانسیل بالایی برخوردار هستند. به همین دلیل علی رغم تحقیقاتی که به صورت جداگانه در مورد دوره های مختلف آبیاری بر روی عملکرد گل گاوزبان صورت گرفته است ولیکن همچنان اطلاعات موجود در زمینه بهینه سازی مدیریت آبیاری با توجه به شرایط اقلیمی متفاوت اندک است، لذا پژوهش حاضر باهدف تعیین بهترین مقدار آبیاری تکمیلی گل گاوزبان با استفاده از روش طرح مرکب مرکزی در شرایط آب و هوایی رشت انجام شد.

مواد و روش ها

منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در مزرعه تحقیقاتی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گیلان واقع در ۷ کیلومتری شرق شهر رشت و در طول جغرافیایی ۳۵° ۳۹' شرقی و عرض جغرافیایی ۴۹° ۱۱' ۷" شمالی انجام شد. در این آزمایش ها با انتخاب سطوح بالا و پایین تیمارها شامل نیاز آبی (بدون آبیاری (I1) و تأمین کامل نیاز آبی گیاه (I2))، دو مرحله رشد (ساقه روی (D1)، ساقه روی و گلدهی (D2)) و دو سال با بارش مختلف (ترسالی (Y1) و خشکسالی (Y2)) با استفاده از طرح مرکب مرکزی مورد بررسی قرار گرفت. شرایط خشکسالی و ترسالی بر اساس مقدار بارندگی و متوسط بارش در منطقه تعیین شدند. آبیاری با استفاده از روش کرتی و عمق آبیاری با تعیین میزان رطوبت خاک و از طریق رابطه (۱) تعیین شد:

$$d = (\theta_{fc} - \theta_i) \times \rho_b \times D_z \quad (1)$$

که در این رابطه، d عمق خالص آبیاری، θ_{fc} رطوبت وزنی در ظرفیت مزرعه (۱۶/۲ درصد)، θ_i رطوبت وزنی خاک قبل آبیاری، ρ_b جرم مخصوص ظاهری خاک (۱/۴۲ گرم بر سانتی متر مکعب) و D_z عمق توسعه ریشه (سانتی متر)

و به صورت دست پاش در عمق چهار تا پنج سانتی متری انجام شد. پس از جوانه زنی، تنک کردن در مرحله سه برگی صورت گرفت. به منظور تعیین زمان مناسب آبیاری، میزان بارش مؤثر با استفاده از رابطه (۳) تعیین شد. در این روش مقادیر بارش مؤثر در دوره زمانی ماهانه با احتمال وقوع ۶۵ درصد محاسبه شده است (ماری، ۲۰۱۵):

$$P_{eff} = P \times \frac{125 - 0.2P}{125} \quad (3)$$

که در این رابطه، P_{eff} بارندگی مؤثر (میلی متر در ماه) و P بارندگی ماهیانه (میلی متر در ماه) است.

داده های هواشناسی مورد استفاده در دو سال مورد مطالعه شامل میزان بارندگی، سرعت باد، میانگین دمای ماهانه از ایستگاه هواشناسی مرکز تحقیقات هواشناسی کشاورزی رشت واقع در دو کیلومتری مزرعه آزمایشی اخذ گردید که در شکل های ۱ و ۲ ملاحظه می شود.

نتایج تجزیه خاک محل آزمایش در سه عمق ۱۵، ۳۰ و ۴۵ سانتی متری در آزمایشگاه تحقیقات مهندسی آب، خاک، فاضلاب مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی (IAERI) زیر نظر سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی (واقع در شهر کرج استان البرز) تعیین شد (جدول ۱).

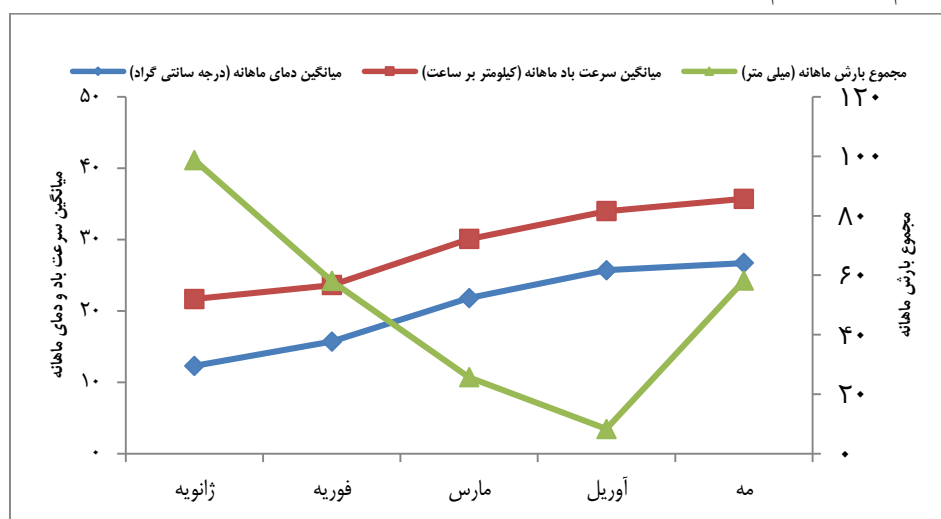
است. برای تعیین رطوبت خاک قبل و بعد از آبیاری از روش وزنی استفاده شد. نمونه ها با استفاده از نمونه برداری از منطقه توسعه ریشه برداشت شدند.

در هر آبیاری حجم دقیقی آب با استفاده از کنتور حجمی متصل به لوله اندازه گیری شد. واسنجی کنتور حجمی با دقت ۱۰ درصد اعمال شد. به این صورت که با استفاده از یک استوانه مدرج ۱۰۰۰ میلی لیتری ابتدا سطحی تا حجم ۵۰ لیتر با آب پر و علامت گذاری شد. سپس با استفاده از زمان سنج زمانی که آب با استفاده از لوله متصل به کنتور حجم سطل را پر کرده سپس با استفاده از رابطه (۲) خطای کنتور محاسبه و در محاسبات تأمین نیاز آبی اعمال شد:

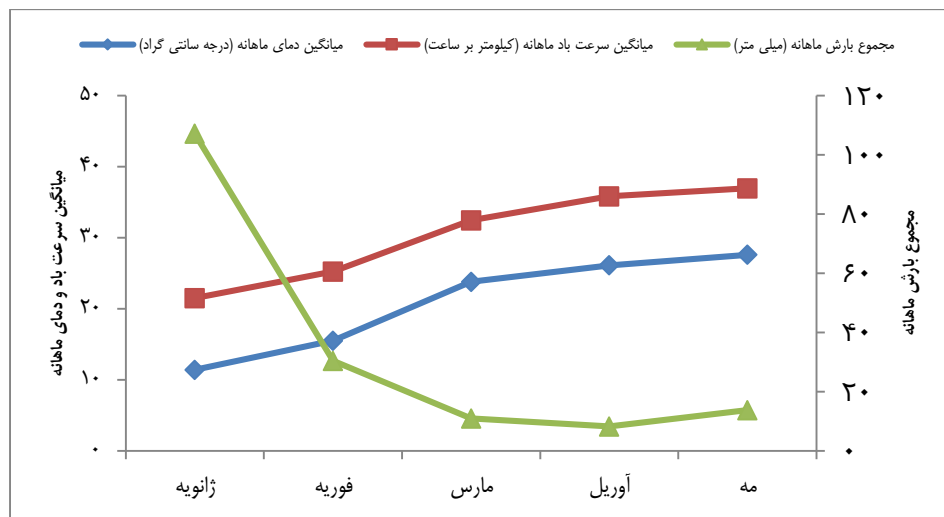
$$E = \frac{Q_0 - Q_s}{Q_s} \times 100 \quad (2)$$

که در این رابطه، E خطای کنتور، Q_0 دبی اندازه گیری (لیتر بر ثانیه) و Q_s دبی دستگاه (لیتر بر ثانیه) می باشد.

کرت های تهیه شده در این آزمایش با مساحت ۷/۵ مترمربع (۳×۲/۵) و با فواصل یک متر در نظر گرفته شد. فواصل ردیف کاشت ۶۰ سانتی متر و فاصله بوته روی ردیف ۳۰ سانتی متر بود. در هر کرت چهار ردیف به طول ۲/۵ متر کشت شد. کاشت گیاه در نیمه اول فروردین و برداشت در نیمه دوم خرداد انجام شد. کاشت به وسیله بذر



شکل ۱- اطلاعات هواشناسی کشاورزی رشت ۲۰۱۴



شکل ۲- اطلاعات هواشناسی کشاورزی رشت ۲۰۱۵

جدول ۱- نتایج خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

عمق سانتی متر	بافت خاک	چگالی گرم بر سانتی متر مکعب	EC میلی موس بر سانتی متر	pH	رطوبت وزنی در مکش ۰/۳ اتمسفر درصد	رطوبت وزنی در مکش ۱۵ اتمسفر درصد
۱۵	رس سیلتی	۱/۳۱	۱/۴۲	۷/۱۸	۱۹/۸۲	۱۱/۵۵
۳۰	رس سیلتی	۱/۵۷	۰/۸۶۳	۸/۴۷	۲۲/۹۷	۱۲/۲۵
۴۵	رس سیلتی	۱/۳۷	۰/۸۷۷	۸/۱۷	۲۶/۷۹	۱۵/۸۹

طرح مربع مرکزی

این روش که برای گسترش تصمیم‌گیری در طرح‌های آزمایشی با استفاده از داده‌های کم مورد استفاده قرار می‌گیرد، قابلیت شبیه‌سازی و پیش‌بینی نتایج در خارج و داخل محدوده تصمیم‌گیری را دارد. به همین دلیل در این پژوهش از این روش استفاده شد تا بتوان اثر مقادیر بین صفر تا ۱۰۰ درصد تأمین آب آبیاری را بدون اجرای آزمایش‌های متعدد بر عملکرد و اجزای عملکرد گل‌گاوزبان تعیین و شبیه‌سازی کرد. در این پژوهش، طرح مرکب مرکزی با استفاده از نرم‌افزار مینی تب طراحی و نتایج مربوطه مورد استفاده قرار گرفت. تعداد تیمارهای طراحی شده در روش مربع مرکزی از رابطه (۴) تبعیت می‌کند (باکس و هانتر، ۱۹۵۷؛ اصلان، ۲۰۰۷). به منظور تعیین سطوح بهینه از روش سطح پاسخ استفاده شد. برای آنالیز آماری داده‌ها و ترسیم نمودارها، برازش معادلات و انجام محاسبات آماری از نرم‌افزار مینی تب ورژن ۱۶ استفاده شد.

$$t = 2^k + 2K + r \quad (4)$$

$$r = \sqrt{K}$$

که در این رابطه، t تعداد تیمارهای طراحی شده، K نشان‌دهنده تعداد فاکتورهای مورد استفاده و r تعداد تکرار برای نقطه مرکزی می‌باشد؛ بنابراین تعداد تیمارهای طراحی شده از فرمول ۴ بر اساس فاکتورهای مورد استفاده ۳ فاکتور و یک تکرار، ۱۵ تیمار حاصل شد. به منظور تعیین سطوح بهینه از روش سطح پاسخ استفاده شد که با ارائه یک مدل رگرسیون به برقراری ارتباطی بین جواب و فاکتورها می‌پردازد. تعداد ترکیب‌های مورد استفاده در جدول (۲) نشان داده شده است. در این پژوهش متغیرهای مستقل شامل تیمار نیاز آبی (I)، مرحله رشد (D) و سال (Y) می‌باشند و هر کدام به صورت کدهای بدون واحد در سه سطح (۱، ۰، -۱) کدبندی شدند که به ترتیب بیانگر سطوح بالا، میانگین و پایین متغیرهای مستقل می‌باشند.

جدول ۲- ترکیب‌های طراحی شده به وسیله طرح مرکب مرکزی*

نام ترکیب	نیاز آبی	مرحله رشد	سال
	I	D	Y
۱	۱	۰	-۱
۲	۰	-۱	۱
۳	-۱	۰	۱
۴	-۱	-۱	۰
۵	۰	۰	۰
۶	۱	-۱	۰
۷	۱	۱	۰
۸	۱	۰	۱
۹	۰	-۱	-۱
۱۰	۰	۰	۰
۱۱	۰	۰	۰
۱۲	-۱	۱	۰
۱۳	-۱	۰	-۱
۱۴	۰	۱	۱
۱۵	۰	۱	-۱

D, I و Y: به ترتیب نیاز آبی، مرحله رشد و سال

* -۱، صفر و ۱ به ترتیب نشان‌دهنده مقادیر پایین، میانه و بالای متغیرهای موردنظر هستند

در این روابط، P_i مقدار شبیه‌سازی شده، O_i مقدار اندازه‌گیری شده، $\bar{P}$ میانگین مقادیر شبیه‌سازی شده، $\bar{O}$ میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده و n برابر تعداد داده‌ها می‌باشد. مقدار آماره RMSE همواره مثبت بوده و هر چه به صفر نزدیک‌تر باشد بهتر است. مقادیر کمتر از ۰/۱ برای آماره NRMSE نشان‌دهنده دقت عالی مدل است. هم‌چنین مقادیر این آماره در بازه‌های ۰/۱-۰/۲، ۰/۳-۰/۲ و بیشتر از ۰/۳ به ترتیب نشان‌دهنده دقت خوب، متوسط و ضعیف است. مقدار مثبت آماره MBE نشان‌دهنده این است که مدل مقدار عامل موردنظر را بیشتر از مقدار واقعی برآورد کرده است و مقادیر منفی بیانگر این است که مدل در برآورد عامل موردنظر عدد کوچک‌تری به دست داده است. مقادیر آماره‌های d EF نشان‌دهنده صحت برازش داده‌ها می‌باشد و از مقدار منفی بی‌نهایت در بدترین حالت تا یک در زمان برازش کامل داده‌ها متغیر است. مقدار R^2 از صفر تا یک تغییر می‌کند و هر چه به یک نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده برازش بهتر داده‌ها می‌باشد.

آماره‌های جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، جذر میانگین مربعات نرمال شده (NRMSE)، میانگین خطای اریب (MBE)، کارایی مدل (EF)، شاخص توافق (d) و ضریب تبیین (R^2) مورد استفاده قرار گرفتند. این آماره‌ها به ترتیب در روابط (۵) تا (۱۰) نشان داده شده‌اند (احمدی و همکاران، ۱۳۹۵):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (5)$$

$$NRMSE = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}}}{\bar{O}_i} \quad (6)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)}{n} \quad (7)$$

$$EF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (8)$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i| + |O_i|)^2} \quad (9)$$

$$R^2 = \frac{(\sum (P_i - \bar{P})(O_i - \bar{O}))^2}{\sum (P_i - \bar{P})^2 \sum (O_i - \bar{O})^2} \quad (10)$$

نتایج و بحث

مدل رگرسیونی برای تعیین میزان مشارکت هر کدام از عوامل مقدار آب آبیاری، مرحله رشد و سال با استفاده از مدل طرح مرکب مرکزی تعیین شد (جدول ۳). در طرح مربع مرکزی، هر کدام از عوامل و برهم کنش آنها به صورت خودکار در مدل رگرسیونی قرار داده می شوند و در صورت اثربخشی، به مدل رگرسیون اضافه می شوند. با توجه به اینکه در رابطه به دست آمده همه عوامل، برهم کنش آنها و مجذور اثر هر کدام از آنها وجود دارد؛ بنابراین هیچ کدام از این عوامل را نمی توان بر عملکرد و شاخص های عملکرد گل گاوزبان در این مطالعه نادیده گرفت. در واقع می توان گفت که همه ی عوامل اثر مشخص و معنی داری بر پارامترهای مورد مطالعه داشتند. برای هر کدام از پارامترهای مورد مطالعه، مقادیر ضرایب رگرسیون در جدول (۳) نشان داده شده است. مقادیر آماره R^2 برای همه پارامترها قابل قبول ولیکن پارامترهای عملکرد گل تر $(82/2)$ و عملکرد گل خشک $(83/0)$ نسبت به سایر پارامترها از ضریب تبیین بهتری برخوردار بودند. بر اساس

نتایج جدول (۴) به نظر می رسد می توان با دقت قابل قبولی از این مدل رگرسیونی برای پیش بینی مقادیر پارامترهای مورد مطالعه استفاده کرد.

همان گونه که در شکل ۳ مشاهده می شود برازش معادله رگرسیون بین مقادیر پیش بینی شده در برابر مقادیر مشاهداتی برای پارامترهای عملکرد گل تر، عملکرد اقتصادی و درصد روغن دچار خطای کم برآوردی شد. این نتایج با توجه به جدول (۴) نیز قابل بررسی است. بر اساس نتایج دو آماره EF و d، مدل رگرسیون برای تعیین همه پارامترها از کارایی مطلوبی برابر با $0/99$ برخوردار بود. این مدل برای پیش بینی وزن هزار دانه، عملکرد گل تر، عملکرد گل خشک و درصد روغن بر اساس آماره NRMSE با دقت عالی (کمتر از $0/1$) و برای پیش بینی سایر پارامترها دقت خوب ($0/1-0/2$) داشت. بررسی آماره MBE نشان داد که مدل در پیش بینی عملکرد گل تر، عملکرد اقتصادی و درصد روغن دچار کم برآوردی (مقادیر منفی) و از نظر سایر پارامترهای مورد بررسی بیش برآوردی (مقادیر مثبت) داشته است.

جدول ۳- معادله رگرسیونی به دست آمده و ضرایب آن

$$Y = a_0 + a_1I + a_2D + a_3Y + a_4I^2 + a_5D^2 + a_6Y^2 + a_7ID + a_8IY + a_9DY$$

پارامتر	a0	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9
وزن هزار دانه	۱۷/۷	۰/۳۸	۰/۹۲	-۰/۱۱	-۰/۶۱	-۰/۴۳	۰/۰۸	۰/۰۰	۰/۷۷	۰/۳۵
عملکرد گل تر	۶۳۰/۰	۴۱/۰	۱۳۲/۰	۴۷/۱	۱۶/۴	-۲۸/۳	-۲۲/۳	۰/۰۰	۸۱/۹	۶/۴
عملکرد گل خشک	۳۱۹/۰	۲۶/۶	۷۸/۳	۲۸/۶	۲۵/۶	-۱۱/۱	-۱۸/۴	۰/۰	۵۲/۲	۳/۴
عملکرد دانه	۴۵۶/۰	۲۹/۴	۹۴/۲	۴/۸	-۵۴/۴	-۶۸/۰	-۶/۸	۰/۰	۵۸/۷	-۳۶/۹
عملکرد اقتصادی	۷۴۳/۰	۵۶/۱	۱۷۶/۷	۴۵/۶	-۲۴/۷	-۵۰/۸	۰/۰	۱۱۲/۲	-۲۵/۹	-۲۴/۷
عملکرد روغن	۱۴۸/۰	۱۰/۸	۳۲/۵	۱/۲	-۱۸/۸	۲۰/۲	-۰/۷	۰/۰	۲۱/۵	-۱۶/۰
درصد روغن	۳۲/۶	۰/۳۸	۰/۶۵	-۰/۲۶	-۰/۷۸	۰/۳۳	۰/۵۶	۰/۰۰	۰/۷۷	-۰/۹۰

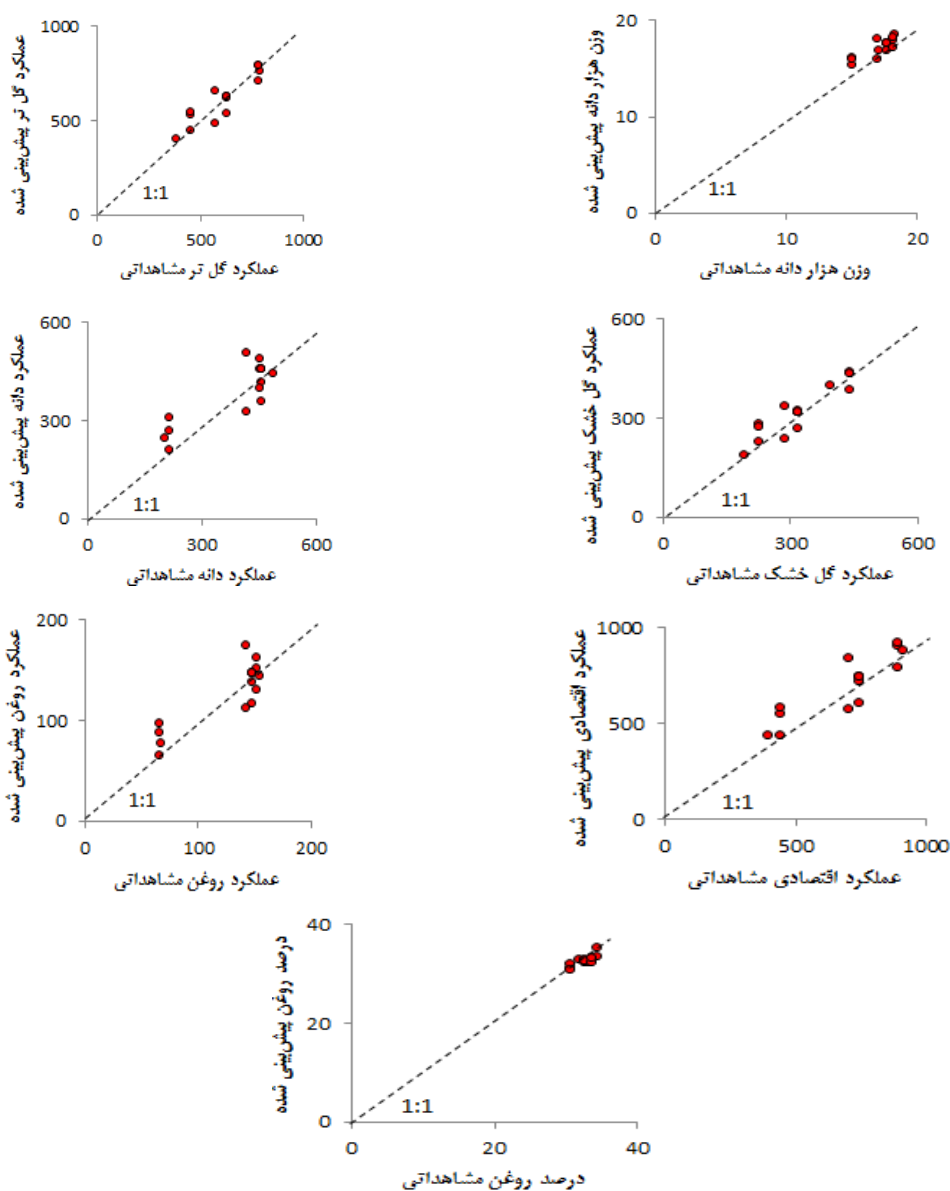
D, I و Y: به ترتیب نیاز آبی، مرحله رشد و سال هستند

جدول ۴- نتایج آماره‌های مقادیر مشاهداتی در برابر نتایج معادله

$$Y = a_0 + a_1I + a_2D + a_3Y + a_4I^2 + a_5D^2 + a_6Y^2 + a_7ID + a_8IY + a_9DY$$

پارامتر	واحد	MBE	RMSE	NRMSE	EF	d	R ²
وزن هزار دانه	گرم	۰/۰۱	۰/۶۱	۰/۰۳	۰/۹۹	۰/۹۹	۶۹/۷
عملکرد گل تر		-۰/۰۷	۰/۵۴	۰/۰۸	۰/۹۹	۰/۹۹	۸۲/۲
عملکرد گل خشک		۰/۰۲	۰/۳۲	۰/۱۰	۰/۹۹	۰/۹۹	۸۳/۰
عملکرد دانه	کیلوگرم بر هکتار	۰/۰۳	۰/۵۵	۰/۱۴	۰/۹۹	۰/۹۹	۷۲/۷
عملکرد اقتصادی		-۰/۰۱	۰/۸۱	۰/۱۱	۰/۹۹	۰/۹۹	۷۸/۲
عملکرد روغن		۰/۰۱	۰/۱۸	۰/۱۴	۰/۹۹	۰/۹۹	۷۳/۹
درصد روغن	درصد	-۰/۰۷	۰/۷۳	۰/۰۲	۰/۹۹	۰/۹۹	۶۴/۶

I, D و Y: به ترتیب نیاز آبی، مرحله رشد و سال هستند



شکل ۳- نتایج مقادیر مشاهداتی در برابر مقادیر شبیه‌سازی شده توسط معادله

$$Y = a_0 + a_1I + a_2D + a_3Y + a_4I^2 + a_5D^2 + a_6Y^2 + a_7ID + a_8IY + a_9DY$$

I, D و Y: به ترتیب نیاز آبی، مرحله رشد و سال هستند

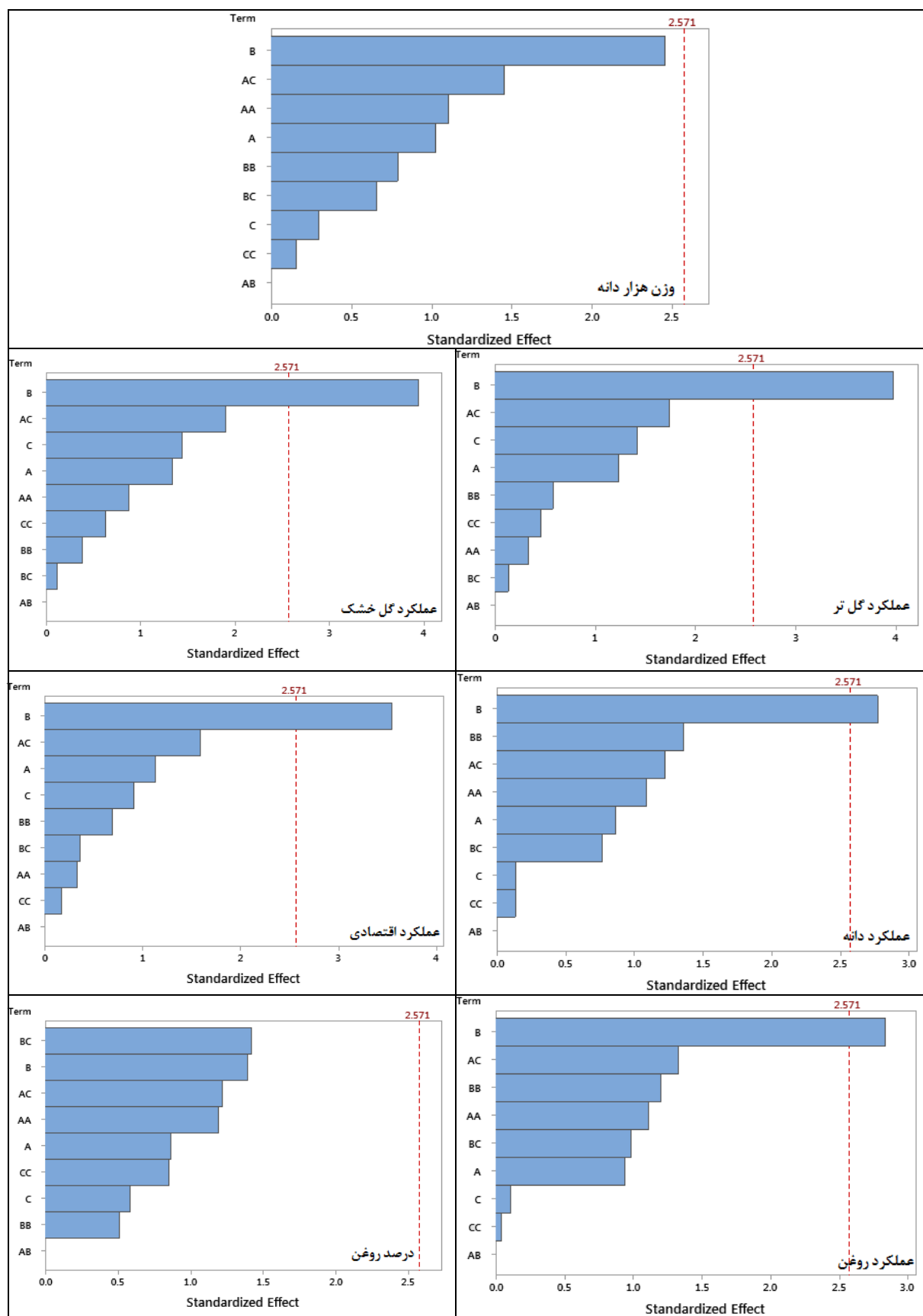
اثر هر کدام از تیمارها بر پارامتر مورد مطالعه در شکل (۴) نشان داده شده است. در بین تیمارهای آزمایش، نیاز آبی بیشترین اثر را بر وزن هزار دانه داشت. پس از آن، برهمکنش مرحله رشد و سال قرار داشت. مرحله رشد نسبت به سال اثر بیشتری بر وزن هزار دانه داشت. نیاز آبی بیشترین اثر را بر عملکرد گل خشک و تر داشت. برای این دو پارامتر، سال اثر بیشتری نسبت به مرحله رشد داشت؛ بنابراین نیاز آبی نسبت به مرحله رشد اثر بیشتری بر عملکرد گل تر و خشک داشت. این نتایج با مشاهدات محققان دیگر از جمله دست برهان و همکاران (۲۰۱۳)، کرمی و سپهری (۱۳۹۱)، یارمحمدی زهی و همکاران (۱۳۹۵) و قلی نژاد و همکاران (۱۳۹۳) مطابقت داشت. این محققان نیز گزارش کردند که نیاز آبی بر میزان عملکرد گل گاوزبان اثر بسیار مؤثری داشت. وضعیت عملکرد اقتصادی نیز مشابه عملکرد گل تر و خشک بود به طوری که تیمارهای نیاز آبی، برهمکنش مرحله رشد و سال، مرحله رشد و سال به ترتیب بیشترین اثر را داشتند. تیمار نیاز آبی بیشترین اثر را بر عملکرد دانه گل گاوزبان داشت. اثر مربع این تیمار، برهمکنش مرحله رشد و سال و اثر مربع مرحله رشد بیشترین اثر را بر عملکرد دانه گل گاوزبان داشتند. اثر ساده سال تأثیر بسیار کمی بر عملکرد دانه گل گاوزبان داشت. تفاوت اثر تیمارهای مختلف بر درصد روغن بسیار کمتر از سایر پارامترها بود. به همین دلیل اختلاف کمی بین اثر تیمارهای مقدار آب آبیاری، مرحله رشد و سال وجود داشت. علی رغم آن، نیاز آبی اثر بیشتری نسبت به دو پارامتر دیگر داشت و سال اثر کمی بر درصد روغن نشان داد. نیاز آبی اثر بسیار مشهودی بر عملکرد روغن داشت و اثربخشی آن نسبت به سایر تیمارها بسیار بیشتر بود. اثر ساده سال بر عملکرد روغن نسبت به سایر تیمارها بسیار کم بود. برهمکنش این تیمار با مرحله رشد و نیاز آبی اثر مشهودی بر عملکرد روغن داشت. برهمکنش مرحله رشد و نیاز آبی در همه پارامترها کمترین اثر را داشت؛ بنابراین می توان نتیجه گرفت که تأمین یکی از این دو پارامتر به تنهایی اثر مؤثرتری بر پارامترهای مورد بررسی داشت. از بین این دو

پارامتر، نیاز آبی اثر مؤثرتری بر تغییرات پارامترهای مورد نظر داشت. به همین دلیل، افزایش یا کاهش مقدار این عامل، می تواند مقدار هر کدام از پارامترهای مورد بررسی را به شدت تغییر دهد.

اثر ساده عوامل مرحله رشد، نیاز آبی و سال بر وزن هزار دانه در شکل (۵) نشان داده شده است. تغییرات مرحله رشد بر وزن هزار دانه به این صورت بود که حداقل بین تأمین آب در بازه ۱- و ۱ بیشترین اثر را بر وزن هزار دانه داشت؛ بنابراین هر چه تأمین آب در دوره گلدهی بیشتر باشد، وزن هزار دانه نیز بیشتر می شود. نیاز آبی نیز هر چه بیشتر بود، وزن هزار دانه بیشتری پیش بینی شد. در خشک سالی مقدار وزن هزار دانه بیشتر از ترسالی بود. با تأمین آب آبیاری در دو مرحله گلدهی و ساقه روی، وزن گل تر و خشک افزایش یافت (شکل های ۶ و ۷) با این تفاوت که وزن گل تر با شدت بیشتری به تأمین آب در این دو دوره واکنش نشان داد. این نتایج با مشاهدات دست برهان و همکاران (۲۰۱۳)، کرمی و سپهری (۱۳۹۱) مطابقت داشت. اثر تأمین مقدار آب آبیاری بر هر دو پارامتر وزن گل تر و خشک به صورت صعودی بود و تفاوتی با یکدیگر نداشت. ترسالی سبب افزایش وزن گل تر و خشک شد. عملکرد دانه نسبت به مرحله رشد تغییرات سهمی شکل داشت (شکل ۸). بدین صورت که با تغییر مرحله رشد از ساقه روی به گلدهی میزان عملکرد دانه افزایش یافت. همچنین براساس طرح مربع مرکزی، با تأمین آب آبیاری در هر دو دوره ساقه روی و گلدهی میزان عملکرد دانه اندکی کاهش یافت. این تغییرات در تأمین نیاز آبی نیز مشاهده شد. با افزایش نیاز آبی عملکرد دانه افزایش یافت ولی در شرایط تأمین حداکثر آب آبیاری، اندکی عملکرد دانه کاهش یافت. براساس طرح مربع مرکزی، بین دو دوره ترسالی و خشک سالی تفاوت اندکی در عملکرد دانه مشاهده شد. عملکرد اقتصادی گل گاوزبان نسبت به تغییرات هر سه عامل مرحله رشد، نیاز آبی و سال واکنش مثبت داشت (شکل ۹). با این وجود مقدار آب آبیاری اثر بیشتری بر عملکرد اقتصادی گل گاوزبان داشت. واکنش

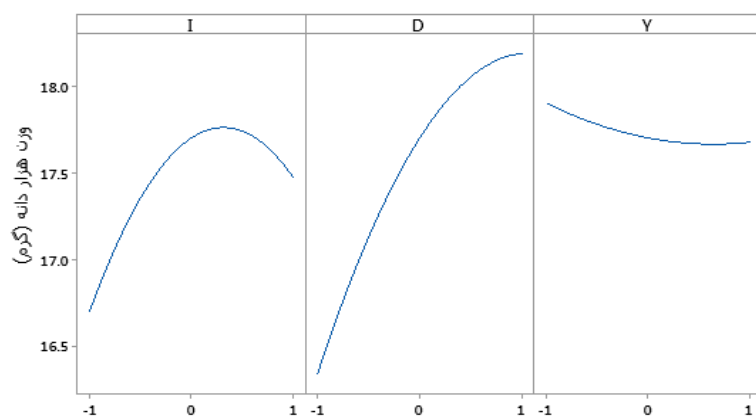
عملکرد روغن نسبت به تغییرات مرحله رشد، نیاز آبی و سال مشابه عملکرد دانه گل گاوزبان بود (شکل ۱۰). برای این پارامتر، مقدار آب آبیاری بیشترین اثر را بر تغییرات عملکرد روغن گل گاوزبان داشت. این نتایج با مشاهدات کرمی و سپهری (۱۳۹۱) و قلی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۳) مطابقت داشت. واکنش درصد روغن به تغییرات مرحله

رشد به صورت سهمی بود (شکل ۱۱). برای این پارامتر، بیشترین مقدار در شرایطی به دست می‌آید که آب آبیاری در دوره گلدهی تأمین شود. مقدار آب آبیاری نیز باید به صورت کامل تأمین شود تا درصد روغن بیشتری به دست آید. همچنین در دوره خشک‌سالی درصد روغن بیشتری نسبت به دوره ترسالی به دست می‌آید.

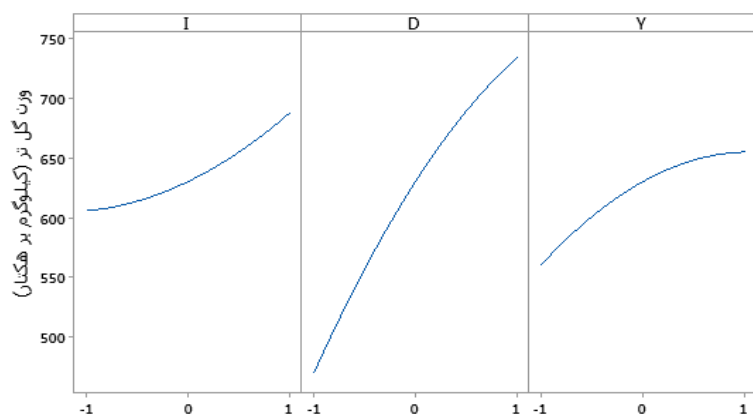


شکل ۴- اثر هر کدام از تیمارها بر پارامترهای مورد مطالعه

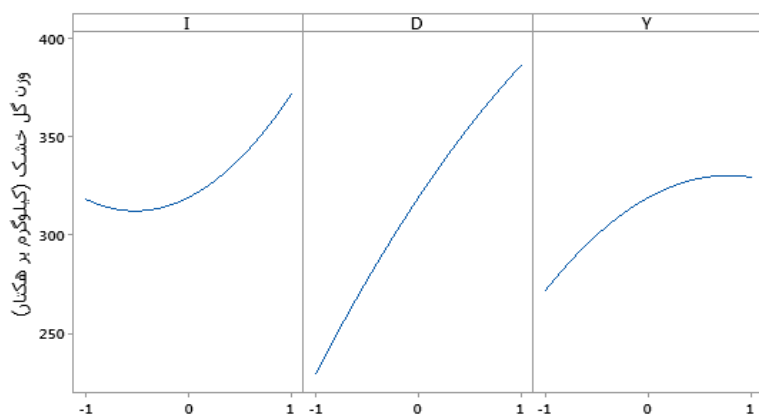
(A, B و C به ترتیب نشان‌دهنده مرحله رشد، نیاز آبی و سال)



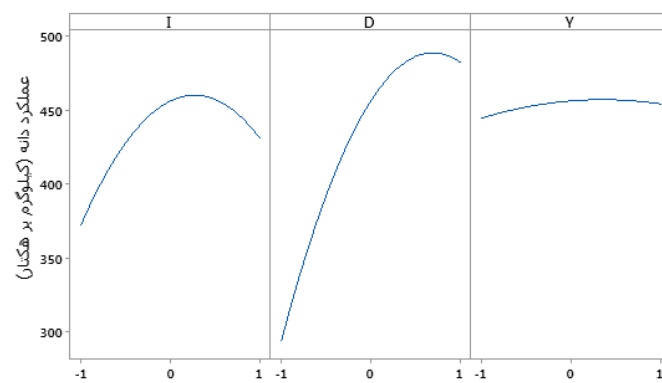
شکل ۵- اثر ساده هرکدام از تیمارها بر وزن هزار دانه (I، D و Y: به ترتیب نیاز آبی، مرحله رشد و سال هستند)



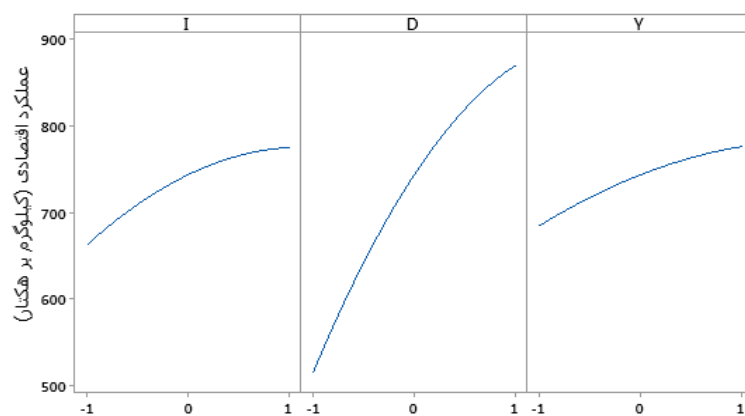
شکل ۶- اثر ساده هرکدام از تیمارها بر وزن گل تر (I، D و Y: به ترتیب نیاز آبی، مرحله رشد و سال هستند)



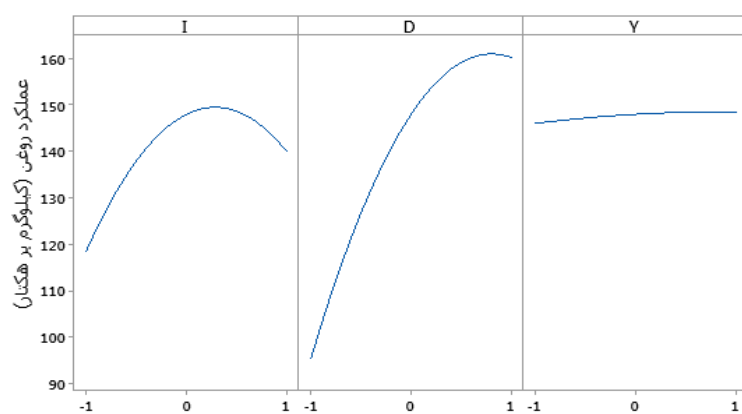
شکل ۷- اثر ساده هرکدام از تیمارها بر وزن گل خشک (I، D و Y: به ترتیب نیاز آبی، مرحله رشد و سال هستند)



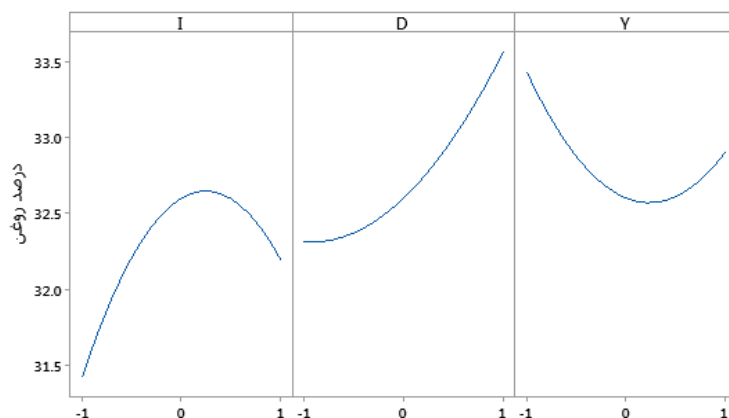
شکل ۸- اثر ساده هرکدام از تیمارها بر عملکرد دانه (I، D و Y: به ترتیب نیاز آبی، مرحله رشد و سال هستند)



شکل ۹- اثر ساده هرکدام از تیمارها بر عملکرد اقتصادی (I، D و Y: به ترتیب نیاز آبی، مرحله رشد و سال هستند)

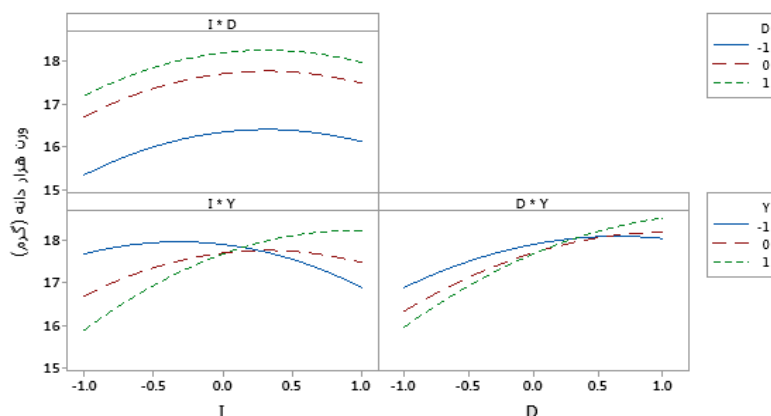


شکل ۱۰- اثر ساده هرکدام از تیمارها بر عملکرد روغن (I، D و Y: به ترتیب نیاز آبی، مرحله رشد و سال هستند)



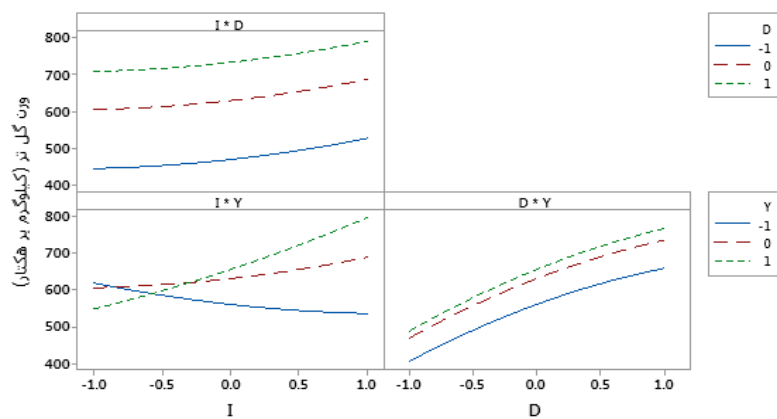
شکل ۱۱- اثر ساده هر کدام از تیمارها بر درصد روغن (I, D و Y: به ترتیب نیاز آبی، مرحله رشد و سال هستند)

در زمان ساقه روی اثر چندانی بر وزن گل تر و خشک نداشت. افزایش آبیاری در دوره ترسالی سبب افزایش وزن گل تر و خشک شد. تفاوت بین دو مقدار $D=0$ و $D=1$ چندان زیاد نبود؛ بنابراین با در نظر گرفتن دوره یکسان برای آبیاری، تأمین نصف نیاز آبی گیاه نیز کفایت می‌کند. تغییرات عملکرد دانه و اقتصادی نیز مشابه هم بود (شکل‌های ۱۵ و ۱۶). برای هر دو پارامتر مذکور، افزایش آبیاری در هر مرحله رشد سبب افزایش عملکرد دانه و اقتصادی شد. با این تفاوت که برای عملکرد دانه، تفاوت بین تأمین کامل نیاز آبی گیاه تقریباً برابر با تأمین نصف نیاز آبی گیاه بود. وجود دوره ترسالی در زمان گلدهی و ساقه روی سبب افزایش عملکرد دانه و اقتصادی شد. تأمین کامل آب آبیاری در هر دو دوره خشکسالی و ترسالی سبب افزایش عملکرد دانه و اقتصادی شد؛ با این وجود اثر آن دو دوره ترسالی بیشتر بود.

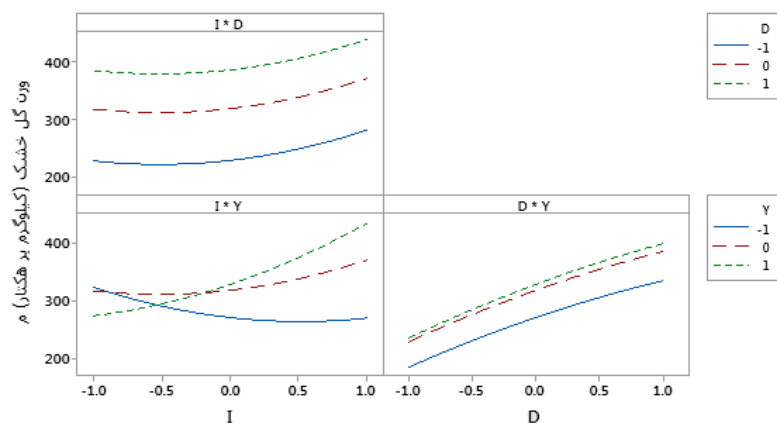


شکل ۱۲- اثر متقابل تیمارها بر وزن هزار دانه (I, D و Y: به ترتیب نیاز آبی، مرحله رشد و سال هستند)

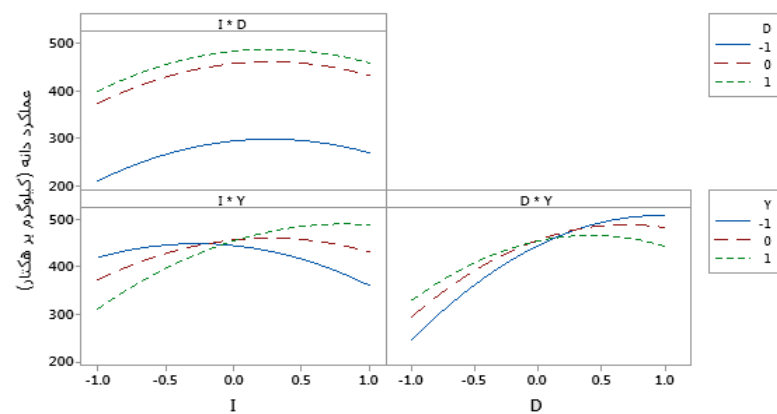
اثر متقابل مرحله رشد و نیاز آبی نشان داد که تأمین بیشترین نیاز آبی در دوره‌های ساقه روی و گلدهی سبب افزایش وزن هزار دانه گل گاوزبان می‌شود (شکل ۱۲). دوره خشکسالی اگر در زمان ساقه روی گل گاوزبان باشد وزن هزار دانه بیشتر می‌شود. هرچقدر تأمین آب در این دوره کمتر باشد، وزن هزار دانه بیشتر است. در دوره گلدهی نیاز است وضعیت ترسالی وجود داشته باشد تا وزن هزار دانه مقدار قابل قبولی باشد. تفاوت چندانی بین تأمین نیاز آبی در دوره‌های ترسالی و خشکسالی وجود نداشت و در هر دو سال، با تأمین بیشتر آب آبیاری، وزن هزار دانه افزایش یافت. اثر متقابل تیمارها بر وزن گل تر و خشک مشابه هم بود (شکل‌های ۱۳ و ۱۴). با افزایش نیاز آبی در هر مرحله رشد، وزن گل تر و خشک افزایش یافت. وجود ترسالی در دوره‌های ساقه روی و گلدهی سبب افزایش وزن گل تر و خشک شد ولی وجود ترسالی یا خشکسالی



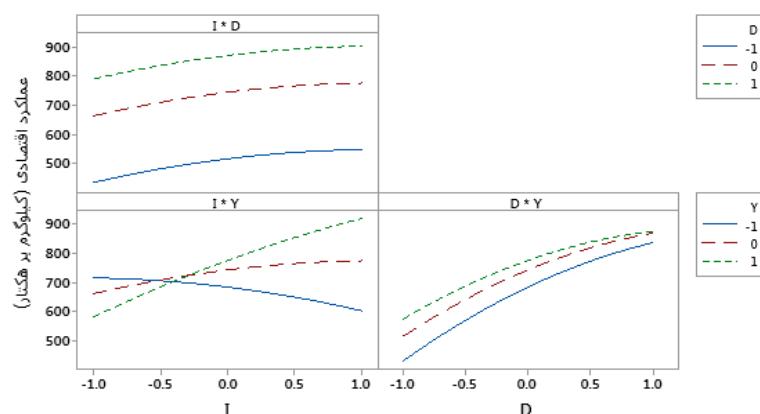
شکل ۱۳- اثر متقابل تیمارها بر وزن گل تر (I, D و Y: به ترتیب نیاز آبی، مرحله رشد و سال هستند)



شکل ۱۴- اثر متقابل تیمارها بر وزن گل خشک (I, D و Y: به ترتیب نیاز آبی، مرحله رشد و سال هستند)



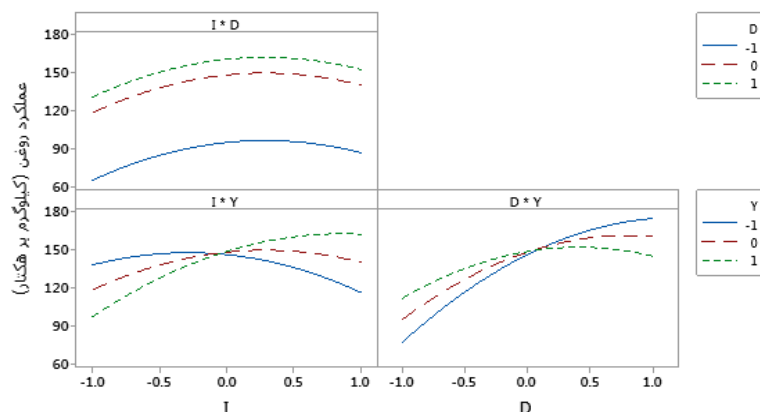
شکل ۱۵- اثر متقابل تیمارها بر عملکرد دانه (I, D و Y: به ترتیب نیاز آبی، مرحله رشد و سال هستند)



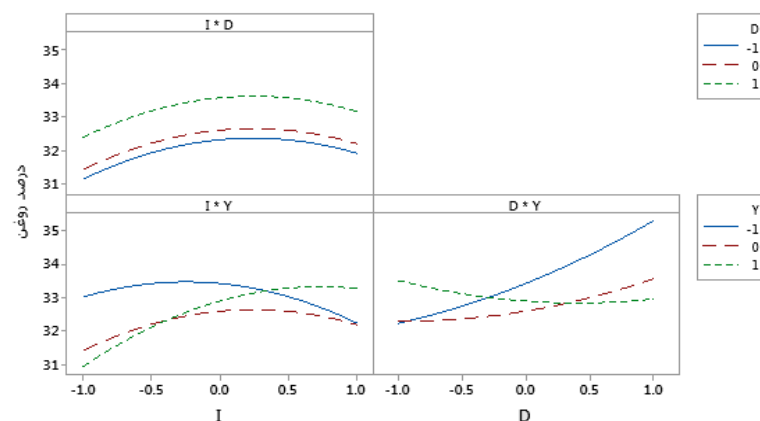
شکل ۱۶- اثر متقابل تیمارها بر عملکرد اقتصادی (I, D و Y: به ترتیب نیاز آبی، مرحله رشد و سال هستند)

افزایش عملکرد شد. از طرفی، بیشترین درصد روغن در شرایط خشکسالی در دوره ساقه روی به دست آمد. تأمین کامل آب آبیاری در دوره ترسالی سبب افزایش عملکرد روغن شد ولی درصد روغن را کاهش داد. بیشترین درصد روغن در شرایط خشکسالی به دست آمد.

عملکرد روغن (شکل ۱۷) و درصد روغن (شکل ۱۸) در زمان تأمین کامل نیاز آبیاری به بیشترین مقدار خود رسیدند. تأمین نصف نیاز آبی اثر کمی بر کاهش عملکرد روغن داشت ولی درصد روغن را به شدت کاهش داد. وجود ترسالی در دوره‌های گلدهی و ساقه روی سبب



شکل ۱۷- اثر متقابل تیمارها بر عملکرد روغن (I, D و Y: به ترتیب نیاز آبی، مرحله رشد و سال هستند)



شکل ۱۸- اثر متقابل تیمارها بر درصد روغن (I, D و Y: به ترتیب نیاز آبی، مرحله رشد و سال هستند)

مقادیر بهینه پارامترهای مورد مطالعه توسط مدل طرح مرکب مرکزی تعیین شد (جدول ۵). این مقادیر برای همه پارامترها از مقدار مشاهداتی بیشتر بود. در نتیجه ترکیب تیمارهای بررسی شده در طرح آزمایشی نتوانسته بود مقدار حداکثری را برای این پارامترها به دست آورد. مقدار وزن هزار دانه در شرایط بهینه برابر با ۱۸/۹ گرم به دست آمد. مقادیر عملکرد گل خشک، عملکرد گل تر، عملکرد دانه و عملکرد اقتصادی نیز به ترتیب برابر با ۸۵۸، ۴۶۸، ۹۸۳ و ۴۸۶ کیلوگرم بر هکتار به دست آمد. عملکرد روغن برابر با ۱۶۰ کیلوگرم بر هکتار و درصد روغن نیز برابر با ۳۳/۵ درصد تعیین شد. برای وزن هزار دانه، لازم است آبیاری در دوره ترسالی و با تأمین کامل نیاز آبیاری انجام شود. با مراجعه به شکل های (۵) و (۱۰)، برای این پارامتر، دور آبیاری باید شامل تأمین آب آبیاری در دوره گلدهی و در نظر گرفتن دوره ساقه روی باشد. با این شرایط که تأمین آب در دوره ساقه روی به میزان حداکثر نیاز نیست. عملکرد گل تر و خشک و عملکرد اقتصادی با تأمین کامل آب آبیاری در هر دو دوره گلدهی و ساقه روی و در ترسالی باشد. علت اختلاف بین مقادیر حداکثر و بهینه برای این تیمارها، در نظر گرفتن اثر تیمارهای مختلف بر سایر

پارامترهای گیاه است. برای دستیابی به حداکثر عملکرد دانه، لازم است آبیاری با ۹۵ درصد نیاز آبی گیاه در خشکسالی انجام شود. برای دستیابی به مقدار بهینه عملکرد روغن و درصد روغن لازم است تأمین کامل آب آبیاری در زمان خشکسالی انجام شود. برای این دو پارامتر بهتر است زمان آبیاری در دوره ساقه روی باشد. به منظور تعیین مقدار بهینه همه پارامترها، چهار سناریو برای طرح مرکب مرکزی تعیین شد. در سناریوی ۱، وزن همه پارامترها یکسان، در سناریو ۲، وزن عملکرد برای همه پارامترها برابر ۲ و وزن مابقی پارامترها برابر یک، در سناریو ۳، وزن درصد و عملکرد روغن برابر ۲ و وزن مابقی پارامترها برابر با یک و در سناریو ۴، وزن عملکرد گل خشک، گل تر و روغن و درصد روغن برابر با ۲ و وزن مابقی پارامترها برابر با یک در نظر گرفته شد. نتایج به دست آمده برای سناریوهای ۱، ۲ و ۴ تقریباً مشابه بود. در این سناریوها، تأمین ۸۸ درصد آب آبیاری در دوره ترسالی و در دوره گلدهی و اواخر دوره ساقه روی لازم است. در سناریو ۳ که دستیابی به روغن مهم تر از سایر اجزا است، آبیاری کامل در خشکسالی و زمان ساقه روی لازم است.

جدول ۵- مقادیر بهینه پارامترهای مورد بررسی و سناریوهای ارائه شده

پارامتر	واحد	حداکثر مقدار مشاهداتی	مقدار بهینه	نیاز آبی	مرحله رشد	سال
				I	D	Y
وزن هزار دانه	گرم	۱۸/۳	۱۹	۰/۹۳	۱	۱
عملکرد گل تر		۷۸۶	۹۰۴	۱	۱	۱
عملکرد گل خشک		۴۴۰	۵۰۵	۱	۱	۱
عملکرد دانه	کیلوگرم بر هکتار	۴۸۶	۵۱۱	-۰/۲۷	۰/۹۵	-۱
عملکرد اقتصادی		۹۱۱	۱۰۱۹	۱	۱	۱
عملکرد روغن		۱۵۵	۱۷۵	-۰/۲۹	۱	-۱
درصد روغن	درصد	۳۴/۵	۳۵	-۰/۲۵	۱	-۱
سناریو ۱	-	-	-	۰/۷۵	۰/۸۸	۱
سناریو ۲	-	-	-	۰/۷۵	۰/۸۹	۱
سناریو ۳	-	-	-	-۱	۱	-۱
سناریو ۴	-	-	-	۰/۷۵	۰/۸۹	۱

نتیجه گیری

نتایج این پژوهش نشان داد رگرسیون برازش داده شده برای پیش بینی وزن هزار دانه، عملکرد گل تر،

عملکرد گل خشک و درصد روغن توسط طرح مرکب مرکزی دقت عالی و برای پیش بینی سایر پارامترها دقت خوب داشت. مقادیر بهینه عملکرد دانه، عملکرد روغن و

درصد و عملکرد روغن اهمیت کمتری نسبت به سایر پارامترها داشته باشد، تأمین ۸۸ درصد آب آبیاری در ترسالی و برای دوره گلدهی و نیمی از دوره ساقه روی لازم است؛ بنابراین، براساس نتایج به دست آمده، پیشنهاد می‌شود که برای دستیابی به حداکثر عملکرد و درصد روغن، تأمین کامل نیاز آبیاری در خشکسالی و در دوره ساقه روی می‌بایست در نظر گرفته شود.

درصد روغن در شرایط خشکسالی و مقادیر بهینه سایر پارامترها در شرایط ترسالی به دست آمد. اختلاف معنی‌داری بین زمان آبیاری برای تعیین مقدار بهینه پارامترها مشاهده شد. برای دستیابی به حداکثر عملکرد دانه، لازم است آبیاری با ۹۵ درصد نیاز آبی گیاه در خشکسالی انجام شود. برای دستیابی به مقدار بهینه عملکرد روغن و درصد روغن لازم است تأمین کامل آب آبیاری در زمان خشکسالی انجام شود. با در نظر گرفتن مقدار بهینه برای همه پارامترها، اگر

فهرست منابع

۱. ابراهیمی‌پاک، ن. ع.، اگدرنژاد، ا.، تافته، آ.، احمدی، م. ۱۳۹۸. ارزیابی مدل‌های WOFSOT، AquaCrop و CropSyst در شبیه‌سازی عملکرد کلزا در منطقه قزوین. آبیاری و زهکشی. ۱۳(۳-۷۵): ۷۱۵-۷۲۶.
۲. احمدی، م.، خاشعی‌سیوکی، ع.، سیاری، م. ح. ۱۳۹۵. بررسی مدل مناسب تعیین نیاز آبی زعفران (Crocus sativus L) و تعیین میزان تنش‌های آبی وارده. بوم‌شناسی کشاورزی. ۸(۴-۵۰): ۵۰۵-۵۲۰.
۳. احمدی، م.، قنبرپوری، م.، اگدرنژاد، ا. ۱۴۰۰. مقدار آب کاربردی گندم با استفاده از تحلیل حساسیت و ارزیابی مدل AquaCrop. مدیریت آب در کشاورزی. ۸(۱): ۱۵-۳۰.
۴. اکبری‌نیا، ا.، کرامتی‌طرقی، م.، هادی‌تواتری، م. ح. ۱۳۸۶. بررسی تأثیر دور آبیاری بر عملکرد گل گاوزبان ایرانی Echiuamamoenum Mey& Fisch. پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی. شماره ۷۶. ۱۲۸-۱۲۲.
۵. اگدرنژاد، ا.، ابراهیمی‌پاک، ن. ع.، تافته، آ.، احمدی، م. ۱۳۹۷. برنامه‌ریزی آبیاری کلزا با استفاده از مدل AquaCrop در دشت قزوین. مدیریت آب در کشاورزی. ۵(۲-۱۰): ۵۳-۶۴.
۶. بی‌نام، ۱۳۹۹. آمارنامه کشاورزی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات، وزارت جهاد کشاورزی.
۷. خاشعی‌سیوکی، ع.، هاشمی، س. ر.، احمدی، م. ۱۳۹۵. کاربرد تاگوچی در ارزیابی سبز شدن زعفران (Crocus sativus L) تحت تأثیر زئولیت و برنامه‌ریزی آبیاری. پژوهش‌های زعفران. ۴(۲): ۲۶۶-۲۷۸.
۸. عبدالحی‌مایوان، م.، خرمدل، س.، کوچکی، ع.، و قربانی، ر. ۱۳۹۷. ارزیابی واکنش عملکرد و اجزای عملکرد گاوزبان اروپایی (Borago L. officinalis) تحت تأثیر مقادیر آبیاری و تراکم بوته. بوم‌شناسی کشاورزی، ۱۰(۲): ۳۲۷-۳۳۹.
۹. قلی‌نژاد، ر.، فاخری، ب. و سیروس مهر، ع. ر. ۱۳۹۵. ارزیابی رژیم آبیاری و کودهای آلی بر عملکرد کمی و کیفی گاوزبان (Borago officinalis L.). نشریه اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، ۱۰(۳): ۶۸۳-۶۹۶.
۱۰. کرمی، ا.، سپهری، ع.، حمزه‌بی، ج. و سلیمی، ق. ۱۳۹۰. تأثیر کودهای زیستی فسفر و نیتروژن بر صفات کمی و کیفی گیاه دارویی گاوزبان (Borago officinalis L.) تحت تنش کمبود آب. فن‌آوری تولیدات گیاهی. ۱۱(۱): ۳۷-۵۰.
۱۱. یارمحمدزهی، ن. و سیروس مهر، ع. و خمیری، ع. ۱۳۹۵. اثرات تنش خشکی و نانوکودها بر صفات مورفولوژیکی و فلورسانس کلروفیل گاوزبان اروپایی، دومین کنفرانس بین‌المللی ایده‌های نوین در کشاورزی، محیط زیست و گردشگری، اردبیل.

12. Ahmadee, M., Khashei Siuki, A., and Hashemi, S. R., 2014. The effect of magnetic water and calcific and potasic zeolite on the yield of *Lepidium Sativum* L, International journal of Advanced Biological and Biomedical Research, 2(6): 2051-2060.
13. Albaji, M., Boroomand Nasab, S., Golabi, M., Ahmadee, M. 2015. Application Possibilities of Different Irrigation Methods in Hofel Plain, 25(1): 13-23.
14. Aslan, N. 2007. Application of response surface methodology and central composite rotatable design for modeling the influence of some operating variables of a multi-gravity separator for chromite concentration. Powder Technology 86: 769-776.
15. Box, G.E.P. and Hunter, J.S., 1957. Multi-factor experimental designs for exploring response surfaces. The Annals of Mathematical Statistics. 28(1): 195-241.
16. Dastborhan, S., Ghassemi-Golezani, K., and Zehtab-Salmasi, S. 2013. Changes in morphology and grain weight of borage (*Borago officinalis* L.) in response to seed priming and water limitation. International Journal of Agriculture and Crop Sciences 5(3): 313-317.
17. Marie, T. A. S. 2015. Calculation of crop water requirements uses CROPWAT. FAO. CROPWAT.8. Training course on Agronomic and engineering aspects of adaptation to climate change in Mediterranean agriculture.
18. Mehrabani, M., Shams-Ardakani, M., Ghannadi, A.R., Ghassemi Dehkordi, N. and Sajjadi, E., 2005. Production of rosmarinic acid in *Echium amoenum* Fisch & C.A. Mey. Cell cultures. Iranian Journal of Pharmaceutical Research, 2: 111-115.
19. Wu, C.F.J., and Hamada, M. 2009. Experiments: planning, analysis, and parameter design optimization. Second edition, John Wiley and Sons, New York, 853p.

اثر شوری آب آبیاری بر عملکرد نسبی و برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی سورگوم

مرجان نوروزی، الهام چاوشی^۱ و مهدی قاجار سپانلو

دانشجوی دکتری گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران.

nassim_sae@yahoo.com

استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران.

chavoshie@yahoo.com

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

sepanlu@yahoo.com

دریافت: مهر ۱۳۹۹ و پذیرش: خرداد ۱۴۰۱

چکیده

این آزمایش برای بررسی اثر تنش شوری آب آبیاری بر ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه سورگوم (رقم اسپیدفید) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در ستون‌های خاک در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان مازندران به اجرا در آمد. آزمایش در ۱۵ ستون خاک طی ۵۶ روز انجام شد. تیمارهای شوری شامل آب چاه (شاهد) ($S_1 = 0/99 \text{ dSm}^{-1}$)، مخلوط آب دریا و آب چاه با نسبت‌های $1/4$ ($S_2 = 4/7 \text{ dSm}^{-1}$)، $2/4$ ($S_3 = 8/1 \text{ dSm}^{-1}$)، $3/4$ ($S_4 = 13/7 \text{ dSm}^{-1}$) و آب دریا ($S_5 = 15/9 \text{ dSm}^{-1}$) بود. اندازه‌گیری‌ها شامل وزن خشک و تر اندام هوایی، دانه و ریشه، قطر و ارتفاع ساقه اصلی، شاخص سطح برگ، مساحت برگ، شاخص برداشت، عملکرد بیولوژیک و شاخص‌های مقاومت گیاه سورگوم بود. بر اساس نتایج، شوری آب و خاک بر تمامی صفات اندازه‌گیری شده، اثر معنی‌دار داشت. افزایش شوری آب آبیاری از سطح شاهد (S_1) تا تیمار S_5 باعث کاهش معنی‌دار تمام صفات اندازه‌گیری شده به غیر از شاخص برداشت و نسبت وزن خشک ریشه به وزن خشک ساقه، شد. همچنین، نتایج نشان داد که S_1 بهترین سطح شوری برای رسیدن به بیشینه وزن خشک در بوته گیاه سورگوم (معادل ۲۱۸ گرم) بود. در مورد شاخص‌های مقاومت $\frac{Ca}{Na}$ و $\frac{k}{Na}$ نیز تیمار S_1 نسبت بالاتری از سایر تیمارها داشت و مقدار آن به ترتیب ۶/۶۷ و ۱/۴ بود. در تیمار S_3 کاهش وزن خشک اندام هوایی در مقایسه با تیمار شاهد ۲۳/۵٪ بود، اما در این مورد بین تیمارهای S_3 و S_4 تفاوت معنی‌داری در مقایسه با تیمار شاهد مشاهده نشد. همچنین عملکرد نسبی سورگوم (عملکرد هر تیمار در مقایسه با شاهد) تا شوری عصاره اشباع خاک نزدیک به ۳/۶۵ دسی‌زیمنس بر متر کاهشی نداشت و به عنوان حد آستانه تحمل این گیاه در نظر گرفته شد. اما بعد از افزایش شوری، عملکرد گیاه کاهش یافت و در شوری حدود ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر به نصف رسید. شیب خط کاهش عملکرد سورگوم برابر ۳٪ بر دسی‌زیمنس بر متر محاسبه شد.

واژه‌های کلیدی: تنش شوری، آستانه تحمل شوری، سورگوم رقم اسپیدفید

^۱ - آدرس نویسنده مسئول: گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران.

مقدمه

رشد روزافزون جمعیت، نیاز به تولید غذا و محدودیت منابع آب و خاک، منجر به ارائه استراتژی‌های جدیدی در خصوص معرفی گیاهان مناسب و پربازده در شرایط شور شده است. یکی از این استراتژی‌ها کشت گیاهان هالوفیت و گونه‌های گیاهی دارای تحمل ذاتی به نمک است (کویرو و همکاران^۱، ۲۰۱۱).

این گیاهان از لحاظ دامنه تحمل به شوری، روند رشد و عملکرد در شرایط شور، دارای تنوع زیادی هستند و همین موضوع، آن‌ها را نیازمند بررسی و تحقیق فراوان نموده است. از جمله این گیاهان می‌توان به سورگوم (*Sorghum bicolor (L.) Moench*) اشاره کرد. (امام^۲، ۲۰۱۱). سطح زیر کشت این گیاه در دنیا در حدود ۴۱ میلیون هکتار بوده (فائو^۳، ۲۰۱۷) و حدود ۹۰ درصد آن به سورگوم دانه‌ای اختصاص دارد؛ بنابراین، این گیاه در دنیا به‌عنوان یک غله مطرح است، ولی با توجه به کمبود علوفه در ایران، نوع علوفه‌ای آن اولویت دارد و سطح زیر کشت آن در ایران ۲۰ هزار هکتار است (احمدی و همکاران، ۱۳۹۹). سورگوم علوفه‌ای نسبتاً مقاوم به شوری است (ماس و همکاران^۴، ۱۹۸۶) و با بهره‌گیری از فصل رشد طولانی‌تر، ماده خشک بیشتری در واحد سطح تولید می‌کند. رنجبر و همکاران^۵ (۲۰۱۴) آستانه تحمل شوری گیاه سورگوم را معادل چهار دسی‌زیمنس بر متر شوری عصاره اشباع خاک گزارش نمودند، درحالی‌که آستانه تحمل به شوری در مطالعات دیگر ۶/۸ دسی‌زیمنس بر متر عصاره اشباع خاک ذکر شده است که بر این اساس شیب خط کاهش عملکرد گیاه سورگوم ۱۶ برآورد شده بود (فرانکوویز و همکاران^۶، ۱۹۸۴). بر اساس مطالعات اماچر و همکاران^۷ (۱۹۹۷)، عملکرد گیاه سورگوم در EC معادل ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر عصاره اشباع، ۵۰ درصد کاهش یافته است. بر همین اساس این گیاه در تقسیم‌بندی مقاومت به

تنش شوری، در کلاس نیمه متحمل قرار می‌گیرد (ماس و هافمن^۸، ۱۹۷۷)؛ بنابراین می‌تواند منبع خوبی از علوفه را در شرایط آبیاری با آب شور فراهم کند. نصرالهی و همکاران (۱۳۹۴) واکنش ذرت به شوری را تحت مدیریت-های مختلف آبیاری در سیستم آبیاری قطره‌ای مورد بررسی قرار دادند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد با افزایش سطح شوری، وزن خشک دانه، ارتفاع و وزن هزار دانه و بهره‌وری آب کاهش می‌یابد. دیانت مهارلویی و همکاران (۱۳۹۳) نیز طی آزمایشی با اعمال چهار سطح شوری (۰، ۵، ۱۰ و ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر) در کشت سورگوم علوفه‌ای گزارش کردند که تنش شوری سبب کاهش معنی‌دار ارتفاع ساقه و سطح برگ سورگوم شد و این کاهش در شوری ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر شدیدتر بود. در پژوهش دیگری برنستین و همکاران (۲۰۰۱) گزارش کردند که با افزایش میزان شوری از غلظت صفر تا ۱۴۰ میلی مولار کلرید سدیم، سرعت رشد نسبی (PGR) و نسبت سطح برگ (LAR) در گیاه سورگوم، به‌طور معنی‌داری کاهش یافت.

کاشت سورگوم علوفه‌ای معمولاً در گرم‌ترین ماه سال (تیرماه) انجام می‌شود که آب شرایط بحرانی دارد. مشکلات مربوط به کم‌آبی، نگرانی‌های منطقه‌ای و فرا منطقه‌ای فراوانی را به‌وجود آورده است. تقریباً ۷۵ درصد از آب شیرین جهان در بخش کشاورزی مصرف می‌شود (پدرو و همکاران^۹، ۲۰۱۰). در ایران نیز اصلی‌ترین مصرف‌کننده آب، بخش کشاورزی است (نصرافهانی و گلچین، ۱۳۸۷)، به نظر می‌رسد چنانچه مدیریت بهینه مصرف آب در این بخش انجام شود، بحران آب را نیز می‌توان کنترل کرد (قائدی و همکاران، ۱۳۹۴a). در دهه‌های اخیر، به استفاده از آب‌های نامتعارف در حوزه‌ی کشاورزی، به‌عنوان یکی از الگوهای برتر مدیریتی، توجه شده است. یک دسته از آب‌های نامتعارف، آب‌های شور و لب شور است (معمارباشی و شیدایی، ۱۳۹۱). استفاده از

^۶ -Francois et al.^۷ -Amacher et al.^۸ -Mass and Hoffman^۹ -Pedrero et al.^۱ -Koyro et al.^۲ -Emam^۳ -FAO^۴ -Maas et al.^۵ -Ranjbar et al.

این نوع آب‌ها، حتی برای گیاهان مقاوم به شوری نیز، علاوه بر کاهش محصول، مشکلات دیگری مانند شور و نامرغوب شدن اراضی را در پی خواهد داشت (عبدالجواد و قیبه^۱، ۲۰۰۱). به همین منظور، پژوهش‌ها و ایده‌های فراوانی مطرح و اجرا شده است مانند تلفیق آب شور و غیرشور که به معنای استفاده‌ی هم‌زمان از آب شور و شیرین است، به‌گونه‌ای که غلظت نمک در آب آبیاری کاهش یابد (قائدی و همکاران، ۱۳۹۴b). هرچند به‌کارگیری روش یادشده محدودیت‌هایی دارد، اما در صورت مدیریت و اجرای صحیح آن، می‌تواند یک راه‌حل کارآمد در استفاده از آب‌های شور و لب شور در کشاورزی باشد. برخی دانشمندان بهترین راه‌حل در استفاده تلفیقی از آب شور و غیرشور را اختلاط آب‌های شور و شیرین قبل از آبیاری، به‌منظور داشتن آبی با هدایت الکتریکی کمتر معرفی کرده‌اند (قائدی و همکاران، ۱۳۹۴b). تحقیقات نشان داد مخلوط کردن آب شور و شیرین قبل از آبیاری، می‌تواند جایگزینی مناسب در آبیاری‌های با آب شور باشد (عبدالجواد و همکاران، ۲۰۰۵، خمیسیا و همکاران^۲، ۲۰۱۲). شریفیان و کاظمی حسونند (۱۳۹۴) نیز در پژوهشی در زمینه اثر سطوح مختلف شوری آب آبیاری (اختلاط آب چاه با آب دریای خزر) بر عملکرد و اجزای عملکرد سورگوم علوفه‌ای، نشان دادند بین تیمار شاهد با تیمارهای مورد بررسی اختلاف معنی‌داری مشاهده گردید. این محققین نشان دادند استفاده از آب شور تا هشت دسی‌زیمنس بر متر بر روی ارتفاع بوته سورگوم تأثیر معنی‌داری نداشته و برای شوری‌های بالاتر با افزایش شوری ارتفاع بوته کاهش می‌یابد.

در ایران یکی از بهترین منابع آب در شمال کشور، رودخانه‌های شور حوزه آبریز دریای خزر (مانند اترک رود و گرگان رود) می‌باشد و از آنجائی که شوری آب دریای خزر، بسیار کمتر از شوری آب دریاهاى آزاد است، می‌تواند در مواقع اضطراری برای استان‌های شمال کشور مورد استفاده قرار بگیرد (دردی‌پور، ۱۳۸۲). لذا برنامه‌ریزی برای

استفاده هر چه بهتر از منابع آب، ضروری و اجتناب‌ناپذیر است. با انتخاب روش مناسب برای مدیریت آب شور می‌توان تا حد امکان از کاهش عملکرد محصول جلوگیری کرد و تقاضا برای آب غیر شور را کاهش داد. با وجود تمام تلاش‌ها و تحقیقات صورت گرفته بر روی گیاه سورگوم، هنوز سؤالات و ابهاماتی در خصوص تأثیر سطوح مختلف شوری آب آبیاری بر روی عملکرد زراعی این گیاه وجود دارد. بدین منظور در این مطالعه با تلفیق آب شور و شیرین، به بررسی تأثیر سطوح مختلف شوری آب آبیاری بر روی خصوصیات مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاه سورگوم علوفه‌ای پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان مازندران انجام شد. برخی خصوصیات خاک قبل از کاشت گیاه، شامل: بافت خاک به روش هیدرومتر (بویوکوس^۳، ۱۹۶۲)، ماده آلی به روش والکی و بلک^۴ (۱۹۳۴)، میزان فسفر قابل جذب به روش اولسن و همکاران^۵ (۱۹۹۰)، میزان پتاسیم قابل جذب به روش فلیم‌فتومتری و هدایت الکتریکی عصاره اشباع با دستگاه EC متر اندازه‌گیری شد.

برای انجام این آزمایش تعداد ۱۵ ستون پلی‌اتیلنی (قطر ۳۰ سانتیمتر و ارتفاع ۶۰ سانتیمتر) استفاده شد. برای آماده‌سازی و پر کردن ستون‌ها، ابتدا خاک مزرعه به‌صورت لایه‌لایه برداشته شد و سپس به ترتیب عمق در ستون ریخته شد. برای یکسان‌بودن چگالی ظاهری خاک ستون و مزرعه، با توجه به حجم ستون‌ها (سطح مقطع × ارتفاع ستون خاک) و چگالی ظاهری خاک مزرعه، جرم خاک مورد نیاز برای هر ستون محاسبه شد. بعد از ریختن هر لایه از خاک در ستون، رطوبت خاک به حدود پنج درصد رسید تا مناسب‌ترین شرایط برای فشرده‌سازی خاک ایجاد گردد. سپس ستون‌ها برای مدت سه ماه به همین وضعیت باقی ماند تا

⁴ -Walkley and black

⁵ -Olsen et al.

¹ -Abdelgawad and Ghaibeh

² -Khamisia et al.

³ -Bouyoucos

پارامترهای خاک و آب

کل جامدهای محلول (TDS) (بر حسب میلی-گرم بر لیتر)؛ نسبت جذب سدیم (SAR)؛ اسیدیتته خاک (pH)؛ غلظت یون‌های سدیم، پتاسیم، منیزیم، کلسیم، کلر (بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم) و بیکربنات خاک (بر حسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر) (علی‌احیائی و بهبهانی‌زاده، ۱۳۷۲)، همچنین اسیدیتته (pH)؛ غلظت یون‌های سدیم، پتاسیم، منیزیم، کلسیم، کلر (بر حسب میلی‌گرم بر لیتر) و بی‌کربنات (بر حسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر) در تیمارهای آبیاری و زه‌آب مربوط به هر تیمار اندازه‌گیری شد (مهندسین مشاور رویان، ۱۳۸۷).

پارامترهای مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه

اجزای مختلف نمونه‌های گیاهی بعد از برداشت، جدا شد و وزن تر ساقه، برگ، دانه و ریشه توسط ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون در دمای ۷۵ درجه سانتیگراد خشک شد و وزن خشک (عملکرد) آن‌ها اندازه‌گیری شد. از سطح خاک تا ارتفاع سنبله اصلی، به عنوان ارتفاع ساقه اصلی بوته سورگوم بر حسب سانتیمتر منظور شد. قطر ساقه نیز با کولیس بر حسب میلی‌متر اندازه‌گیری شد.

همچنین وزن خشک اندام هوایی بوته‌های سورگوم (برگ + ساقه) در هر ستون پس از خشک شدن در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت، به عنوان عملکرد بیولوژیک در نظر گرفته شد.

جهت محاسبه مساحت برگ، طول و پهنای برگ در عریض‌ترین قسمت به وسیله خط‌کش اندازه‌گیری و بعد از ضرب کردن طول در عرض در عدد ثابت ۰/۷۵، مساحت برگ بر حسب سانتیمتر مربع گزارش گردید (راشد محصل و همکاران، ۱۳۷۶).

شاخص سطح برگ (LAI) بیان‌کننده نسبت سطح برگ به سطح زمین اشغال شده توسط گیاه است که با

ساختمان‌سازی در آن‌ها انجام شود. سپس با توجه به جرم خاک در هر ستون و به ازای میزان کود مصرفی در مزرعه، با توجه به آزمون خاک برای گیاه سورگوم، مقادیر کود اوره، سوپرفسفات‌تریپل و سولفات پتاسیم (به ترتیب ۱۰۰، ۵۰، ۱۰۰) نیز به عنوان کود پایه به ازای میلی‌گرم در کیلوگرم خاک، محاسبه شد و قبل از کاشت گیاه به هر ستون اضافه گردید. سپس در هر ستون تعداد پنج بذر جوانه‌دار و ضد عفونی شده سورگوم (رقم اسپیدفید) در عمق یک سانتی‌متری کاشته شد. عملیات تنک کردن گیاهچه‌ها، در مرحله سه برگی انجام گرفت و در هر ستون سه گیاهچه نگه داشته شد.

برای آبیاری گیاه سورگوم، از پنج تیمار آب چاه (S₁)، نسبت ۱/۴ آب دریا و آب چاه (S₂)، نسبت ۲/۴ آب دریا و آب چاه (S₃)، نسبت ۳/۴ آب دریا و آب چاه (S₄) و آب دریا (S₅) استفاده شد. میزان هدایت الکتریکی این تیمارها به ترتیب ۰/۹۹، ۴/۷، ۸/۱، ۱۳/۷ و ۱۵/۹ دسی-زیمنس بر متر بود. با توجه به حساسیت بیشتر گیاه سورگوم به شوری در مرحله جوانه‌زنی و استقرار (کیرشنامورسی و همکاران^۱، ۲۰۰۳) پس از کشت سورگوم، آبیاری با آب چاه انجام شد تا گیاه سورگوم بدون تنش مرحله استقرار اولیه (رشد ابتدایی یا تا مرحله سه برگی) را طی نماید. بعد از این مرحله، آبیاری با نسبت‌های مختلف آب دریا و آب چاه (S₁، S₂، S₃، S₄ و S₅) تا زمان برداشت این گیاه صورت گرفت. در ضمن به منظور کنترل میزان آب مصرفی سورگوم در مراحل رشد، حجم آب مورد نیاز سورگوم در هر دور آبیاری از طریق منحنی مشخصه رطوبتی (هامبلین^۲، ۱۹۸۱) محاسبه شد. این میزان آب، ۵ تا ۱۰ درصد بیشتر از نقطه ظرفیت زراعی (FC) در نظر گرفته شد تا زه‌آب تولید گردد. برای اعمال شوری بصورت یکنواخت، از روش آبیاری قطره‌ای استفاده شد. قطره‌چکان‌ها در فاصله چند سانتیمتری از وسط قاعده ستون‌ها قرار گرفتند.

استفاده از فرمول ۱ تعیین شد (جوادی و همکاران، ۲۰۰۷):

$$LAI = \frac{LA}{GA} \quad (1)$$

LA: سطح برگ برحسب مترمربع و GA: سطح ستون برحسب مترمربع است.

شاخص برداشت از نسبت وزن دانه به وزن خشک بیولوژیک (وزن خشک دانه + وزن خشک اندام هوایی (برگ + ساقه)) در هر ستون بدست آمد (داداشی و همکاران، ۱۳۸۶):

غلظت یون‌های سدیم، پتاسیم و کلسیم برگ و ساقه به روش فلیم فتومتری برحسب درصد برای تعیین نسبت‌های $\frac{Ca}{Na}$ و $\frac{k}{Na}$ اندام هوایی اندازه‌گیری شد (رضایی، ۱۳۵۶).

در پایان آزمایش نیز عملکرد نسبی از تقسیم عملکرد ماده خشک (وزن خشک اندام هوایی) تیمارهای دارای تنش بر عملکرد ماده خشک تیمار بدون تنش (تیمار شاهد) محاسبه گردید (دویت^۲، ۱۹۵۸). تجزیه نتایج با استفاده از نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه شیمیایی آب دریا و آب چاه در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱- تجزیه شیمیایی آب دریا و چاه

Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	TDS	اسیدیته	نمونه آب
(میلی گرم بر لیتر)					(میلی اکی والان بر لیتر)	(میلی گرم بر لیتر)	SAR	
۱۵۰	۷/۳	۵۷	۸۸	۲۱۳	۱/۴	۶۳۶/۸	۱۸	۷/۸۳
۳۹۹۳/۲	۱۲۷/۴	۸۲۲/۲	۲۴۰/۵	۵۱۲۶	۱/۲	۱۰۱۸۲/۴	۱۷۴/۲	۷/۸۲

از عوامل مؤثر دیگر در افزایش هدایت الکتریکی، فرآیندهایی از قبیل تبادل یون بین محلول و یون‌های موجود در خاک است (کار سیکیان^۳ و همکاران، ۲۰۰۵). به همین نسبت نیز، با توجه به میزان عناصر در خاک و آب آبیاری، میزان آن‌ها در زه‌آب افزایش و کاهش یافته است (جدول ۲). در جدول (۳) برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از کاشت گیاه سورگوم، آورده شده است.

تجزیه شیمیایی زه‌آب جمع‌آوری شده بعد از پایان دوره رشد گیاه سورگوم نیز اندازه‌گیری شد و در جدول (۲) آورده شده است. نتایج این جدول نشان می‌دهد که بیشترین و کمترین هدایت الکتریکی زه‌آب (۳۲/۴، ۱/۶۱) به ترتیب مربوط به سطوح S₅ و S₁ (شاهد) است. علت افزایش هدایت الکتریکی زه‌آب وجود مواد مغذی (نظیر سدیم و پتاسیم) در آب آبیاری می‌باشد که از لایه‌های خاک شسته شده و وارد زه‌آب شده است (رستگار و همکاران، ۱۳۹۱).

جدول ۲- تجزیه شیمیایی زه‌آب جمع‌آوری شده از تیمارها در پایان دوره رشد گیاه سورگوم

Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	هدایت الکتریکی	اسیدیته	نمونه زه‌آب تیمارها
(میلی گرم بر لیتر)					(دسی‌زیمنس بر متر)		
۱۷۴/۱	۳/۰۳	۳۹۷	۱۹۵/۸	۸۲/۷	۱/۶	۷/۵۵	S ₁
۱۵۱۰/۷	۴/۳	۲۷۵۰/۹	۸۸۹/۸	۲۶۷/۵	۱۰/۹	۷/۵۲	S ₂
۴۸۲۰/۸	۵/۲	۷۰۵۴/۵۵	۱۳۳۴	۶۰۵/۶	۲۲/۱	۷/۲۵	S ₃
۶۲۹۱/۴	۵/۳	۱۱۶۷۹/۳	۱۴۲۱/۴	۷۱۳/۳	۲۴/۲	۷/۱۴	S ₄
۶۴۳۲/۲	۵/۷	۱۳۳۰۰/۸	۲۵۲۷	۱۰۳۶	۳۲/۴	۶/۹۶	S ₅

³ -Karthikeyan et al.

¹ -Javadi et al.

² -De Wit

جدول ۳- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از کشت گیاه سورگوم

مقدار	خصوصیات
لوم رسی	بافت خاک
۲۹	نقطه ظرفیت زراعی
درصد	نقطه پژمردگی دائم
۱۳	اسیدیته
۶/۹	هدایت الکتریکی
۰/۹	دسی‌زیمنس بر متر
۸/۹	فسفر
میلی گرم بر کیلوگرم	پتاسیم قابل جذب
۱۰۲/۷	ماده آلی
۲/۰۵	سیلت
۴۵/۴	رس
درصد	شن
۳۰	کلر
۲۴/۶	منیزیم
۵۱	کلسیم
۱۸/۸	پتاسیم محلول
۶۴	سدیم
میلی گرم بر کیلوگرم	
۰/۸	
۵۱	

کاهش جذب عناصر کلسیم، منیزیم، پتاسیم توسط گیاه، میزان این عناصر در خاک افزایش یافت ولی از آنجائی که میزان سدیم و کلر در آب آبیاری و جذب آن‌ها توسط گیاه نسبت به عناصر دیگر بیشتر بوده است ولی در طول دوره رشد، تجمع این دو عنصر نسبت به دیگر عناصر در خاک با افزودن آب آبیاری افزایش یافت (جدول ۴).

شاخص‌های فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی گیاه

نتایج تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده در جدول ۵ ارائه شده است. همان‌گونه که در جدول مشاهده می‌شود شوری اثر معنی‌داری (سطح یک و پنج درصد) بر تمام خصوصیات اندازه‌گیری شده، داشته است.

جدول (۴) نیز خصوصیات خاک بعد از برداشت محصول را نشان می‌دهد. بر طبق گفته‌ی علیزاده (۱۳۷۷) یون‌های سدیم، کلر، کلسیم، پتاسیم و منیزیم از اصلی‌ترین یون‌های ایجادکننده شوری است. به علت غلظت بالای یون سدیم در محلول غذایی خاک (خاک شور باشد یا خاک با آب آبیاری شور آبیاری شود)، جذب و غلظت منیزیم، پتاسیم و کلسیم توسط گیاه کاهش می‌یابد. زیرا سدیم در جذب این یون‌ها تداخل ایجاد کرده و همچنین فعالیت یونی آن‌ها در محلول غذایی خاک نیز کاهش می‌یابد (کرامر^۱ و همکاران، ۱۹۹۱)؛ که یکی از این موارد اثر آنتاگونیستی بین سدیم و پتاسیم است (هی و کرامر^۲، ۱۹۹۳). با توجه به میزان این عناصر در تیمارهای مختلف آب آبیاری (جدول ۱) و

² -He and Cramer

¹ -Cramer et al.

جدول ۴- خصوصیات شیمیایی خاک بعد از برداشت محصول

تیماها	اسیدیته	هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (دسی‌زیمنس بر متر)	پتاسیم	سدیم	کلسیم	منیزیم	کلر
						(میلی گرم بر کیلوگرم)	
S ₁	۷/۴۶	۱/۰۶	۰/۳	۱۱۱	۱۴۶	۱۹/۱	۲۷۳
S ₂	۷/۲۶	۴/۶۸	۰/۹	۴۸۶	۴۴۷	۹۶	۱۱۵۶
S ₃	۷/۱۰	۸/۷۲	۱/۴	۱۰۰۶	۵۲۵	۲۱۲	۲۲۹۹
S ₄	۷/۰۱	۱۲/۲۶	۱/۷	۱۲۷۷	۵۴۸	۲۵۵	۲۶۳۷/۲
S ₅	۶/۹۲	۱۶/۲۸	۳/۵	۱۶۶۱	۵۶۱	۳۲۷	۳۵۱۱

جدول ۵- جدول تجزیه واریانس برخی ویژگی‌های بررسی شده در گیاه سورگوم

منابع تغییرات (S.OV)	درجه آزادی	وزن تر اندام هوایی (ساقه + برگ)	وزن خشک اندام هوایی (ساقه + برگ)	شاخص برداشت	وزن خشک بیولوژیک	وزن خشک ساقه	قطر ساقه اصلی	ارتفاع ساقه اصلی
شوری (A)	۴	۲۷۸۲۶/۷**	۷۴۱۳/۳**	۵۰**	۲۹۱۰/۱**	۱۲۹۸/۱**	۷/۵**	۵۷۴۵**
خطا	۱۰	۸۵۶/۵	۷۶۸/۸	۶/۲	۱۴۶/۱	۳۹/۱	۱/۴	۵۴۳/۱
ضریب تغییرات (CV)	-	۷/۱	۱۶/۸	۱۹/۱	۷/۶	۷/۶	۱۱/۳	۱۴/۹

** معنی‌دار در سطح ۱٪، * معنی‌دار در سطح ۵٪، ns غیرمعنی‌دار

ادامه جدول ۵- جدول تجزیه واریانس برخی ویژگی‌های بررسی شده در گیاه سورگوم

منابع تغییرات (S.OV)	درجه آزادی	مساحت برگ	شاخص سطح برگ (LAI)	وزن خشک برگ	وزن تر دانه	وزن خشک دانه	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه
شوری (A)	۴	۴۷۷۲/۱**	۰/۲**	۳۱۱/۱*	۳۷/۴**	۱۹/۰۵**	۶۱/۵**	۳۶/۳**
خطا	۱۰	۳۷۱/۷	۰/۰۳	۴۵/۴	۰/۸	۱/۰۲	۱۱/۶	۳/۹
ضریب تغییرات (CV)	-	۸/۶	۷/۱	۱۶/۲	۳/۹	۵/۰۹	۱۷/۴	۱۰/۹

** معنی‌دار در سطح ۱٪، * معنی‌دار در سطح ۵٪، ns غیرمعنی‌دار

وزن تر و خشک گیاه

نتایج مقایسه میانگین‌های صفات اندازه‌گیری شده در شکل‌های ۱ تا ۴ ارائه شده است. وزن تر و خشک اندام هوایی گیاه سورگوم (ساقه + برگ) بطور معنی‌دار تحت تأثیر سطوح مختلف شوری آب قرار گرفت ($P=0/01$). افزایش شوری آب آبیاری باعث کاهش وزن تر و خشک اندام هوایی (ساقه + برگ) شد. بطوریکه میانگین وزن تر و خشک اندام هوایی (ساقه + برگ) در تیمار آب دریا به ترتیب ۴۹ و ۵۴ درصد نسبت به تیمار شاهد (S₁) کاهش یافت (شکل ۱). همانطور که در شکل (۱) مشاهده می‌شود با افزایش شوری آب آبیاری از سطح S₁ به S₄، وزن تر اندام هوایی به ترتیب ۱۵/۲، ۲۳/۵ و

۲۵/۲ درصد در مقایسه با تیمار شاهد (آب چاه) کاهش یافت. میزان این کاهش‌ها برای وزن خشک اندام هوایی نیز به ترتیب ۶/۳، ۲۰/۵ و ۴۱ بود. هر چند در برخی سطوح این تفاوت‌ها معنی‌دار نبود (شکل ۱). در شرایط تیمار شاهد (S₁)، گیاه سورگوم بالاترین بیشترین وزن خشک ساقه معادل (۱۱۰ گرم در هر ستون) در تیمار شاهد را نشان داده است که می‌تواند به دلیل تعداد زیاد پنجه‌های زیاد و ارتفاع زیاد بوته بالا باشد. در تیمار (S₅) نیز میانگین وزن خشک ساقه نسبت به شاهد، ۵۳ درصد کاهش یافت (شکل ۱). کاهش وزن خشک اندام هوایی ارقام سورگوم با افزایش شوری آب آبیاری، توسط

راوسون و همکاران^۱ (۲۰۰۶) و لاوچلی و اپستین^۲ (۲۰۰۰) گزارش شد. این محققین علت این پدیده را کاهش تحمل گیاه به شوری، کلروزیس برگ‌ها و ریزش آن‌ها، خشک شدن ساقه و از بین رفتن کل بوته نسبت دادند. از دلایل دیگر این کاهش می‌توان به کاهش میزان رشد و کاهش سطح فتوسنتزکننده گیاه اشاره کرد که منجر به کاهش ماده خشک گیاه می‌شود. با کاهش سطح برگ قدرت گیاه برای تولید ماده خشک و در نهایت وزن خشک دانه کاهش می‌یابد (پیراسته - انوشه و همکاران^۳، ۲۰۱۶). همچنین نتایج نشان داد که برای وزن خشک ساقه بین تیمارهای S₂ تا S₄ اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۱)؛ که در مقایسه با تیمار شاهد (S₁)، به ترتیب کاهشی معادل ۲۰، ۲۶/۵ و ۲۷/۳ درصد داشته است.

دلیل دیگر کاهش وزن خشک کل گیاه می‌تواند ناشی از مصرف انرژی متابولیک مربوط به سازگاری در شرایط تنش، کاهش میزان فتوسنتز در واحد سطح برگ، کاهش جذب کربن، صدمه به بافت‌ها و رسیدن به حداکثر غلظت نمکی باشد که گیاه آن را تحمل می‌کند (تاییز و

همکاران^۴، ۲۰۱۵). نکته دیگر این است که گیاهان برای مقابله با اثرات تنش شوری، دیواره سلولی خود را از طریق کاهش تقسیم و گسترش سلولی ضخیم می‌کنند؛ و این امر از قابلیت ارتجاعی دیواره سلولی کاسته و منجر به افت وزن خشک گیاهان می‌شود (رگیناتو و همکاران^۵، ۲۰۱۶). کاهش وزن خشک گیاهان زراعی تحت شرایط شور توسط دیگر محققین نیز گزارش شده است (مانز و تستر^۶، ۲۰۰۸). از دیگر دلایل کاهش وزن تر و خشک گیاه می‌توان به غلظت بالاتر سدیم و کلرید در محلول خاک و جذب بیشتر آن اشاره کرد که نه تنها باعث اختلال در جذب سایر عناصر می‌شود بلکه منجر به تنش اسمزی، اختلال در تعادل یونی و در نتیجه کاهش شاخص‌های رشدی گیاه از قبیل ارتفاع، وزن تر و خشک می‌شود (بایوردی^۷، ۲۰۱۲). در همین زمینه یانگ و همکاران^۸ (۱۹۹۰) با بررسی اثر شوری بر رشد گیاه سورگوم، شاهد کاهش وزن تر اندام هوایی (ساقه + برگ) با افزایش شوری بودند که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد.

⁵ -Reginato et al.

⁶ -Munns and Tester

⁷ -Bybordi

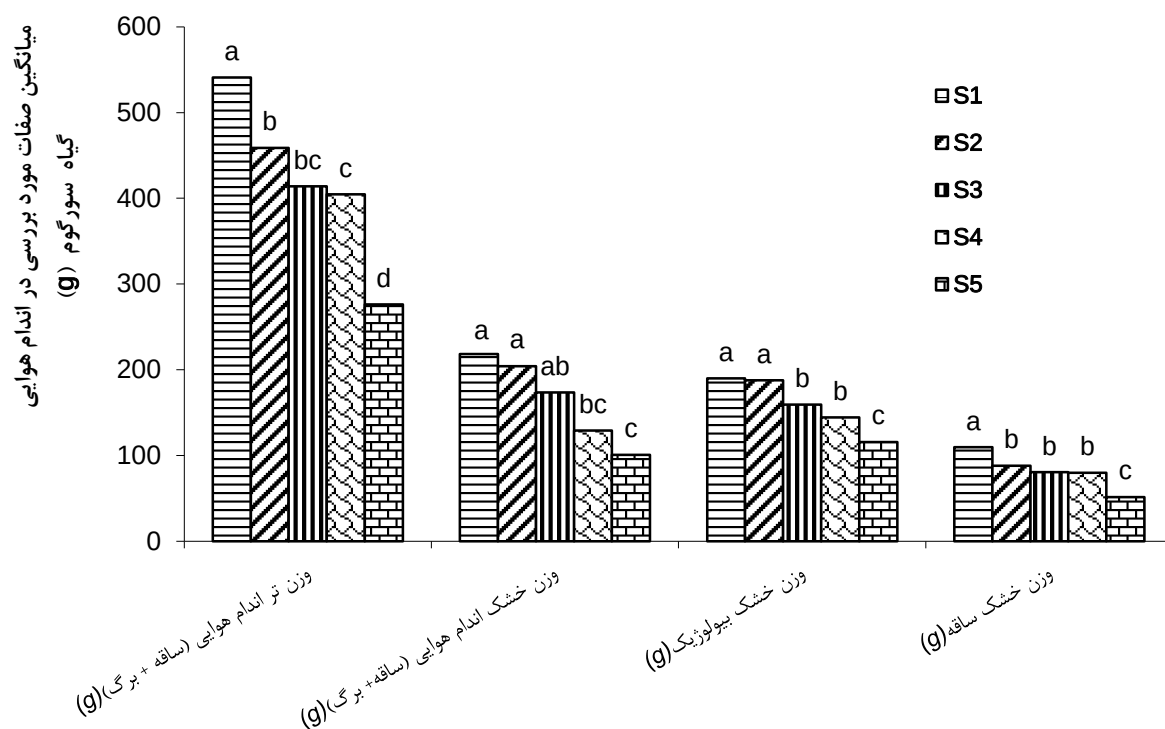
⁸ -Yang et al.

¹ -Rawson et al.

² -Lauchli and Epstein

³ -Pirasteh-Anosheh et al.

⁴ -Taiz et al.



شکل ۱- مقایسه میانگین صفات مورد بررسی در اندام هوایی سورگوم در سطوح مختلف شوری آب (آب چاه (S1)، مخلوط آب دریا و آب چاه با نسبت‌های ۱/۴ (S2)، ۲/۴ (S3)، ۳/۴ (S4) و آب دریا (S5)) (میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک باشند دارای اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد آزمون LSD نمی‌باشند).

ارتفاع و قطر ساقه گیاه

افزایش شوری باعث کاهش معنی‌دار ارتفاع گیاه سورگوم شد (جدول ۵). همانگونه که در شکل (۲) مشاهده می‌شود میانگین ارتفاع گیاه در تیمار S5 نسبت به شاهد، ۵۱/۳ درصد کاهش داشت. با افزایش شوری آب آبیاری از سطح S1 به S4، ارتفاع ساقه به ترتیب ۲۴، ۲۶ و ۳۱/۴ درصد در مقایسه با تیمار شاهد (آب چاه) کاهش یافت. هر چند در برخی سطوح این تفاوت‌ها معنی‌دار نبود (شکل ۲).

کاهش ارتفاع سورگوم در اثر شوری توسط محققین دیگر نیز تأیید شده است (زیدان و الزهرانی^۱، ۲۰۰۴؛ علی و هسنائین^۲، ۲۰۱۴). این محققین بیان داشتند که شوری از طریق کاهش فشار تورژسانس، سبب کاهش رشد و توسعه سلول‌ها در ساقه می‌شود و اولین اثر

محسوس آن بر روی کاهش ارتفاع گیاه قابل مشاهده است (علی و هسنائین، ۲۰۱۴). همچنین برخی محققین، کاهش ارتفاع گیاهان تحت تنش شوری را به علت عدم تورژسانس مناسب سلول‌ها و تخصیص بیشتر مواد سنتز شده جهت مقابله با تنش، کوتاه شدن دوره رشد و در کل ممانعت از توسعه عادی سلول‌ها دانستند. این دسته از محققین کاهش رشد گیاه در پاسخ به شوری خاک را به دلیل اختلال در جذب آب و املاح، بسته شدن جزئی یا کلی روزنه‌ها و کاهش کارایی فتوسنتز دانستند (رزاقی و همکاران^۳، ۲۰۱۱). در همین زمینه، لاسردا و همکاران^۴ (۲۰۰۳) کاهش ارتفاع گیاه سورگوم را به تجمع یون‌های سمی در سورگوم نسبت دادند. از آنجا که شوری موجب اختلال در جذب عناصر غذایی و برهم زدن تعادل یونی در گیاه می‌شود، می‌توان کاهش رشد ساقه را به کمبود عناصر غذایی و

³- Razzaghi et al.

⁴- Lacerda et al.

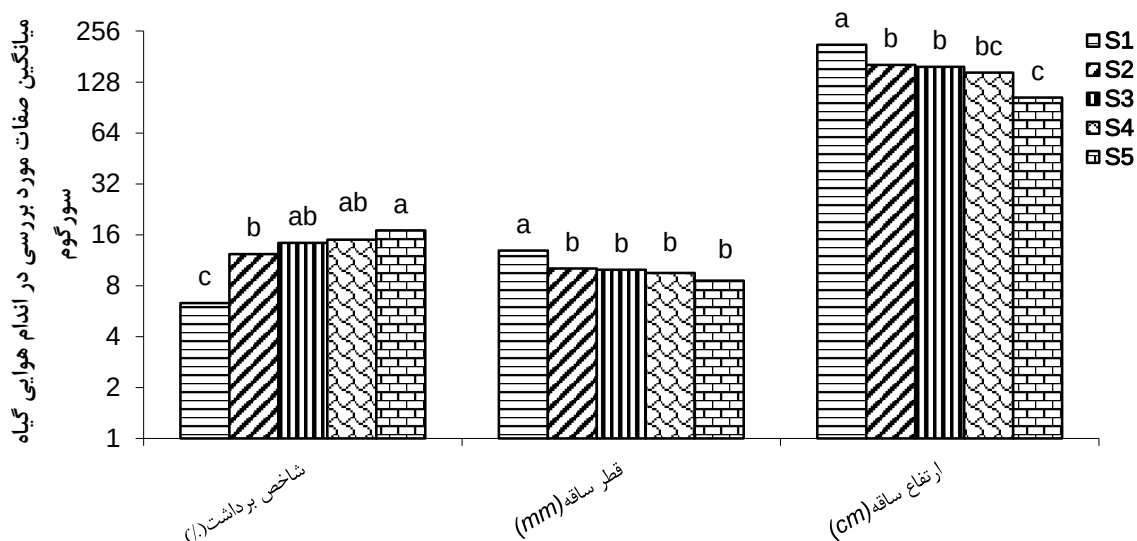
¹- Zidan and Al-Zahrani

²- Ali and Hasnain

اختلالات تغذیه‌ای ناشی از شوری نسبت داد (نصیر^۱، ۲۰۰۱).

قطر ساقه اصلی گیاه نیز با افزایش شوری آب آبیاری، کاهش یافت به نحوی که که میزان این کاهش در تیمار S₅، ۳۳/۴۱ درصد کمتر از تیمار شاهد (S₁) بود (شکل ۲). در تیمارهای S₂ و S₃ و S₄ نیز به ترتیب کاهشی معادل ۲۲، ۲۳ و ۲۶/۳ درصد در قطر ساقه نسبت به تیمار شاهد (S₁) مشاهده شد، اگرچه اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای (S₂) تا تیمار (S₅) وجود نداشت. ارتفاع و قطر ساقه بیانگر رشد رویشی هستند. هرچقدر شرایط محیطی مناسب‌تر باشد، رشد گیاه تا حد امکان افزایش می‌یابد. البته باید در

نظر داشت که رشد بیش از حد رویشی از رشد زایشی مناسب جلوگیری می‌کند. یکی از اثرات مهم تنش شوری بر گیاهان، کاهش رشد رویشی به‌ویژه کاهش ارتفاع و قطر گیاه است. (مورالز و همکاران^۲، ۱۹۹۳). میاتو و همکاران^۳ (۱۹۹۶) بیان کردند که تنش شوری باعث کاهش پتانسیل آب در فضای بین سلولی می‌گردد، دسترسی سلول‌های گیاهی به‌ویژه سلول‌های مرستمی نوک ساقه به آب کم می‌گردد و در نتیجه تقسیم سلولی و بزرگ شدن سلول کاهش می‌یابد و باعث کاهش ارتفاع و قطر گیاه می‌گردد که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد (شکل ۲).



شکل ۲- مقایسه میانگین صفات مورد بررسی در اندام هوایی سورگوم در سطوح مختلف شوری آب (آب چاه (S₁)، مخلوط آب دریا و آب چاه با نسبت‌های ۱/۴ (S₂)، ۲/۴ (S₃)، ۳/۴ (S₄) و آب دریا (S₅)) (میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک باشند دارای اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد آزمون LSD نمی‌باشند)

شاخص برداشت و وزن خشک بیولوژیک

شاخص برداشت تخمینی از تبدیل مؤثر وزن خشک اندام هوایی (برگ + ساقه) به وزن خشک دانه است (بیکر و گابیهو^۴، ۱۹۸۲) و همانگونه که در شکل (۱) مشاهده می‌شود وزن خشک اندام هوایی در تیمار S₅، ۵۴ درصد در مقایسه با تیمار شاهد (S₁) کاهش داشته است

همچنین وزن خشک دانه در تیمار (S₅) نسبت به (S₁) (شکل ۴) (معادل ۲۳ درصد) بوده است. بر این اساس وزن خشک اندام هوایی کاهش بیشتری نسبت به وزن خشک دانه داشته است به همین دلیل شاخص برداشت در این تحقیق افزایشی معادل ۶۳ درصد در مقایسه با تیمار شاهد داشت. این یافته با نتایج فرانکوویز و همکاران (۱۹۹۴)

³ -Miyatoo et al.

⁴ - Baker & Gebeyehou

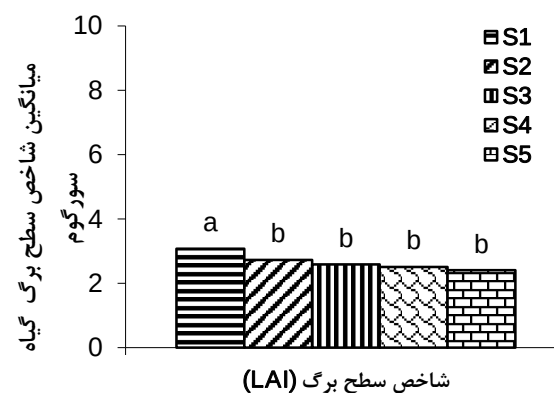
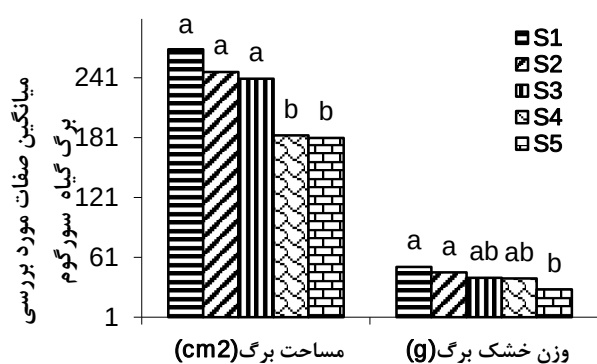
¹ -Naseer

² - Morales et al.

وزن خشک برگ، شاخص سطح برگ و مساحت برگ

همانگونه که در جدول تجزیه واریانس (جدول ۵) مشاهده می‌شود، شوری آب آبیاری اثر معنی‌داری بر مساحت برگ، شاخص سطح برگ و وزن خشک برگ داشته است. تیمار شاهد (S_1) با بیشترین سطح برگ (معادل ۲۶۹/۵ سانتیمترمربع در هر ستون)، بالاترین وزن خشک برگ را (معادل ۵۱/۵ گرم در هر ستون) به خود اختصاص داد. با اعمال شوری، از میزان سطح برگ و وزن خشک برگ در سطوح مختلف شوری، به تدریج کاسته شد به طوری که این کاهش در شوری (S_5) نسبت به (S_1) به ترتیب ۳۳ و ۴۴ درصد بود (شکل ۳). در تیمارهای S_2 و S_3 و S_4 نیز میزان کاهش سطح برگ در مقایسه با تیمار شاهد به ترتیب ۸/۴، ۱۱ و ۳۲ بود. این مقادیر برای وزن خشک برگ به ترتیب ۲۱/۴، ۲۲/۲ و ۲۱/۴ بود. بین این سطوح در صفات سطح برگ و وزن خشک برگ اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. در خصوص کاهش وزن خشک در این تحقیق می‌توان گفت که تنش شوری به علت به هم زدن تعادل هورمونی و کاهش سطح فتوسنتزکننده گیاه باعث کاهش وزن خشک می‌گردد (رانا^۲، ۱۹۸۸). کاهش سطح و وزن برگ ارقام سورگوم در اثر شوری توسط یانگ و همکاران^۳ (۲۰۰۰) نیز گزارش شده است.

مطابقت دارد. فرانکوئیز و همکاران^۱ (۱۹۹۴) اظهار داشتند وزن خشک اندام هوایی (ساقه + برگ) چاودار نسبت به وزن خشک دانه آن حساسیت بیشتری به شوری داشته و در نتیجه شوری سبب افزایش شاخص برداشت این گیاه می‌شود. شاخص برداشت در این تحقیق، به ترتیب افزایشی معادل ۲۷/۵، ۱۶ و ۱۲ درصد در تیمارهای S_2 و S_3 و S_4 نسبت به تیمار شاهد (S_1) داشت (شکل ۲)؛ که در برخی از این تیمارها اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. از طرف دیگر، با توجه به اینکه وزن خشک اندام هوایی (شکل ۱) و دانه گیاه سورگوم (شکل ۴) با افزایش شوری آب آبیاری، کاهش یافته است و وزن خشک بیولوژیک از مجموع این دو وزن خشک حاصل می‌شود، لذا وزن خشک بیولوژیک با افزایش شوری آب آبیاری، معادل ۳۹/۱ درصد در تیمار S_5 نسبت به شاهد کاهش یافت (شکل ۱). همانطور که در شکل (۱) نشان داده شده است از سطوح S_1 تا S_4 نسبت به تیمار شاهد (S_1) نیز کاهشی معادل ۱/۱، ۱۶ و ۲۴ درصد داشت که بین این سطوح هم اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید.



شکل ۳- مقایسه میانگین صفات مورد بررسی برگ سورگوم در سطوح مختلف شوری آب

(آب چاه (S_1)، مخلوط آب دریا و آب چاه با نسبت‌های $1/4$ (S_2)، $2/4$ (S_3)، $3/4$ (S_4) و آب دریا (S_5))

(میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک باشند دارای اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد آزمون LSD نمی‌باشند)

³ - Yang et al.¹ - Francois² - Rana

سطح برگ، بخش حساس اندام هوایی به شوری بوده (پاریدا و داس^۱، ۲۰۰۵) و کاهش آن با افزایش سطح شوری آب آبیاری در مطالعات دیگر نیز گزارش شده است (هانگ و همکاران^۲، ۲۰۱۲). سلول‌های برگ در شرایط تنش شوری به حداکثر رشد خود نمی‌رسند. هنگامی که گیاه در شرایط شور رشد می‌کند، فعالیت فتوسنتزی آن کاهش یافته و در نتیجه رشد، سطح برگ کاهش می‌یابد (علی و هسناین، ۲۰۱۴). رنجبر و همکاران (۲۰۱۵) کاهش معنی‌دار سطح برگ با افزایش شوری را به اثرات سمی یون‌های کلر و سدیم در متابولیسم گیاهی و عدم توازن عناصر یا کاهش دسترسی به آب برای رشد متعادل به‌علت اثر اسمتیک شوری نسبت دادند.

شاخص سطح برگ بیان‌کننده نسبت سطح برگ به زمینی است که آن برگ‌ها اشغال می‌کنند (سرمدنیا و کوچکی، ۱۳۸۶). این شاخص رشد گیاه و عملکرد نهایی ماده خشک را تحت تأثیر قرار می‌دهد. همانطور که در شکل (۳) مشاهده می‌شود، شاخص سطح برگ با افزایش سطح شوری آب آبیاری از تیمار S₁ تا تیمار S₅، ۲۱/۷۵ درصد کاهش یافته است. این پدیده را می‌توان به کاهش دوام سطح برگ در اثر کم‌آبی و خشک شدن برگ‌ها نسبت داد. همچنین تنش اسمزی ناشی از شوری، با افزایش آستانه فشار آماس لازم برای رشد سلول‌های برگ (کروزر و همکاران^۳، ۲۰۰۱) و کاهش فضای بین سلولی از یک سو و ایجاد مسمومیت یونی ناشی از تجمع یون‌های سدیم و کلر و در نتیجه، صدمه به غشاها و

ملکول‌های پروتئینی از سویی دیگر، زمینه لازم برای کاهش سطح برگ را فراهم می‌آورد. گزارش‌های متعددی در مورد کاهش میزان شاخص سطح برگ (LAI) در اثر شوری در گیاهان مختلف وجود دارد. به دنبال کاهش سطح برگ و پدیده زرد شدن و ریزش برگ‌ها در اثر شوری، شاخص سطح برگ نیز کاهش می‌یابد (درازکوییز^۴، ۱۹۹۴).

وزن تر و وزن خشک دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان‌دهنده معنی‌دار شدن اثر شوری بر وزن تر و وزن خشک دانه در سطح یک درصد می‌باشد (جدول ۵). همانگونه که در شکل (۴) مشاهده می‌شود، وزن تر و وزن خشک دانه در تیمار S₅ در مقایسه با تیمار S₁ به ترتیب ۲۵/۳۸ و ۲۲/۸۰ درصد کاهش یافت. در همین زمینه مطالعات دیگری مبنی بر اثر کاهنده شوری روی وزن خشک دانه گزارش شده است (پسرکی^۵، ۱۹۹۹؛ استفان و وال^۶، ۱۹۹۷). نتایج مقایسه میانگین در این تحقیق نشان داد که وزن تر دانه در تیمارهای S₂ و S₃ و S₄ به ترتیب به میزان ۵، ۹/۵ و ۲۴/۴ درصد S₄ نسبت به تیمار شاهد (S₁) کاهش یافته است. میزان کاهش وزن خشک دانه نیز در این تیمارها در مقایسه با تیمار شاهد نیز به ترتیب به میزان ۴/۹۰، ۹/۵۵ و ۲۴/۴۲ درصد بود. در بین این سطوح در دو صفت وزن تر و وزن خشک دانه اختلاف معنی‌دار نبود (شکل ۴).

^۴ -Drazkiewicz

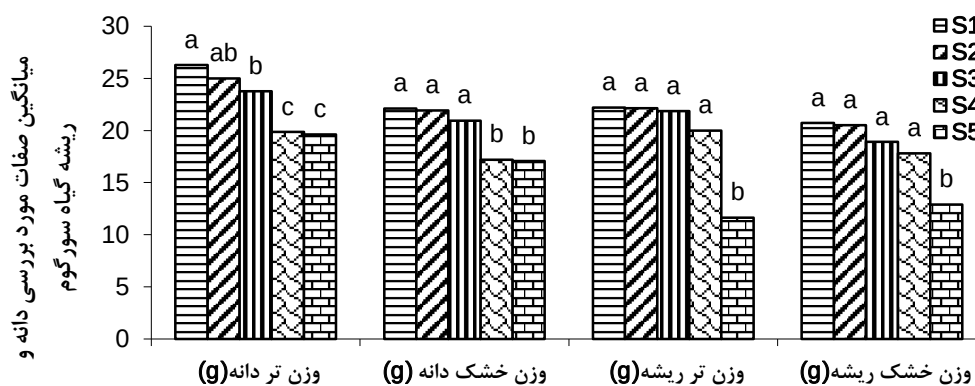
^۵ - Pessarakı

^۶ - Stephan, H., and Wall

^۱ -Parida and Das

^۲ -Hung et al.

^۳ - Croser et al.



شکل ۴- مقایسه میانگین صفات مورد بررسی دانه و ریشه سورگوم در سطوح مختلف شوری آب (آب چاه (S₁), مخلوط آب دریا و آب چاه با نسبت‌های ۱/۴ (S₂), ۲/۴ (S₃), ۳/۴ (S₄) و آب دریا (S₅)) (میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک باشند دارای اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد آزمون LSD نمی‌باشند).

کاهش وزن تر ریشه با افزایش سطح شوری ناشی

از زیادی یون‌های سدیم و کلرید می‌باشد که باعث مسمومیت سلول‌ها و ایجاد عدم تعادل تغذیه‌ای در سلول‌ها شده و رشد ریشه را کاهش می‌دهد (هاولین و همکاران^۳، ۲۰۰۴). در همین زمینه، یانگ و همکاران (۱۹۹۰) با بررسی اثر شوری بر رشد سورگوم، شاهد کاهش وزن خشک و تر ریشه با افزایش شوری بودند.

شاخص‌های مقاومت گیاه

نتایج تجزیه واریانس شاخص‌های مقاومت گیاه در جدول (۵) ارائه شده است. این نتایج حاکی از آن است که شوری اثر معنی‌داری بر شاخص‌های مقاومت گیاه در سطح یک درصد داشته است.

وزن خشک و تر ریشه

همانگونه که در شکل (۴) مشاهده می‌شود وزن خشک ریشه و وزن تر ریشه با افزایش سطح شوری از تیمار S₁ تا S₄ کاهش معنی‌داری نداشته است. این کاهش برای وزن خشک ریشه ۱، ۹ و ۱۴ درصد و برای وزن تر ریشه ۰/۳، ۱/۵ و ۱۰ درصد بود؛ اما مقادیر وزن خشک و وزن تر ریشه در تیمار S₅ کاهش معنی‌داری معادل بترتیب ۳۸ و ۴۸ درصد در مقایسه با تیمار شاهد (S₁) داشت. کاهش وزن خشک ریشه به دلیل عدم توسعه ریشه گیاه و کاهش تراکم ریشه در سطوح بالای شوری می‌باشد. مطالعات انجام‌شده در این زمینه نشان می‌دهد که افزایش شوری خاک سبب کاهش رشد ریشه می‌گردد ولی میزان کاهش به نوع گیاه و غلظت املاح محلول در خاک بستگی دارد (فیگین و همکاران^۱، ۱۹۸۷ و قاضی و همکاران^۲، ۲۰۰۱).

جدول ۵- میانگین مربعات صفات مورد بررسی شاخص‌های مقاومت گیاه سورگوم نسبت به شوری

منابع تغییرات (S.OV)	درجه آزادی	نسبت K^+/Na^+ اندام هوایی	نسبت Ca^{2+}/Na^+ اندام هوایی	نسبت وزن خشک ریشه به وزن خشک ساقه
شوری (A)	۴	۱/۸**	۰/۳**	۰/۰۱**
خطا	۱۰	۰/۰۷	۰/۰۰۸	۰/۰۰۰۴
ضریب تغییرات (CV)	-	۴/۶	۱۰/۲	۱۰/۴

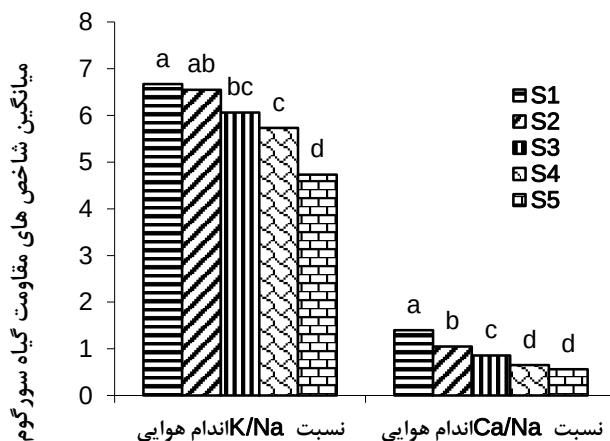
** معنی‌دار در سطح ۱٪، * معنی‌دار در سطح ۵٪، ^{ns} غیرمعنی‌دار

^۳ -Havlin et al.

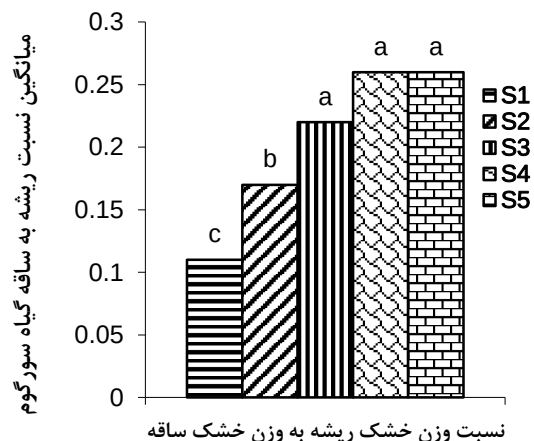
^۱ -Feigin et al.

^۲ -Ghazi et al.

افزایش معنی‌دار نسبت وزن خشک ریشه به وزن خشک ساقه به میزان ۵۸ درصد شده است.



مقایسه میانگین صفات مورد بررسی در شکل (۵) نشان داد که شوری آب آبیاری، باعث کاهش معنی‌دار نسبت $\frac{Ca}{Na}$ و $\frac{k}{Na}$ به میزان به ترتیب ۲۹/۱ و ۶۰ درصد و



شکل ۵- مقایسه میانگین شاخص‌های مقاومت گیاه سورگوم نسبت به شوری در سطوح مختلف شوری آب

(آب چاه (S1)، مخلوط آب دریا و آب چاه با نسبت‌های $\frac{1}{4}$ (S2)، $\frac{2}{4}$ (S3)، $\frac{3}{4}$ (S4) و آب دریا (S5))

(میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک باشند دارای اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد آزمون LSD نمی‌باشند.)

$\frac{Ca}{Na}$ (مقدار $\frac{1}{4}$) در تیمار S1 مشاهده شد. با افزایش سطح شوری از S1 به S2، S3، S4 نسبت $\frac{Ca}{Na}$ به ترتیب ۲۵، ۳۹ و ۵۴ درصد کاهش یافت و بیشترین نسبت $\frac{k}{Na}$ (مقدار ۷) در تیمار S1 مشاهده شد. با افزایش سطح شوری از S1 به S2، S3، S4 نسبت $\frac{k}{Na}$ به ترتیب ۲، ۹/۱ و ۱۴/۱ درصد کاهش یافت. که بین برخی سطوح در این دو شاخص مقاومت، اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (شکل ۵).

نسبت وزن خشک ریشه به وزن خشک ساقه نیز با افزایش سطح شوری، افزایش یافته است (شکل ۵). لاوچلی و اپستین (۲۰۰۰) بیان داشتند که با افزایش شوری، رشد ریشه نسبت به رشد اندام‌هوایی کمتر تحت تأثیر قرار می‌گیرد، لذا نسبت وزن خشک ریشه به وزن خشک ساقه افزایش می‌یابد. افزایش نسبت وزن خشک ریشه به وزن خشک ساقه در گیاه سورگوم در اثر افزایش میزان شوری توسط سینها و همکاران^۳ (۲۰۰۶)، لاوچلی و اپستین (۲۰۰۰) و زیدان و الزهرانی (۲۰۰۴) نیز گزارش شده است. در همین زمینه اسنپ و شینان (۲۰۰۲) گزارش کردند که

با توجه به وجود مقادیر متفاوت سدیم و پتاسیم در تیمارهای مختلف، نسبت سدیم به پتاسیم می‌تواند شاخص مناسبی در رابطه با اثرات متناقض سدیم و پتاسیم در گیاه باشد. این نسبت در بافت گیاه به عنوان شاخص سمیت سدیم به کار می‌رود. پژوهشگران معتقد هستند که حضور سدیم باعث اختلال در فعالیت آنزیم‌های محتاج به یون پتاسیم می‌شود (کافی و استیوارت، ۱۳۷۷). اشرف و مک‌نیللی^۱ (۱۹۹۰) در مطالعات خود به این نتیجه رسیدند که واریته‌های متحمل به شوری در هنگام مواجهه با شوری، دارای غلظت سدیم و کلر کمتر و بالعکس غلظت پتاسیم، منیزیم و کلسیم بیشتر، در اندام‌هوایی خود هستند. در نتیجه واریته‌های متحمل به شوری در مقایسه با واریته‌های حساس، نسبت $\frac{Ca}{Na}$ و $\frac{k}{Na}$ بالاتری دارند. ثوپلود و ویلینگ^۲ (۱۹۸۴) نیز اعلام کردند که افزایش سطح شوری، تنظیم یونی برخی از یون‌ها از جمله یون‌های K^+ و Ca^{2+} را مختل می‌کند که با نتایج شکل (۵) در خصوص کاهش نسبت $\frac{Ca}{Na}$ با افزایش سطوح شوری، مطابقت دارد. بیشترین نسبت

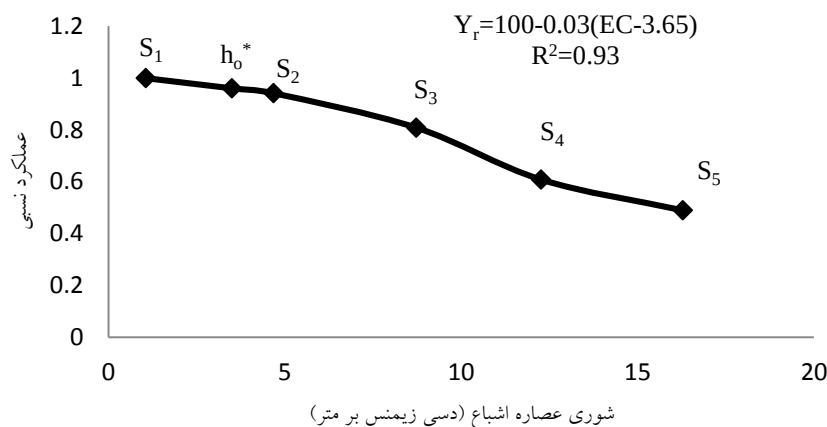
³- Sinha et al.

¹ -Ashraf and McNeilly

²- Leopold & Willing

کاهش کمتری نسبت به وزن خشک ساقه (شکل ۱) (معادل ۵۲/۹۳ درصد) از خود نشان داد که با نتایج محققین مطابقت دارد.

شکل (۶) روند تغییرات عملکرد نسبی سورگوم را با افزایش شوری محلول خاک، نشان می‌دهد.



شکل ۶- عملکرد نسبی سورگوم به عنوان تابعی از شوری عصاره اشباع خاک

شده برای گیاه سورگوم به جز شاخص برداشت و نسبت ریشه به ساقه کاهش یافتند. مخلوط کردن آب دریا و چاه تا نسبت ۲/۴ و ۳/۴ که برابر شوری ۸ و ۱۳ دسی زیمنس بر متر است، باعث ۴۱ درصد کاهش وزن خشک گیاه و ۱۴ تا ۵۳ درصد کاهش شاخص‌های مقاومت گیاه و افزایش ۱۵ درصدی نسبت وزن خشک ریشه به وزن خشک ساقه می‌شود.

با توجه به اینکه تفاوت غیرمعنی‌دار نتایج برای اکثر صفات تا تیمار (S₃ و S₄) بدست آمده است این نتیجه می‌تواند نشان‌دهنده مقاومت گیاه تا شوری ۸ (S₃) و ۱۳ دسی زیمنس بر متر آب آبیاری (S₄) باشد. لذا براساس نتایج این پژوهش، می‌توان از تلفیق آب شور و آب غیرشور تا شوری ۸ و ۱۳ دسی زیمنس بر متر برای آبیاری گیاه سورگوم استفاده کرد. لازم به توضیح است که با توجه به اینکه آستانه تحمل شوری گیاه سورگوم در اکثر پژوهش‌ها، معادل چهار دسی زیمنس بر متر شوری عصاره اشباع خاک گزارش شده است ولی در این پژوهش با توجه به نوع رقم

بخش ریشه‌ی گیاهان بسیار متحمل‌تر از بخش هوایی در برابر شوری است و افزایش شوری در محیط رشد، نسبت وزن خشک ریشه به وزن خشک ساقه را تغییر می‌دهد؛ بنابراین به احتمال زیاد این امر یک مکانیسم سازگاری در محیط‌های شور می‌باشد (اسنپ و شینان^۱، ۲۰۰۲). با توجه به شکل (۴) وزن خشک ریشه (معادل ۳۷/۷۴ درصد)

همانطور که ملاحظه می‌شود عملکرد نسبی سورگوم تا شوری حدود ۳/۶۵ دسی زیمنس بر متر کاهش نداشت. از آنجائی که مقدار جذب آبی که به وسیله گیاه تا رسیدن به یک شوری معین کاهش نیابد، حد آستانه گیاه (h₀*) تعریف می‌شود، لذا مقدار ۳/۶۵ دسی زیمنس که برای گیاه سورگوم در این تحقیق بدست آمده است، حد آستانه گیاه سورگوم می‌باشد؛ اما بعد از افزایش شوری عصاره اشباع خاک، عملکرد گیاه کاهش یافت و در شوری حدود ۱۵ دسی زیمنس بر متر به نصف رسید (شکل ۶). شیب خط کاهش عملکرد سورگوم در این مرحله سه درصد بر دسی زیمنس بر متر محاسبه شد. بر این اساس، گیاه سورگوم به تنش شوری حساس بوده و جزء گیاهان حساس به تنش شوری می‌باشد.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش سطح شوری آب آبیاری تا تیمار (S₅)، تمامی صفات اندازه‌گیری

گیاه، بافت خاک، منطقه و آب شور طبیعی دریای خزر متفاوت بوده حد آستانه پایین‌تر از این مقدار، معادل ۳/۶۵ دسی‌زیمنس بر متر شوری عصاره اشباع خاک برای گیاه سورگوم بدست آمده است، همچنین استفاده از روش آبیاری قطره‌ای و آبیاری تلفیقی بعد از مرحله سه برگگی گیاه در این تحقیق موجب شده است که گیاه بتواند تا سطوح شوری ۸ و ۱۳ دسی‌زیمنس بر متر آب آبیاری را تحمل کرده و عملکرد متوسطی داشته باشد و بدین طریق باعث صرفه‌جویی در مصرف منابع آب شیرین شود؛ بنابراین با توجه به نتایج این پژوهش تا نسبت‌های ۲/۴ و ۳/۴ مخلوط آب چاه و دریا برای آبیاری گیاه سورگوم در منطقه مطالعاتی پیشنهاد می‌گردد.

فهرست منابع

۱. احمدی، ک.، عبادزاده، ح.، ر.، حاتمی، ف.، عبدشاه، ه. و کاظمیان، آ.، ۱۳۹۹، آمارنامه کشاورزی سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۷، جلد اول: محصولات زراعی، ۹۷ ص.
۲. داداشی، م.، ر.، ا.، مجیدی هروان، ا.، سلطانی و ع.، نوری. ۱۳۸۶. ارزیابی واکنش لاین های مختلف جو به تنش شوری. مجله علمی پژوهشی علوم کشاورزی. شماره ۱. صفحه: ۱۹۱-۱۸۱.
۳. دردی پور، ا. ۱۳۸۲. بررسی نقش پتاسیم و روی در کاهش اثرات سوء ناشی از آبیاری با آب دریای خزر بر روی رشد و عملکرد جو، پایان‌نامه دکتری رشته خاکشناسی، دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس.
۴. دیانت مهارلویی، ز.، مقصودی، ک. و امام، ی.، ۱۳۹۳. تأثیر شوری و سالیسیلیک اسید بر ویژگی‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک سورگوم در مراحل اولیه رشد (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). نشریه فرایند و کارکرد گیاهی، ۳(۷): ۵۷-۶۵.
۵. راشد محصل، م. ح.، حسینی، م.، عبدی، م. و. و ملافیلابی، ع. ۱۳۷۶. کشاورزی غلات. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.
۶. رستگار، ا.، جنیدی جعفری، م.، فرزادکیا، ر. رضائی کلانتری، ا. اله‌آبادی و ع. م. قلی‌زاده. ۱۳۹۱. بررسی تأثیر کمپوست مواد زائد شهری بر میزان نشت و جذب فلزات سنگین از خاک شنی رسی لومی، مجله دانشگاه علوم پزشکی سبزوار. ۱۹(۳): ۲۸۶-۲۷۷.
۷. رضایی، ح. ۱۳۵۶. روش‌های تجزیه گیاه. وزارت کشاورزی و عمران روستایی، مؤسسه خاکشناسی و حاصلخیزی خاک. نشریه شماره ۱۲.
۸. سرمدنیا، غ. ح. و ع. کوچکی. ۱۳۸۶. فیزیولوژی گیاهان زراعی. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ص ۴۰۰.
۹. شریفیان، ح. و م. کاظمی حسنوند. ۱۳۹۴. بررسی عملکرد و اجزای عملکرد گیاه سورگوم تحت شرایط آبیاری با آب دریای خزر. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۱(۹): ۱۶۹-۱۶۳.
۱۰. علی‌احیائی، م. بهبهانی‌زاده. ع. ا. ۱۳۷۲. شرح روش‌های تجزیه شیمیایی خاک (جلد اول)، وزارت کشاورزی سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی مؤسسه تحقیقات خاک و آب، نشریه شماره ۸۹۳، ۷۷ صفحه.
۱۱. عزیززاده، ا. ۱۳۷۷. کیفیت آب در آبیاری. انتشارات آستان قدس رضوی. مشهد. ۹۶ صفحه.
۱۲. قائدی، س. افراسیاب، پ. لیاقت، ع.، ۱۳۹۴a، مقایسه‌ی روش‌های تلفیق آب شور و غیرشور در کشت سورگوم علوفه‌ای و توزیع شوری در نیم‌رخ خاک. علوم و مهندسی آبیاری. ۳۹(۱): ۱۷۹-۱۶۷.
۱۳. قائدی، س. افراسیاب، پ. لیاقت، ع. و خمیری، ع.، ۱۳۹۴b، استفاده‌ی تلفیقی از آب شور و غیرشور در کشت سورگوم و آفتابگردان در دشت سیستان. تحقیقات آب و خاک. ۴۶(۲): ۱۸۲-۱۷۳.

۱۴. کافی، م. و. و. س. استیورات. ۱۳۷۷. اثرات شوری و تجمع کاتیون‌ها در اندام هوایی و ریشه ارقام گندم حساس و مقاوم به شوری. مجله علوم زراعی ایران. ۲: ۹-۲۱.
۱۵. معمار باشی، پ.، و ف. شیدای. ۱۳۹۱. آبهای غیرمتمعارف فرصتی جهت تقویت منابع آبی و دستیابی به امنیت غذایی. اولین همایش ملی بیابان. خرداد ماه، دانشگاه تهران.
۱۶. مهندسین مشاور رویان، ۱۳۸۷. دستورالعمل تجزیه آزمایشگاهی نمونه‌های خاک و آب. معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور. نشریه ۴۶۷. ۲۷۸ صفحه.
۱۷. نصرافهانی، ا. و گلچین، ن.، ۱۳۸۷. برآورد کارایی مصرف آب محصولات زراعی در دشت برخوار اصفهان و دشت گرگان و گنبد. تهران: مؤسسه‌ی پژوهش‌های برنامه‌ریزی و اقتصاد کشاورزی- مدیریت امور پردازش و تنظیم یافته‌های تحقیقاتی. ۴۷ ص.
۱۸. نصرالهی، ع.ح.، هوشمند، ع.، و برومند نسب، س. ۱۳۹۴. بررسی واکنش ذرت به شوری تحت آبیاری قطره ای و مدیریت آبیاری. مجله علوم و مهندسی آبیاری، ۳۸ (۴)، ۳۲-۲۵.
19. Abdelgawad, G., and A. Ghaibeh. 2001. Use of low quality water for irrigation in the Middle East. In: Proceeding of the Symposium on the Sustainable Management of Irrigated Land for Salinity and Toxic Elements Control, US Salinity Laboratory Riverside California. 25- 27/6/2002. pp. 20-25.
20. Abdelgawad, G., A. Arslan, A. Gaihbe, and F. Kadouri. 2005. The effects of saline irrigation water management and salt tolerant tomato varieties on sustainable production of tomato in Syria 1999-2002. *Agricultural Water Management*. 78: 39-53.
21. Ali, T.M., and A. Hasnain. 2014. Morphological, physicochemical, and pasting properties of modified white sorghum (*Sorghum bicolor*) starch. *International Journal of food properties*. 17(3): 523-535.
22. Amacher, K., J. R. Koenig, and B. Kitchen. 1997. Salinity and plant tolerance. Utah State University. Extension Electronic Publishing.
23. Ashraf, M., and T. McNeilly. 1990. Responses of four Brassica species to sodium chloride. *Exp. Bot.* 30:475-487.
24. Baker, R. J., and G. Gebeyehou. 1982. Comparative growth analysis of two spring wheats and one spring barley. *Crop. Sci.* 22:1225-1229.
25. Bernstein, N., W. K. Silk, and A. Lauchli. 2001. Spatial and temporal aspects of sorghum leaf growth under conditions of NaCl stress. *Planta* 191:433-439.
26. Bouyoucos, G.J. 1962. Hydrometer Method Improved for Making Particle Size Analyses of Soils. *Agronomy Journal*. 54(5): 464.
27. Bybordi, A. 2012. Study effect of salinity on some physiologic and morphologic properties of two grape cultivars. *Life Science Journal*. 9(4), 1092-1101.
28. Cramer, G. R., and D. C. Bowman. 1991. Short term leaf elongation kinetics of maize in response to salinity are independent of the root. *Plant Physiol.* 95: 965-967.
29. Croser, C., S. Renault, J. Franklin, and J. Zwiazek. 2001. The effect of salinity on the emergence and seedling growth of piceamorian, picceaglausa and pinusbanksiana. *Environ. Poll.* 115:6-16.
30. De Wit, C.T. 1958. Transpiration and Crop Yields. *Verslagen van Landbouwkundige Onderzoekingen*, No. 64.6. Wageningen, The Netherlands.
31. Drazkiewicz, M. 1994. Chlorophyllase, occurrence, functions, mechanism of action, effects of external and internal factors. *Crop Sci.* 30(3): 321-331.
32. Emam, Y. 2011. Cereal Production. Shiraz University Press, Shiraz, Iran, 190p.
33. Feigin, A., I. Rylski, A. Meriri, and J. Shalhevet. 1987. Response of melon and tomato plants to chloride-nitrate ratio in saline nutrition solution. *J. Plant Nutr.* 10:1787-1794.
34. Francois, L.E., T.J. Donovan, and E.V. Maas. 1984. Salinity effects on seed yield, growth and germination of grain sorghum. *Agron. J.* 76: 741-744.

35. Francois, L. E., C. M. Grieve, E.V. Mass, and S.M. Leseh. 1994. Time of salt stress growth and yield components of irrigated wheat. *Agron. J.* 86:100-107.
36. Ghazi, N., R. Al-Karaki, M. Hammad, and Rusan. 2001. Response of two tomato cultivars differing in salt tolerance inoculation with mycorrhizal fungi under salt stress. *Mycorrhizae*. 11:43-47.
37. Hamblin, Ap. 1981. Filter – paper method for routine measurement of field water potential. *Journal of Hydrology*. 53: 355-360.
38. Havlin, J. L., J. D. Beaton, S. L. Tisdale, and W. L. Nelson. 2004. *Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management*. 7th Edition, Prentice Hall, USA.
39. He, T., and G. R. Cramer. 1993. Salt tolerance of rapid-cycling Brassica species in relation potassium/ sodium ratio and selectivity at the whole plant and callous levels. *Journal of Plant Nutrition*. 16(7): 1263-1277.
40. Hung, C. H. Zong, L. Buonanno, M. Xue, X. Wang, T. and A. Tedeschi. 2012. Impact of saline water irrigation on yield and quality of melon (*Cucumismelo* cv. Huanghemi) in northwest China: *European Journal of Agronomy*. 43:68-76.
41. Javadi, H., M.H. Rashed Mohasel, Gh.R. Zamani, E. Azari Nasr Abadi, and Gh.R. Musavi. 2007. Effect of plant density on growth indices in four grain sorghum cultivars. *Iranian J. Field Crops Res.* 4: 265 – 253.
42. Karthikeyan, K.G., M. Kalbasi, P.S. Miller. 2005. Nitrogen and Solution Dynamics in Soils Receiving Chemically Treated Dairy Manure, *J. Trans. ASAE*. 48: 601-610.
43. Khamisia, S. A., S. A. Prathaparb, and M. Ahmedc .2012. Conjunctive use of reclaimed water and groundwater in crop rotations. *Agricultural Water Management*. 116: 228– 234.
44. Koyro, H.W., M.A. Khan, and H. Lieth. 2011. Halophytic crops: a resource for the future to reduce the water crisis? *Emirates Journal of Food and Agriculture*. 23: 1–16.
45. Krishnamurthy, L., B.V.S. Reddy, and R. Seraj. 2003. Screening sorghum germplasm for tolerance to soil salinity. *International Sorghum and Millets Newsletter*. No. 44: 90-93.
46. Lacerda, C. F., J. Cambraria, M. A. Oliva, H. A. Ruiz, and J. T. Prisco. 2003. Solute accumulation and distribution during shoot and leaf development in two sorghum genotypes under salt stress. *Rev. Bras. Fisiol. Veg.* 49:107-120.
47. Lauchli, A. and E. Epstein. 2000. Plant responses to saline and sodic conditions. pp: 11-117. New York.
48. Leopold, A. C., and R. P. Willing. 1984. Evidence for toxicity effects of salt on membrances. In *salinity Tolerance in plants: strategic for crop Improvement*. Edited by R. C. Staples and G. H. Toenniessen. Pp: 67-76.
49. Mass, E.V., and G.J. Hoffman. 1977. Crop salt tolerance–current assessment. *Journal of Irrigation and Drainage. Div. ASCE*. 103:115– 134.
50. Mass, E.V., J.A. Poss, and G.J. Hoffman. 1986; Salinity sensitivity on sorghum at three growth stages. *Irrig. Sci.* 7:1–11.
51. Miyatoo, S., E.P. Glenn, and M.W. Olsen.1996. Growth, water use and salt uptake of four halophytes irrigated with highly saline water. *Journal of Arid Environments*. 32(2):141-159.
52. Morales, C., R.M.Cusido, J.Palazon, and M.Bonfill.1993. Response of *Digitalis purpurea* plant to temporary salinity. *Journal of Plant Nutrition*. 16(2): 335- 327.
53. Munns, R., and M. Tester. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*. 59:651- 681.
54. Naseer, S. H. 2001. Response of barley (*Hordeum vulgare* L.) at various growth stages to salt stress. *Journal of Biological Science*. 1(5): 326-329.
55. Olsen, S.R., and L.E. Sommers.1990. Phosphorus, In: Page A. L., *Method of soil analysis. Part 2. and agron monoger*. ASA, Madison, WI. Pp: 403-431.
56. Parida, A. K., and A.B. Das. 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants: Areview. *Ecotoxicol. Environ. Safety*. 60:324-349.
57. Pedrero,F., I. Kalavrouziotis, J.J. Alarcón, P. Koukoulakis, and T. Asano .2010. Use of treated municipal wastewater in irrigated agriculture review of some practices in Spain and Greece. *Agricultural Water Management*. 97: 1233-1241.
58. Pessarakı, M. 1999. *Handbook of plant and Crop Stress*. Marcel dekker. Inc.

59. Pirasteh-Anosheh, H., G. Ranjbar, H. Pakniyat, and Y.Emam .2016. Physiological mechanisms of salt stress tolerance in plants; an overview: 141-160. In: Azooz, M. M. and Ahmad, P., (Eds). Plantenvironment Interaction: Responses and Approaches to Mitigate Stress. Wiley, London.
60. Rana, M. 1988. Causes of varited differences in salt tolerance. Proc of the Int cong of Plant Physiol. 960-989.
61. Ranjbar, G., H. Ghadiri, and A. R. Sepaskhah. 2014. Effects of *Kochia indica* density and irrigation water salinity on sorghum and *K. indica* dry matter and chemical composition. Journal of Biological and Environmental Sciences. 8: 115-123.
62. Ranjbar, G., H. Ghadiri, and M. Edalat. 2015. Effect of kochia (*Kochia indica*) density on yield and some physiological characteristics of sorghum under salinity stress. Journal of Crop Production and Processing. 18: 207-219.
63. Rawson, H. M., M. J. Long, and R. Munns. 2006. Growth and development in NaCl treated plants. I: Leaf Na⁺ and Cl⁻ concentration do not determine gas exchange of leaf blades in sorghum. Aust. J. Plant Physiol. 35: 519- 527.
64. Razzaghi, F., S.H. Ahmadi, V.I. Adolf, C.R. Jensen, S.E. Jacobsen, and M.N. Andersen. 2011. Water relations and transpiration of quinoa (*Chenopodium quinoa WilldL.*) under salinity and soil drying. Journal of Agronomy and Crop Science. 197(5): 348-360.
65. Reginato, M., C. Travaglia, H. Reinoso, F. Garelo, and V. Luna .2016. Salt mixtures induce anatomical modifications in the halophyte *Prosopis strombulifera* (*Fabaceae: Mimosoideae*). Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants. 218: 75-85.
66. Sinha, A., R.S. Gupta, and R.S. Rana. 2006. Effect of soil salinity and soil water availability on growth and chemical composition of *Sorghum halepense* L. Plant Soil. 125:411- 416.
67. Snapp, S. S., and C. Shennan. 2002. Effects of salinity on root growth and death dynamics of tomato (*Lycopersican esculentum* L.). New Phytol. 131: 71- 77.
68. Stephan, H., and K. G. Wall, .1997. Grain yield from spring sown Canadian wheat in saline rooting media, Can. J. Plant. Sci. 77(1):63-68.
69. Taiz, L., E.Zeiger, I. M. Moller, and A. Murphy. 2015. Plant Physiology and Development. Sinauer Associates, Incorporated. 20p.
70. Walkey, A., and I. A. Black .1934.An examination of the Degtjareffmethod for determining organic carbon in soils: Effect of variations in digestion conditions and of in organic soil constituents. Soil Science. 63:251-263
71. Yang, Y.W., R. L. Newton, and F.R. Miller. 1990. Salinity tolerance in sorghum. I. Whole plant response to sodium chloride in *S. Bicolor* and *S. halepense*. Crop Sci. 30:775-781.
72. Yang, Y.W., R.J. Newton, and F.R. Miller. 2000. Salinity tolerance in sorghum. I. Whole plant response to sodium chloride in *S. bicolor* and *S. halepense*. Crop Sci. 40:775- 781.
73. Zidan, M.A., and H.S. Al-Zahrani. 2004. Effect of NaCl on the germination, growth and metabolic changes in sorghum. Pakistan. J. Scint. Indust. Res. 57 (12): 541- 543.

تعیین ضریب تنش شوری در مراحل مختلف رشد ذرت علوفه‌ای

رضا سعیدی^۱

دکترای آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی^(ه)، قزوین، ایران.

saeidi@org.ikiu.ac.ir

دریافت: آبان ۱۴۰۰ و پذیرش: خرداد ۱۴۰۱

چکیده

در این پژوهش، اثر تنش شوری بر مقدار اجزاء تبخیر-تعرق ذرت (در مراحل اولیه، توسعه، میانی و پایانی رشد) و در مقیاس مینی‌لایسیمتر بررسی شد. تیمارهای شوری از طریق آب دارای هدایت الکتریکی (S_0)، 0.5 ، 1 ، 2 ، 3 ، 4 و 5 (S₁ تا S₅) و $5/7$ (S₃) دسی زیمنس بر متر اعمال شد. آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. در کل دوره رشد، از تیمار S₀ تا S₃ مقادیر تبخیر-تعرق در محدوده (۴۲۰ - ۳۲۰)، تعرق (۲۸۵ - ۱۲۴) و تبخیر (۱۹۶ - ۱۳۵) میلی‌متر اندازه‌گیری شد. به طوری که در اثر شوری، سهم تعرق گیاه (T/ET_c) ۲۹٪ کاهش و سهم تبخیر (E/ET_c) به همان نسبت افزایش یافت. در مراحل مختلف رشد ذرت نیز واکنش‌های مذکور مشاهده شد. از تیمار S₀ تا S₃ مقادیر تبخیر-تعرق، تعرق و تبخیر به ترتیب در محدوده ۷۲-۷۹، ۱۹-۱۰ و ۶۱-۶۲ میلی‌متر (در مرحله اولیه)، ۲۰۲-۱۵۰، ۱۵۰-۷۱ و ۷۹-۵۱ میلی‌متر (در مرحله توسعه)، ۱۲۴-۸۴، ۱۱۰-۳۹ و ۴۵-۱۴ میلی‌متر (در مرحله میانی) و ۱۴-۶، ۹-۱۰ و ۱۰-۹ میلی‌متر (در مرحله پایانی رشد) اندازه‌گیری شد. بیشترین تا کم‌ترین سهم تعرق گیاه به ترتیب متعلق به مراحل توسعه، میانی، اولیه و پایانی رشد بود و در مورد سهم تبخیر، مربوط به مراحل اولیه، توسعه، میانی و پایانی رشد بود. در اثر تنش شوری، مقدار عملکرد زیست‌توده خشک ذرت کاهش یافت و مقدار آن در تیمارهای S₀، S₁، S₂ و S₃ به ترتیب برابر با ۱۲۹۴۲، ۱۲۱۶۸، ۱۰۸۷۲ و ۸۹۲۸ کیلوگرم بر هکتار اندازه‌گیری شد. از سوی دیگر، ضرایب تنش تبخیر-تعرق (K_s)، تعرق (K_{s-T}) و تبخیر (K_{s-E}) به ترتیب در بازه ۰/۷۶-۱، ۰/۴۳-۱ و ۱/۴۵-۱ محاسبه شد. با استفاده از ضرایب مذکور می‌توان در شرایط تنش شوری، مقادیر واقعی تبخیر-تعرق، تعرق و تبخیر را (نسبت به شرایط استاندارد منطقه) برآورد نمود. نیز، با هر دسی زیمنس بر متر افزایش شوری آب، مقادیر تبخیر-تعرق نسبی و تعرق نسبی به ترتیب ۴/۷٪ و ۱۱/۱٪ کاهش و مقدار تبخیر نسبی ۹٪ افزایش داشت. و جزء تعرق نسبت به تبخیر-تعرق، با شیب بیشتری کاهش یافت.

واژه‌های کلیدی: جذب آب، حساسیت مرحله رشد به شوری، شوری آب

^۱ - آدرس نویسنده مسئول: گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی^(ه)، قزوین، ایران.

مقدمه

تأمین نیاز آبی واقعی گیاهان و کاستن از تلفات آب کاربردی در بخش کشاورزی، از نکات موردتوجه برنامه‌ریزان آبیاری به شمار می‌رود. نیاز خالص آبی گیاه به‌طور مستقیم به مقادیر پارامترهای تعرق گیاه^۲ (T) و تبخیر از سطح خاک^۳ (E) وابسته است که در نشریه فائو-۵۶، تعرق و تبخیر به ترتیب به‌عنوان اجزاء مطلوب و نامطلوب معرفی شده‌اند (آلن و همکاران، ۱۹۹۸). در واقعیت، اندازه‌گیری جداگانه پارامترهای فوق چندان مرسوم نبوده و مقدار آب خالص موردنیاز گیاه، در قالب پارامتر کلی تبخیر-تعرق گیاه^۴ (ET) در نظر گرفته می‌شود. اغلب تنش‌های محیطی مانند کم‌آبی (سعیدی و ستوده نیا، ۱۴۰۰)، شوری آب و فقر غذایی خاک (سعیدی و همکاران، ۱۳۹۹) باعث کاهش مقدار تبخیر-تعرق گیاه نسبت به شرایط استاندارد منطقه (محیط بدون تنش) می‌شود. در نشریه فائو-۵۶ گزارش شد که دوره رشد گیاهان زراعی را می‌توان به چهار مرحله متمایز اولیه، توسعه گیاه، میانی و پایانی رشد تقسیم کرد. مرحله اولیه رشد از تاریخ کاشت بذر شروع شده و تا زمانی که پوشش گیاهی حدود ۱۰ درصد از سطح زمین را بپوشاند، ادامه می‌یابد. مرحله توسعه گیاه از زمان پوشش گیاهی ۱۰ درصدی آغاز شده و تا زمان رسیدن به پوشش مؤثر گیاه ادامه دارد. مرحله میانی رشد از ادامه مرحله قبل شروع شده و تا ابتدای رسیدن بیولوژیک محصول ادامه دارد. در این مرحله، ضریب گیاهی تبخیر-تعرق (Kc) به بیشترین مقدار خود می‌رسد. مرحله پایانی رشد از رسیدگی بیولوژیک محصول آغاز شده و تا خشک شدن طبیعی اندام‌های گیاه (پلاسیدگی کامل) و برداشت آن ادامه می‌یابد (آلن و همکاران، ۱۹۹۸). در مراحل رشد مذکور، حساسیت متفاوتی از سوی گیاه به تنش‌های محیطی (شوری و خشکی) وجود دارد. این عامل موجب می‌شود که مقدار تبخیر-تعرق گیاه در دوره رشد، با یک شیب ثابت کاهش پیدا نکند و در مرحله حساس رشد (مانند مرحله گل‌دهی)، کاهش بیشتری داشته باشد

(سعیدی، a ۱۴۰۰)؛ بنابراین هم از نظر مقدار و نوع تنش وارده بر گیاه و هم از نظر مرحله‌ای از رشد گیاه که تنش اعمال می‌شود، واکنش متفاوتی در خصوص مقدار تبخیر-تعرق گیاه قابل‌انتظار است. در بین تنش‌های محیطی، افزایش شوری آب آبیاری ازجمله تنش‌هایی است که باعث کاهش پتانسیل آب خاک، کاهش جذب آب و تبخیر-تعرق توسط گیاه می‌شود (لاکیردا و همکاران، ۲۰۱۶). در بین گیاهان زراعی آبی نیز گیاه ذرت به لحاظ تأمین نیاز غذایی انسان و دام، مانند گندم، جو و برنج، دارای اهمیت استراتژیک بوده (سعیدی و همکاران، a ۱۳۹۷) و برای مطالعه در مورد عنوان پژوهش حاضر مناسب است. دراین‌باره در پژوهشی گزارش شد که تنش شوری در آب خاک، جذب نیتروژن، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و آهن توسط گیاه ذرت را کاهش داده و باعث افزایش مقاومت روزنه‌ها و کاهش تعرق گیاه شده است (فاروق و همکاران، ۲۰۱۵). در پژوهشی در اهواز گزارش شد که افزایش شوری آب آبیاری از دو به هفت دسی‌زیمنس بر متر، باعث کاهش تبخیر-تعرق ذرت از ۵۱۵/۲ به ۳۸۷/۵ میلی‌متر شد (حیدری نیا و همکاران، ۱۳۹۶). در اقلیم نیمه‌خشک منطقه باجگاه (شیراز)، در اثر افزایش شوری آب آبیاری از ۰/۶ به چهار دسی‌زیمنس بر متر، تعرق ذرت به میزان ۱۲ درصد کاهش یافت (عزیزیان و سپاسخواه، ۲۰۱۴). در تحقیقی بر روی ذرت در منطقه قزوین گزارش شد که افزایش شوری آب آبیاری از ۰/۵ به ۵/۷ دسی‌زیمنس بر متر، باعث کاهش پتانسیل آب خاک و کاهش جذب آب توسط گیاه شد. درنتیجه مقدار مقاومت روزنه‌ای برگ‌های گیاه افزایش یافت و مقدار تبخیر-تعرق ذرت، از ۳۵۳ به ۲۷۴ میلی‌متر کاهش یافت (سعیدی و همکاران، ۲۰۲۱). در پژوهش‌های مذکور، تأثیر تنش شوری بر مجموع تبخیر-تعرق ذرت در کل دوره حیات گیاه بررسی شد؛ اما شناخت رفتار اجزاء تبخیر-تعرق گیاه ذرت، به‌منظور کاهش تلفات آب و افزایش بهره‌وری مصرف آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک نیز توصیه شده است (دهقانی سانچ و

همکاران، ۱۳۹۶). از این رو گزارش شد که با مدیریت مناسب آبیاری، امکان کاهش مقدار تبخیر از سطح خاک و افزایش مقدار تعرق گیاه وجود خواهد داشت. با این کار علاوه بر کاهش مقدار مصرف آب، مقدار عملکرد محصول نیز افزایش خواهد یافت (میرزایی الموتی و رمضان‌اعتدالی، ۱۳۹۶). در پژوهشی بر روی ذرت در کشور چین، اجزاء تبخیر از سطح خاک و تعرق گیاه، با استفاده از روش میکرو لایسیمتری در سیستم آبیاری جویچه‌ای برآورد شد. نتایج نشان داد در کل دوره رشد، ۳۰ تا ۴۰ درصد از مقدار کل تبخیر-تعرق گیاه ذرت به جزء تبخیر از سطح خاک و مابقی به جزء تعرق گیاه اختصاص یافت (فریرا و همکاران، ۲۰۱۲). در پژوهشی دیگر در فلات چین گزارش شد که با تفکیک پارامتر تبخیر-تعرق ذرت به دو جزء تبخیر از خاک و تعرق گیاه، این امکان وجود دارد که تحلیل بهتری از بهره‌وری آب داشته و با این کار، مدیریت مصرف آب را می‌توان بهینه‌سازی نمود. در این پژوهش نسبت تعرق به تبخیر-تعرق (T/ET) ذرت در کل دوره‌ی رشد مقدار ۵۳ درصد و در دوره‌ی گل‌دهی تا بلوغ گیاه مقدار ۶۳/۳ درصد بود و در دوره‌ی پایانی رشد از مقدار T/ET کاسته شد. علاوه بر آن اعلام شد که نسبت سهم تعرق به تبخیر-تعرق ذرت، در شرایط کشت دیم کم‌تر بوده است. به عبارت دیگر کمبود آب خاک به عنوان یک تنش محیطی، باعث کاهش سهم جزء تعرق گیاه شده است (ژو و همکاران، ۲۰۱۷). از سوی دیگر در تحقیقی بر روی ذرت در غرب اروگوئه، بیان شد در زمانی که سطح خاک پوششی نداشت و گیاه تحت تأثیر تنش آبی بود، نسبت تبخیر به تبخیر-تعرق ذرت (E/ET) حدود ۲۰ تا ۲۵ درصد افزایش یافت (گیمنز و همکاران، ۲۰۱۶). از این رو مدیریت پوشش خاک نیز بر سهم اجزاء تبخیر-تعرق مؤثر خواهد بود. از سوی دیگر اعلام شد که هنگام خشک شدن سطح خاک در روزهای غیر بارانی و پس از آبیاری، سهم تبخیر از سطح خاک روند کاهشی دارد؛ بنابراین مقدار آب در سطح خاک به عنوان یک عامل محدودکننده برای تبخیر تبدیل شده، ولی تأثیری در مقدار تعرق گیاه ندارد (شیائو و همکاران، ۲۰۱۶).

به طوری که در پژوهشی بر روی ذرت در منطقه قزوین گزارش شد که به علت مرطوب بودن سطح خاک در روزهای ابتدای پس از آبیاری، بیشترین مقدار تبخیر مؤثر از سطح خاک در روزهای نزدیک به بعد از آبیاری اتفاق می‌افتد؛ بنابراین سهم تبخیر از سطح خاک (جزء نامطلوب تبخیر-تعرق) در دوره‌های کوتاه آبیاری (به علت داشتن هم‌پوشانی بیشتر با زمان انجام تبخیر)، بیشتر از دوره‌های بلند آبیاری اعلام شده است (سعیدی، b ۱۴۰۰). جمع‌بندی پژوهش‌های گذشته نشان می‌دهد که نوع و میزان تنش محیطی و حساسیت دوره رشد ذرت، می‌تواند بر واکنش اجزاء تبخیر-تعرق ذرت مؤثر باشد. در اغلب پژوهش‌های گذشته، مطالعات تنش شوری بر روی مقدار تبخیر-تعرق ذرت در کل دوره رشد گیاه انجام شده است؛ اما هدف از پژوهش حاضر بررسی واکنش اجزاء تبخیر-تعرق (تعرق و تبخیر) ذرت علوفه‌ای به سطوح متفاوت شوری آب آبیاری، در مراحل مختلف رشد می‌باشد. به طوری که ضمن در نظر داشتن مشکل تجمع تدریجی املاح در خاک (حاصل از آبیاری با آب لب‌شور)، بررسی بشود که چه اتفاقی برای مقادیر دو پارامتر تبخیر از سطح خاک و تعرق گیاه ذرت می‌افتد؛ یعنی این که نسبت به شرایط پتانسیل منطقه (آبیاری با آب غیرشور)، سهم اجزاء تبخیر و تعرق (در پارامتر کلی تبخیر-تعرق) چقدر کاهش و یا افزایش می‌یابند. در این پژوهش با آشکار شدن حساسیت مجزای دو پارامتر تبخیر و تعرق به اعمال تنش شوری در مراحل رشد ذرت، میزان تلفات تبخیر مشخص شده و شناخت بیشتر برای برنامه‌ریزی دقیق‌تر آبیاری بر اساس نیاز آبی واقعی گیاه (در شرایط غیراستاندارد محیطی) فراهم می‌شود.

مواد و روش‌ها

معرفی کلیات پژوهش

پژوهش حاضر در دانشگاه بین‌المللی امام خمینی^(ره) و در موقعیت جغرافیایی با عرض شمالی ۲۳° ۱۹' ۳۶" و طول شرقی ۳۸° ۰۰' ۵۰" واقع در شهر قزوین انجام شد. گیاه مورد مطالعه، ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴

بود که باهدف اندازه‌گیری جداگانه اجزاء تبخیر-تعرق آن، از مینی‌لایسیمت‌های استوانه‌ای شکل (شکل ۱) با قطر ۴۰ و ارتفاع ۷۰ سانتی‌متر به‌عنوان بستر کشت آن استفاده شد (دهقانی سانچ و همکاران، ۱۳۹۶). خاک فراهم‌شده برای پُر کردن مینی‌لایسیمت‌ها، مخلوطی از خاک مزرعه، ماسه‌بادی و کود حیوانی با نسبت ۳، ۱ و ۱ بود که مشخصات آن در جدول (۱) ارائه شد. برای جلوگیری از آب ماندگی احتمالی در خاک و کنترل مقدار آب داده شده به خاک در فرآیند آبیاری، در کف مینی‌لایسیمت‌ها از لوله‌های سوراخ‌دار و بستر شن (به‌عنوان زهکش) برای هدایت زهاب به بیرون، استفاده شد. با اندازه‌گیری چگالی ظاهری خاک آماده کشت در شرایط طبیعی مزرعه، مقدار چگالی ۱/۳۶ گرم بر سانتیمتر مکعب برای خاک داخل مینی‌لایسیمت مناسب بود. از این‌رو با توجه به حجم هر مینی‌لایسیمت، وزن مشخصی از خاک برای رسیدن به تراکم مذکور، در آن‌ها ریخته شد و از طریق آب دادن به آن‌ها، از هرگونه نشست احتمالی خاک در دوره رشد گیاه جلوگیری شد. بذرها در تاریخ ۱۴ خردادماه کاشته شد و برداشت علوفه‌ای محصول ذرت در تاریخ ۳۰ مهرماه انجام شد.

در داخل هر مینی‌لایسیمت تعداد سه بذر به‌صورت دستی و با فواصل یکسان از هم کاشته شد (سعیدی، b ۱۴۰۰ و دهقانی سانچ و همکاران، ۱۳۹۶). دوره رشد گیاه مصادف با روزهای خشک سال بود و آمار بارندگی ثبت‌شده وجود نداشت؛ بنابراین نیاز آبی گیاه صرفاً از طریق آبیاری تأمین شد. آبیاری مینی‌لایسیمت‌ها به‌صورت سطحی و با استفاده از آب چاه با هدایت الکتریکی ۰/۵ دسی‌زیمنس بر متر و اسیدپته ۷/۱ انجام شد. تیمارها شامل چهار سطح شوری آب آبیاری با هدایت الکتریکی (S_0) ۰/۵، (S_1) ۲/۱، (S_2) ۳/۵ و (S_3) ۵/۷ دسی‌زیمنس بر متر و چهار مرحله رشد^۵ اولیه (P_0) ،^۶ توسعه (P_1) ،^۷ میانی (P_2) و^۸ پایانی (P_3) ذرت در نظر گرفته شد. به‌طوری‌که تعداد ۱۶ تیمار در سه تکرار، به‌صورت آزمایش فاکتوریل و در

قالب طرح کاملاً تصادفی اجرا شد. اثر تیمارهای مذکور بر مقدار تبخیر-تعرق، تعرق گیاه و تبخیر از سطح خاک بررسی شد. تیمارهای شوری به ترتیب با توجه به پتانسیل ۱۰۰، ۹۰، ۷۵ و ۵۰ درصدی عملکرد محصول ذرت در شوری‌های مذکور (برای آب آبیاری) انتخاب شد (دورنبوس و پریوت، ۱۹۷۷). با توجه به تاریخ کاشت و برداشت در پژوهش حاضر، دوره رشد ذرت ۱۴۰ روز بود و از این‌رو تیمارهای مرحله رشد (چهار دوره رشد) به ترتیب برابر با ۲۵، ۴۰، ۴۵ و ۳۰ روز، بر اساس گزارش نشریه فائو-۵۶ در نظر گرفته شد (آلن و همکاران، ۱۹۹۸). برای اطمینان بیشتر، در حین دوره رشد نیز همواره بازه زمانی مراحل رشد (بر اساس تعریف آن در نشریه فائو-۵۶) کنترل شد. در این شرایط، نتایج نشان داد که بین بازه‌های زمانی اشاره‌شده در نشریه فائو-۵۶ و پژوهش حاضر، تفاوتی وجود نداشت. البته در پژوهشی مشابه بر روی ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ در منطقه قزوین نیز، دوره رشد گیاه از زمان کاشت تا برداشت علوفه‌ای محصول، ۱۴۰ روز در نظر گرفته شد (سعیدی و همکاران، ۱۳۹۷ a). به‌طورکلی شرح تیمارهای پژوهش در جدول (۲) ارائه شد. برای تهیه تیمارهای آب‌شور، از زهاب شور تجمع یافته در زهکش حائل شوره‌زار مرکزی دشت قزوین واقع در منطقه آبیگ استفاده شد. به این صورت که آب موردنیاز برای آبیاری تیمارهای S_1 ، S_2 و S_3 از طریق اختلاط زهاب شور و آب باکیفیت چاه (S_0) تهیه شد. خصوصیات شیمیایی تیمارهای آب‌شور و غیر شور مورد استفاده در پژوهش حاضر، در جدول (۳) آورده شد. لازم به‌ذکر است که برای جلوگیری از تأثیر زیان‌بار شوری آب بر جوانه‌زنی بذور و رشد اولیه گیاهان، تنش شوری پس از پنج‌برگی شدن گیاهان اعمال شد. این روش اعمال تنش شوری بر گیاه ذرت، در پژوهش‌های گذشته نیز مشاهده شد (حسن‌لی و همکاران، ۱۳۹۴؛ سعیدی و همکاران، ۱۳۹۹).

جدول ۱- مشخصات خاک مینی لایسیمتر

پارامتر	واحد	مقدار
هدایت الکتریکی عصاره اشباع	dS.m^{-1}	۰/۴۶
اسیدیته (pH)	-	۷/۴
بافت خاک	-	لوم شنی
رطوبت وزنی حد ظرفیت مزرعه	%	۲۴
رطوبت وزنی حد پژمردگی	%	۱۰/۶
چگالی ظاهری	g.cm^{-3}	۱/۳۶

جدول ۲- تشریح تیمارهای سطوح شوری آب و مراحل رشد گیاه ذرت

تیمار/مرحله رشد	شرح تیمار و مرحله رشد
سطح S ₀	شوری آب آبیاری به میزان (dS.m^{-1}) ۰/۵ (در این سطح شوری آب، پتانسیل عملکرد ذرت ۱۰۰٪ است)
سطح S ₁	شوری آب آبیاری به میزان (dS.m^{-1}) ۲/۱ (در این سطح شوری آب، پتانسیل عملکرد ذرت حدود ۹۰٪ است)
سطح S ₂	شوری آب آبیاری به میزان (dS.m^{-1}) ۳/۵ (در این سطح شوری آب، پتانسیل عملکرد ذرت حدود ۷۵٪ است)
سطح S ₃	شوری آب آبیاری به میزان (dS.m^{-1}) ۵/۷ (در این سطح شوری آب، پتانسیل عملکرد ذرت حدود ۵۰٪ است)
مرحله اولیه	فاصله زمانی از تاریخ کاشت بذر تا زمانی که اندام گیاهی ۱۰٪ از سطح زمین را پوشانده باشد (به مدت ۲۵ روز)
مرحله توسعه	از ادامه مرحله قبل شروع شده و تا پوشش کامل مؤثر سطح زمین توسط گیاه ادامه می‌یابد (به مدت ۴۰ روز)
مرحله میانی	از زمان گل‌دهی گیاه آغاز شده و تا لحظه رسیدگی بیولوژیک گیاه ادامه دارد (به مدت ۴۵ روز)
مرحله پایانی	زمان بین رسیدگی بیولوژیک محصول و تا خشک شدن طبیعی اندام‌های گیاه را شامل می‌شود (به مدت ۳۰ روز)

جدول ۳- خصوصیات شیمیایی منابع آبی مورد استفاده در پژوهش

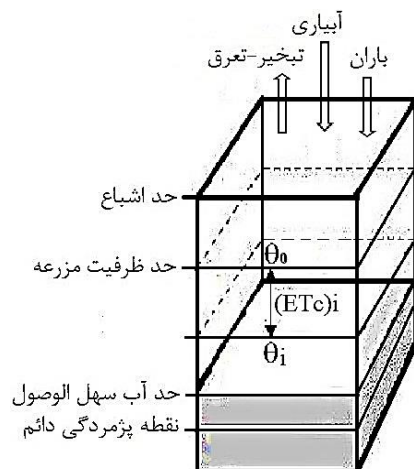
تیمار شوری	هدایت الکتریکی (dS.m^{-1})	سدیم (meq.L^{-1})	منیزیم (meq.L^{-1})	کلسیم (meq.L^{-1})	پتاسیم (meq.L^{-1})	سولفات (meq.L^{-1})	بی‌کربنات (meq.L^{-1})	کربنات (meq.L^{-1})	کلر (meq.L^{-1})
سطح S ₀	۰/۵	۲/۳۶	۰/۸۸	۱/۳۵	۰/۲	۱/۴۲	۱/۱۲	۰/۴۱	۱/۷۴
سطح S ₁	۲/۱	۱۲/۷۶	۲/۹۵	۴/۷۵	۰/۱۴	۶/۴۴	۴/۸۱	۰/۶۹	۸/۴۳
سطح S ₂	۳/۵	۱۸/۴	۶/۴۳	۹/۱۲	۰/۲۹	۱۰/۵۶	۸/۳۴	۱/۳۶	۱۳/۷۲
سطح S ₃	۵/۷	۳۲/۸	۹/۲۴	۱۳/۹	۰/۳۴	۱۸/۴۳	۱۳/۰۵	۱/۵	۲۲/۶۳

اندازه‌گیری تبخیر-تعرق

در فاصله‌ی بین دو آبیاری، مقدار رطوبت روزانه خاک توسط دستگاه رطوبت‌سنج ساخت شرکت دلتا تی (ΔT) مدل HH2، در مرکز هر مینی لایسیمتر اندازه‌گیری شد. قبل از شروع آزمایش، اعداد ثبت شده توسط دستگاه مذکور نسبت به مقادیر واقعی رطوبت خاک واسنجی شد. به این صورت که در یک نمودار، داده‌های واقعی رطوبت خاک در محور عمودی و داده‌های ثبت شده توسط دستگاه در محور افقی قرار داده شد و منحنی اشیل (با معادله مشخص) برای تبدیل داده‌های دستگاه به داده‌های واقعی رطوبت تهیه شد. در این شرایط از طریق پایش روزانه

رطوبت خاک و محاسبه بیلان آب (شکل ۱) در فاصله بین دو آبیاری، امکان برآورد مقدار روزانه تبخیر-تعرق گیاه توسط رابطه (۱) فراهم شد. لازم به ذکر است که مقدار رطوبت خاک در عمق مینی لایسیمتر، به صورت جداگانه در ۴ لایه‌ی ۰-۱۵، ۱۵-۳۰، ۳۰-۴۵ و ۴۵-۶۰ سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. برای این کار، سنسور دستگاه (پروپ) به صورت افقی و از بدنه مینی لایسیمتر وارد عمق موردنظر از خاک شد. از این رو در طی دوره رشد گیاه، مجموع کاهش رطوبت خاک در چهار لایه خاک به عنوان تبخیر-تعرق گیاه در نظر گرفته شد. در خاک مینی لایسیمترها هیچ گونه درز و ترکی وجود نداشت و به دلیل انجام آبیاری تا حد ظرفیت

رطوبت خاک (منطقه ریشه) در روزهای پس از آبیاری، صرفاً متأثر از فرایند تبخیر-تعرق گیاهان بوده است.



مزرعه (FC^9), زهاب خروجی از مینی لایسیمترها نیز وجود نداشت؛ بنابراین اطمینان حاصل شد که روند کاهشی مقدار



شکل ۱- تصویری از مینی لایسیمتر استفاده شده در پژوهش و موازنه آب در واحد حجم خاک (آلن و همکاران، ۱۹۹۸)

ورقه‌های نازک بر روی سطح خاک استفاده شد. از سوی دیگر برای جلوگیری از جذب گرمای تابشی خورشید توسط مالچ و انتقال آن به خاک، مالچ پلاستیکی بافاصله‌ی ۵ سانتی‌متری از سطح خاک قرار داده شد. لذا تهویه‌ی مناسب در سطح خاک امکان‌پذیر شد و از تشکیل قطره‌های آب در زیر مالچ و تأثیر آن بر مقدار رطوبت خاک جلوگیری شد (سعیدی، b ۱۴۰۰)؛ بنابراین تغییرات روزانه رطوبت خاک در سری دوم مینی لایسیمترها فقط مربوط به تعرق گیاه بود و اختلاف آن با داده‌های سری اول، نشان‌دهنده مقدار تبخیر روزانه بود. به‌طور کلی تعداد ۹۶ مینی لایسیمتر (برای اجرای ۱۶ تیمار در سه تکرار و دو سری مینی لایسیمتر) در نظر گرفته شد. از این‌رو داده‌های پژوهش حاضر شامل مقادیر تبخیر-تعرق، تعرق و تبخیر در دوره حیات گیاه ذرت بود که تجزیه واریانس و مقایسه میانگین آن‌ها توسط نرم‌افزار SPSS و با آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شد.

تعیین ضرایب تنش

در نشریه فائو-۵۶ گزارش شد که طبق رابطه (۲)، از تقسیم مقدار تبخیر-تعرق گیاه در شرایط غیراستاندارد (تنش‌زا) محیطی (ET_{c-adj}) بر مقدار تبخیر-تعرق گیاه در

$$(ET_c)_i = \frac{(\theta_{i-1} - \theta_i)}{100} \times \rho_b \times D \quad (1)$$

$(ET_c)_i$: تبخیر-تعرق روزانه گیاه (سانتی‌متر)، θ : مقدار رطوبت وزنی خاک (درصد)، i : شمارنده روزهای بین دو آبیاری، $(\theta_{i-1} - \theta_i)$: اختلاف رطوبت روزانه خاک (درصد)، ρ_b چگالی ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب)، D : عمق مینی لایسیمتر (سانتی‌متر). با توجه به توضیحات قبلی، منظور از عمق مینی لایسیمتر، چهار لایه‌ی خاک ۰-۱۵، ۱۵-۳۰، ۳۰-۴۵ و ۴۵-۶۰ سانتی‌متری بود که مقدار رطوبت خاک به‌طور جداگانه در آن‌ها اندازه‌گیری شد و بر اساس مجموع مقادیر کاهش رطوبت خاک در لایه‌های مذکور، مقدار تبخیر-تعرق گیاه محاسبه شد.

جداسازی اجزاء تبخیر-تعرق

برای جداسازی مقادیر اجزاء تبخیر و تعرق ذرت، همه تیمارها در دو سری مینی لایسیمتر (دارای شرایط کاملاً یکسان) اجرا شد. در سری اول، سطح خاک مینی لایسیمتر بدون پوشش و در حالت طبیعی قرار داشت. از این‌رو تغییرات روزانه رطوبت خاک در بین دو آبیاری، نشان‌دهنده مجموع مقادیر تبخیر و تعرق گیاهان بود. اما در سری دوم و پس از جوانه‌زنی بذور، برای حذف اثر تبخیر و برآورد جزء تعرق گیاه، از مالچ پلاستیکی بارنگ روشن و به شکل

شرایط استاندارد (بدون تنش) محیطی (ET_c)، ضریبی به نام K_s به دست می‌آید که عددی کوچک‌تر از یک است. ضریب تنش تبخیر-تعرق (K_s) بیان‌گر شدت اثر تنش شوری، بر مقدار تبخیر-تعرق گیاه در شرایط پتانسیل (استاندارد) منطقه می‌باشد. در پژوهش حاضر علاوه بر ضریب K_s ، ضرایب تنش شوری مربوط به اجزاء تبخیر و تعرق نیز با استفاده از روابط (۳) الی (۴) برآورد شد. به‌طوری‌که ضریب تنش تعرق (K_{s-T}) و ضریب تنش تبخیر (K_{s-E})، به ترتیب نشان‌دهنده میزان تعرق و تبخیر در شرایط تنش شوری نسبت به شرایط پتانسیل منطقه (تیمار S_0) بوده است. البته روابط (۲) الی (۴) به ترتیب نشان‌دهنده تبخیر-تعرق نسبی، تعرق نسبی و تبخیر نسبی در شرایط وجود تنش نیز می‌باشند:

$$K_s = \frac{ET_{c-adj}}{ET_c} \quad (\text{سعیدی و همکاران، ۲۰۲۱}) \quad (۲)$$

$$K_{s-T} = \frac{T_{-adj}}{T} \quad (\text{سعیدی، ۱۴۰۰b}) \quad (۳)$$

$$K_{s-E} = \frac{E_{-adj}}{E} \quad (\text{سعیدی، ۱۴۰۰b}) \quad (۴)$$

در روابط فوق، K_s ، K_{s-T} و K_{s-E} به ترتیب معرف ضرایب تنش شوری برای تبخیر-تعرق، تعرق و تبخیر، ET_{c-adj} ، T_{-adj} و E_{-adj} به ترتیب نشان‌دهنده مقدار تبخیر-تعرق، تعرق و تبخیر (میلی‌متر) در شرایط اعمال تنش شوری و ET_c ، T و E به ترتیب بیانگر مقدار تبخیر-تعرق، تعرق و تبخیر (میلی‌متر) در شرایط بدون تنش شوری (تیمار S_0) می‌باشد.

تعیین زمان و حجم آب آبیاری

به‌منظور این‌که هیچ‌گونه تنش آبی بر گیاهان اعمال نشود، زمان انجام آبیاری به‌گونه‌ای انتخاب شد که حتی در مراحل حساس رشد، آب به‌صورت سهل‌الوصول در دسترس گیاه باشد. در این‌باره در پژوهشی در منطقه قزوین، حد آب سهل‌الوصول خاک (RAW) در مراحل مختلف رشد گیاه ذرت بین ۴۰ تا ۸۰ درصد در نظر گرفته شد (سعیدی، ۱۴۰۰a). از این‌رو پس از اتمام ۴۰ درصد از

رطوبت بین دو حد ظرفیت مزرعه (FC) و نقطه پژمردگی دائم (PWP) در تیمارها، عملیات آبیاری انجام شد. درصد رطوبت وزنی خاک در حد FC و PWP با استفاده از دستگاه صفحات فشاری (به ترتیب تحت فشارهای مکشی یک‌سوم و ۱۵ اتمسفر) و خشک‌کردن خاک در گرم‌خانه، محاسبه و در جدول (۱) ارائه شد. برای اندازه‌گیری مقدار پارامتر RAW نیز از رابطه (۵) استفاده شد. هدف از انجام آبیاری، جبران کمبود رطوبت خاک تا حد ظرفیت مزرعه بود. از این‌رو با توجه به مقدار کمبود رطوبت خاک ($\theta_{FC} - \theta_i$)، چگالی، عمق و مساحت سطح خاک در مینی‌لایسمتر، حجم آب آبیاری بر اساس رابطه (۶) تعیین شد. در این شرایط آب اضافی برای تبدیل به زهاب و خروج از انتهای مینی‌لایسمترها وجود نداشت و راندمان آبیاری ۱۰۰ درصد بود. با توجه به تفاوت مقدار شوری آب آبیاری در تیمارها و کاهش جذب آب توسط گیاه در شرایط تنش شوری، میزان جذب آب در همه مینی‌لایسمترها یکسان نبود. از این‌رو مجموع نیاز آبی گیاهان (در کل دوره رشد) در تیمارهای S_0 ، S_1 ، S_2 و S_3 به ترتیب ۴۲۰، ۳۹۸، ۳۶۲ و ۳۲۰ میلی‌متر و مجموع حجم آب آبیاری در واحد مینی‌لایسمتر به ترتیب ۵۲/۷، ۵۰، ۴۵/۵ و ۴۰/۲ لیتر برآورد شد.

$$RAW = \frac{\theta_{FC} - \theta_i}{\theta_{FC} - \theta_{PWP}} \quad (۵)$$

در رابطه ۵، RAW : معرف آب سهل‌الوصول خاک است. طبق تعریف نشریه فائو-۵۶، RAW کسری از کل آب قابل استفاده خاک^{۱۲} (TAW) است که در آن تنش آبی برای گیاه ایجاد نمی‌شود. در توضیحات قبلی ذکر شد که حداکثر تخلیه مجاز رطوبت خاک^{۱۳} (MAD) برابر با ۴۰ درصد رطوبت بین دو حد FC و PWP در نظر گرفته شد. از این‌رو θ_i مقدار رطوبت وزنی خاک (درصد) پس از انجام تخلیه مجاز رطوبت خاک (MAD) و در زمان انجام آبیاری است. طبق جدول (۱) مقدار رطوبت خاک در دو حد FC و PWP به ترتیب برابر با ۲۴ درصد و ۱۰/۶ درصد بود و مقدار θ_i برابر با ۱۸/۶ درصد محاسبه شد.

همچنین θ_{FC} : رطوبت وزنی خاک در حد ظرفیت مزرعه (درصد) و θ_{PWP} : رطوبت وزنی خاک در حد نقطه پژمردگی دائم (درصد) می‌باشد.

$$V = \frac{(\theta_{FC} - \theta_i)}{100} \times \rho_b \times Z \quad (6)$$

V : حجم آب آبیاری (مترمکعب)، θ_{FC} : رطوبت وزنی خاک در نقطه ظرفیت مزرعه (درصد)، θ_i : رطوبت وزنی خاک در زمان اتمام آب سهل‌الوصول خاک و قبل از انجام آبیاری (درصد)، ρ_b : چگالی ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب)، Z : عمق توسعه ریشه (متر) و A : مساحت سطح خاک (مترمربع). لازم به ذکر است که در پژوهش حاضر به‌منظور تشخیص عمق توسعه ریشه گیاه (Z)، مینی‌لایسیمترهای جداگانه‌ای برای مراحل مختلف رشد گیاه در نظر گرفته‌شد و با خارج کردن ریشه گیاه از خاک، عمق آن اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری عملکرد محصول

به‌منظور اندازه‌گیری وزن زیست‌توده خشک ذرت، بوته‌ها در هر مینی‌لایسیمتر از سطح خاک بریده شد و برای خشک شدن به آزمایشگاه انتقال داده شد. در آزمایشگاه بوته‌ها به مدت ۴۸ ساعت در داخل گرم‌خانه قرار داده شد و در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به‌طور کامل خشک شد. سپس وزن کل زیست‌توده خشک گیاهی در واحد بوته، توسط ترازوی دقیق اندازه‌گیری شد و به‌عنوان عملکرد محصول ذرت مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج و بحث

تبخیر-تعرق و اجزاء آن در دوره رشد

مقادیر روزانه تبخیر-تعرق، تعرق گیاه و تبخیر از سطح خاک در دوره رشد ذرت، برای تیمارهای شوری آب در شکل (۲) نشان داده شد. مقادیر مذکور به ترتیب در بازه‌ی ۵/۷-۰/۳، ۵/۳-۰/۱ و ۳/۲-۰/۲ میلی‌متر بر روز (در تیمار S_0)، ۵/۴-۰/۲، ۴/۷-۰/۱ و ۳/۳-۰/۲ میلی‌متر بر روز (در تیمار S_1)، ۴/۶-۰/۲، ۳/۶-۰/۱ و ۳/۴-۰/۲ میلی‌متر بر روز (در تیمار S_2) و ۴/۵-۰/۲، ۲/۵-۰/۱ و

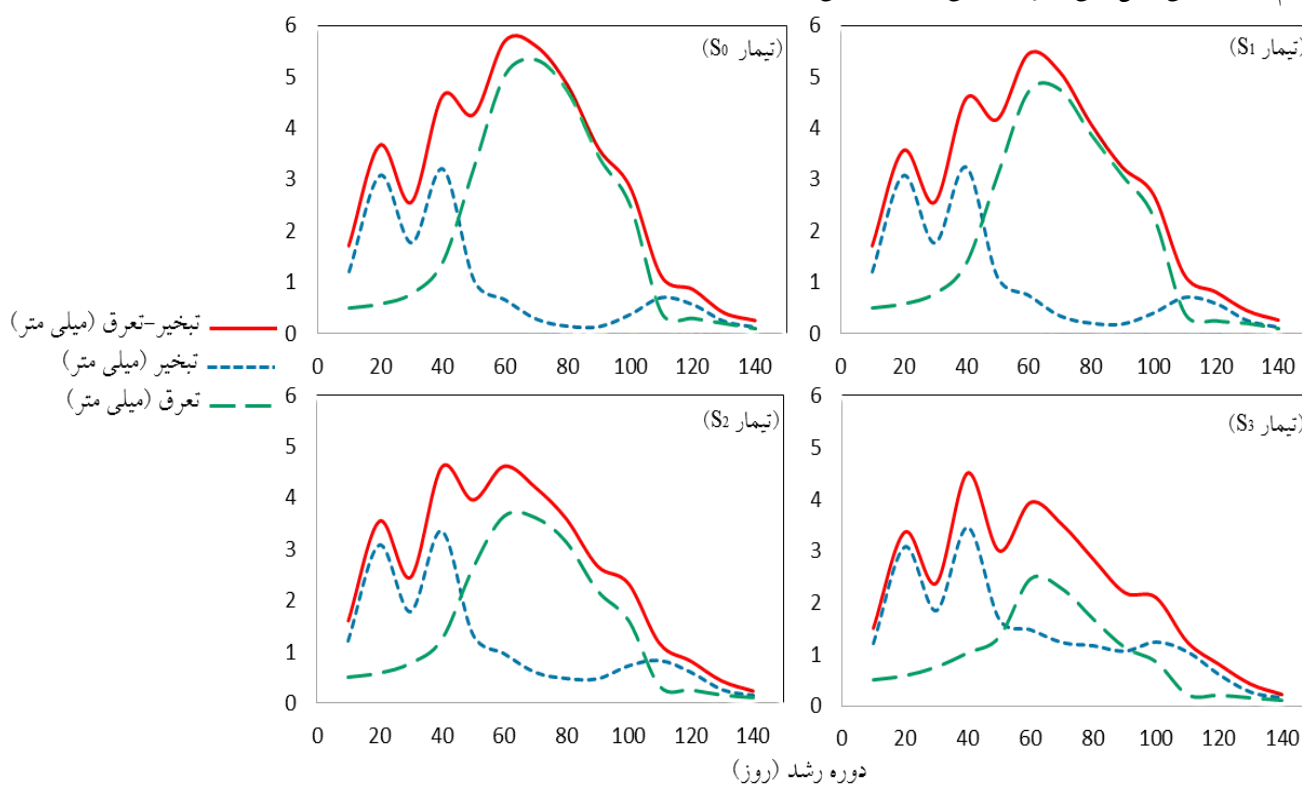
۳/۵-۰/۲ میلی‌متر بر روز (در تیمار S_3) قرار داشت. شکل (۲) نشان داد که مقادیر تبخیر-تعرق ذرت و اجزاء آن در دوره رشد متفاوت بود و افزایش شوری آب آبیاری (تنش شوری) نیز تأثیر متفاوتی بر روند تغییرات اجزاء تبخیر-تعرق داشت. در مرحله اولیه رشد که از کاشت بذر تا پوشیدگی ۱۰ درصدی زمین توسط گیاه را شامل می‌شود، سهم بیشتری از آب آبیاری صرف تبخیر از سطح خاک شد. با رشد گیاه و سایه‌اندازی کامل آن بر روی سطح خاک، به‌سرعت از سهم تبخیر کاسته شده و بخش اعظم تبخیر-تعرق در مراحل توسعه و میانی رشد، به تعرق گیاه اختصاص یافت؛ اما در مرحله پایانی رشد که گیاه به بلوغ کامل رسیده بود و به سمت پلاسیدگی و خشک شدن برگ‌ها (کاهش هدایت روزنه‌ای) پیش می‌رفت، مقدار تعرق و به دنبال آن تبخیر-تعرق به‌شدت کاهش یافت. به‌طور مشابه پژوهشی در استان جیانگ‌سو کشور چین برای شبیه‌سازی مقدار تبخیر از خاک و تعرق ذرت علوفه‌ای انجام شد. نتایج نشان داد بیشترین مقدار تبخیر برابر با ۳/۹۱ میلی‌متر بر روز در مرحله اولیه رشد و کم‌ترین مقدار آن برابر با ۰/۱ میلی‌متر بر روز بود که در مرحله پایانی رشد اتفاق افتاد (گو و همکاران، ۲۰۲۱). نتایج پژوهش مذکور با نتایج شکل (۲) در پژوهش حاضر مطابقت داشت. در مراحل رشد ذرت، تأثیر تنش شوری بر مقادیر تبخیر-تعرق، تعرق و تبخیر، در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). بر اساس شکل (۳)، مقدار تبخیر-تعرق در مراحل رشد P_0 ، P_1 ، P_2 و P_3 به ترتیب برابر با ۷۹/۲، ۲۰۱/۸، ۱۲۳/۸ و ۱۵/۲ میلی‌متر (در تیمار S_0)، ۷۸/۲، ۱۹۳، ۱۱۱/۸ و ۱۵ میلی‌متر (در تیمار S_1)، ۷۶، ۱۷۳/۷، ۹۷/۵ و ۱۴/۸ میلی‌متر (در تیمار S_2) و ۷۲/۴، ۱۴۹/۵، ۸۳/۶ و ۱۴/۵ میلی‌متر (در تیمار S_3) اندازه‌گیری شد. از سوی دیگر مقدار تعرق در مراحل رشد مذکور به ترتیب برابر با ۱۸/۶، ۱۵۰/۳، ۱۱۰/۲ و ۶ میلی‌متر (در تیمار S_0)، ۱۷، ۱۳۸/۷، ۹۶/۱ و ۵/۵ میلی‌متر (در تیمار S_1)، ۱۴/۵، ۱۱۱/۳، ۷۲/۶ و ۵ میلی‌متر (در تیمار S_2) و ۱۰/۳، ۷۰/۹، ۳۸/۶ و ۴/۵ میلی‌متر (در تیمار S_3) برآورد شد. همچنین مقدار تبخیر از

سطح خاک در مراحل رشد مذکور به ترتیب برابر با ۶۰/۶، ۵۱/۵، ۱۳/۶ و ۹/۲ میلی‌متر (در تیمار S_0)، ۶۱/۲، ۵۴/۳، ۱۵/۷ و ۹/۵ میلی‌متر (در تیمار S_1)، ۶۱/۵، ۶۲/۴، ۲۴/۹ و ۹/۸ میلی‌متر (در تیمار S_2) و ۶۲/۱، ۷۸/۶، ۴۵ و ۱۰ میلی‌متر (در تیمار S_3) اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد در تیمار بدون تنش شوری (S_0)، بیشترین تا کم‌ترین مقدار تجمعی تبخیر-تعرق و تعرق گیاه به ترتیب متعلق به مراحل توسعه، میانی، اولیه و پایانی رشد بود؛ اما برای جزء تبخیر، بیشترین تا کم‌ترین مقدار مربوط به مراحل اولیه، توسعه، میانی و پایانی رشد بود. علت نتایج مذکور تبعیت پارامتر تبخیر-تعرق از شکل منحنی ضریب گیاهی K_c ، پوشش کم سطح زمین توسط اندام‌های گیاهی در ابتدای دوره رشد و کاهش تعرق گیاه پس از رسیدگی بیولوژیک در پایان دوره رشد بوده است. در پژوهشی اجزاء تبخیر-تعرق ذرت در سیستم‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی در منطقه کرج ارزیابی شد. در نتیجه گزارش شد که مقدار تبخیر از سطح خاک در دوره‌های اولیه، توسعه و میانی رشد به ترتیب برابر با ۶۵، ۵۸/۸۳ و ۳۴/۹۸ میلی‌متر (در سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی) و ۷۳/۰۲، ۶۵/۷۳ و ۳۷/۳۲ میلی‌متر (در سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی) بود (دهقانی سانج و همکاران، ۱۳۹۶). در پژوهش مذکور (دهقانی سانج و همکاران، ۱۳۹۶)، روند تغییرات مقدار تبخیر از سطح خاک در دوره رشد ذرت، با نتایج پژوهش حاضر مطابقت داشت. از سوی دیگر با اعمال تنش شوری، واکنش متفاوتی از اجزاء تبخیر-تعرق گیاه مشاهده شد. نتایج نشان داد که در شرایط تنش شوری، رفتار جزء تعرق گیاه هم‌سو با پارامتر تبخیر-تعرق و هر دو به‌صورت کاهشی بود. از تیمار S_0 تا S_3 مقدار تعرق و تبخیر-تعرق گیاه به ترتیب ۸/۳ و ۶/۸ میلی‌متر (مرحله اولیه)، ۷۹/۴ و ۵۲/۳ میلی‌متر (مرحله توسعه)، ۷۱/۶ و ۴۰/۲ میلی‌متر (مرحله میانی)، ۱/۵ و ۰/۷ میلی‌متر (مرحله پایانی) کاهش یافت. دلیل آن، کاهش پتانسیل آب خاک و کاهش جذب آب و تعرق گیاه در شرایط مذکور بود؛ اما واکنش جزء تبخیر در زمان کاهش تعرق (تحت اثر تنش شوری)، به‌صورت افزایشی بود.

به‌طوری‌که از تیمار S_0 تا S_3 تبخیر از سطح خاک به مقدار ۱/۵ میلی‌متر (مرحله اولیه)، ۲۷/۱ میلی‌متر (مرحله توسعه)، ۳۱/۴ میلی‌متر (مرحله میانی) و ۰/۸ میلی‌متر (مرحله پایانی) افزایش یافت. به نظر می‌رسد در فضای رقابتی بین اجزاء تبخیر و تعرق گیاه برای اختصاص آب به خود، کاهش مقدار تعرق گیاه (در اثر تنش شوری)، باعث شده است که سهم بیشتری در پارامتر تبخیر-تعرق به جزء تبخیر اختصاص یابد. به‌بیان‌دیگر در شرایطی که تنش شوری مانع از جذب آب توسط گیاه بوده است، آب باقی‌مانده در خاک (سهم تعرق) صرف تبخیر شده است. در پژوهشی مشابه مقدار تبخیر-تعرق ذرت در شرایط اعمال تنش‌های خشکی و شوری، در مراحل مختلف رشد اندازه‌گیری شد. مقدار تبخیر-تعرق از تیمار I_0S_0 (بدون تنش) تا I_3S_3 (آبیاری بر اساس ۴۰ درصد نیاز آبی گیاه و شوری آب برابر با ۵/۷ دسی‌زیمنس بر متر)، در بازه ۷۸/۷ تا ۵۰ میلی‌متر (در مرحله اولیه رشد)، ۲۰۱/۲ تا ۱۲۶ میلی‌متر (در مرحله توسعه)، ۱۲۷/۵ تا ۷۰/۴ میلی‌متر (در مرحله میانی رشد) و ۱۴ تا ۹/۳ میلی‌متر (در مرحله پایانی رشد) قرار داشت. به‌طوری‌که مقدار تبخیر-تعرق در مراحل اولیه، توسعه، میانی و پایانی رشد، به ترتیب ۲۸/۷، ۷۵/۲، ۵۷/۱ و ۴/۷ میلی‌متر کاهش یافت. کاهش مقدار و پتانسیل آب موجود در خاک، از علل کاهش جذب آب و مقدار تبخیر-تعرق ذرت تحت تنش‌های شوری و خشکی گزارش شد (سعیدی، ۱۴۰۰). در پژوهش مذکور، روند کاهش مقدار تبخیر-تعرق در اثر اعمال تنش‌های محیطی در مراحل رشد ذرت، با پژوهش کنونی مشابهت داشت. نتایج دیگر در شکل (۳) نشان داد که در مرحله اولیه رشد، به دلیل غالب بودن مقدار جزء تبخیر و سهم اندک جزء تعرق، کاهش مقدار تعرق در شرایط تنش شوری، اثر چندانی بر مقدار تبخیر (در تیمارهای شوری) نداشت. به‌طوری‌که مقدار تبخیر در تیمارهای شوری از هم‌پوشانی بیشتری در مرحله اولیه رشد برخوردار بودند. نتایج مشابه برای مرحله پایانی رشد نیز وجود داشت؛ زیرا در این مرحله، جذب طبیعی آب توسط گیاه کاهش‌یافته و گیاه به‌سوی توقف تعرق و

بود، هم‌پوشانی بین مقادیر تبخیر-تعرق، تعرق و تبخیر در تیمارهای شوری وجود نداشت. این نشان می‌دهد که اثر غالب تنش شوری بر تعرق گیاه ذرت، در مراحل رشد توسعه و میانی بوده است. به‌طورکلی نتایج این بخش از پژوهش نشان داد که تنش شوری بر کاهش مقدار تعرق گیاه (جزء مطلوب)، انتقال سهم تعرق به جزء تبخیر و افزایش مقدار تلفات تبخیر (جزء نامطلوب)، مؤثر بوده است.

خشک شدن پیش می‌رفت و از این‌رو تفاوت چشم‌گیر (در مقدار تعرق) بین تیمارهای شوری وجود نداشت. به دلایل ذکرشده و پوشیدگی سطح زمین توسط اندام‌های گیاهی، تفاوت چندانی نیز بین مقادیر تبخیر (در مرحله پایانی رشد) در تیمارهای شوری وجود نداشت. از این‌رو مقادیر تبخیر-تعرق، تعرق و تبخیر در مرحله پایانی رشد، از هم‌پوشانی بیشتری در تیمارهای شوری برخوردار بودند (شکل ۳؛ اما در بقیه مراحل رشد (توسعه و میانی) که زمان توسعه اندام‌های گیاهی، گل‌دهی، گرده‌افشانی و بلال دهی ذرت

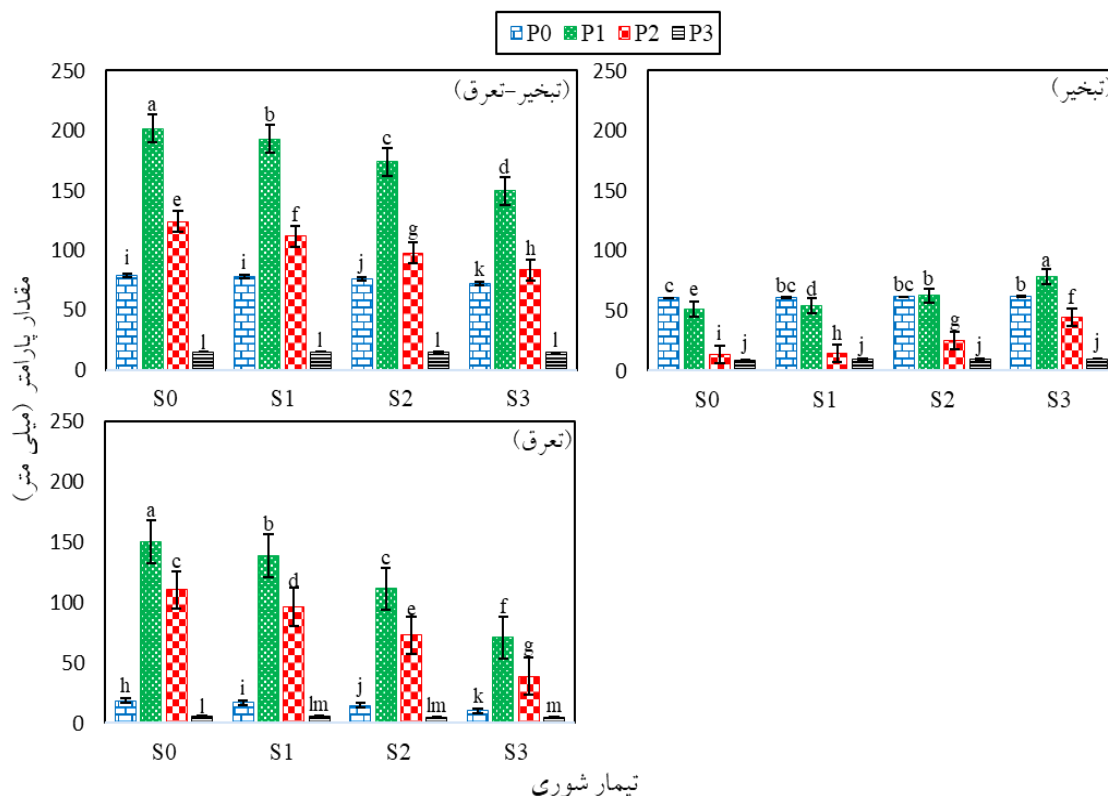


شکل ۲- مقادیر تبخیر، تعرق و تبخیر-تعرق ذرت در سطوح تنش شوری

جدول ۴- تجزیه واریانس صفات موردبررسی در طرح

میانگین مربعات			درجه آزادی	منبع تغییرات
تعرق	تبخیر	تبخیر-تعرق		
۶/۹۴ ^{ns}	۶/۹۴ ^{ns}	۳/۵۶ ^{ns}	۲	تکرار
۳۷۵۸ ^{**}	۵۷۰/۴ ^{**}	۱۴۲۵ ^{**}	۳	تنش شوری
۳۴۴۰/۹ ^{**}	۸۳۶۳ ^{**}	۵۵۹۳۹ ^{**}	۳	مرحله رشد
۹۸۴ ^{**}	۱۶۷/۲ ^{**}	۳۷۲ ^{**}	۹	تنش شوری × مرحله رشد
۰/۶	۰/۶	۰/۸۳	۳۰	خطا

ns و **: به ترتیب عدم تفاوت معنی‌دار و تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد



شکل ۳- مقایسه اثر متقابل تنش شوری و مرحله رشد بر مقادیر تبخیر-تعرق، تعرق و تبخیر

سهم اجزاء تبخیر و تعرق

در تیمارهای S0، S1، S2 و S3 مجموع مقدار تبخیر-تعرق در کل دوره رشد ذرت به ترتیب برابر با ۳۹۸، ۳۶۲ و ۳۲۰ میلی متر اندازه گیری شد. به طوری که از تیمار S0 تا S3 حدود ۲۴ درصد کاهش تبخیر-تعرق در اثر اعمال تنش شوری وجود داشت. در پژوهشی مشابه در قالب کشت مزرعه ای ذرت نیز گزارش شد که افزایش شوری آب آبیاری از ۵/۵ به ۵/۷ دسی زیمنس بر متر، باعث کاهش تبخیر-تعرق گیاه به میزان ۲۲ درصد شد (سعیدی و همکاران، ۱۳۹۷). در شکل (۴) برای هر تیمار شوری (S0 تا S3)، سهم اجزاء تبخیر و تعرق گیاه نسبت به کل تبخیر-تعرق گیاه در دوره رشد برآورد شد. بررسی کلی شکل (۴) نشان داد که با افزایش مقدار شوری آب آبیاری، سهم تعرق گیاه کاهش و سهم تبخیر از سطح خاک افزایش یافته است. بر این اساس در تیمارهای S0، S1، S2 و S3 مقدار سهم تعرق (در مجموع تبخیر-تعرق دوره رشد) به ترتیب برابر با ۴/۴، ۴/۲، ۴ و ۳/۲ درصد (مرحله اولیه)، ۳۵/۸، ۳۳/۹، ۳۰/۷ و ۲۲/۱ درصد (مرحله توسعه)، ۲۶/۲،

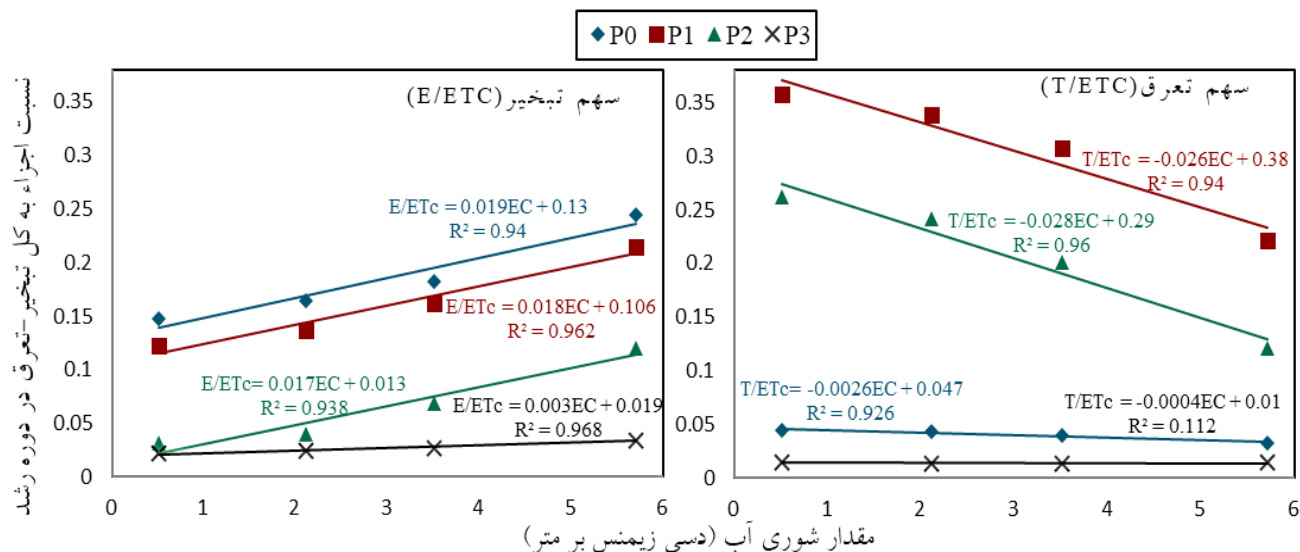
۲۴/۱، ۲۰ و ۱۲ درصد (مرحله میانی) و ۱/۴، ۱/۴، ۱/۴ و ۱/۴ درصد (مرحله پایانی) محاسبه شد. به همین صورت سهم تبخیر به ترتیب برابر با ۱۴/۷، ۱۶/۴، ۱۸/۲ و ۲۴/۵ درصد (مرحله اولیه)، ۱۲/۳، ۱۳/۷، ۱۶/۲ و ۲۱/۴ درصد (مرحله توسعه)، ۳/۱، ۳/۹، ۶/۸ و ۱۲ درصد (مرحله میانی) و ۲/۱، ۲/۴، ۲/۷ و ۳/۴ درصد (مرحله پایانی) برآورد شد. از این رو با اعمال تنش شوری تا سطح S3، سهم تعرق در مراحل اولیه، توسعه، میانی و پایانی رشد به ترتیب ۱/۲، ۱۳/۷، ۱۴/۲ و نزدیک به صفر درصد کاهش داشت. سهم تبخیر نیز برای مراحل مذکور به ترتیب با ۹/۸، ۹/۱، ۸/۹ و ۱/۳ درصد افزایش همراه بود؛ اما تفکیک اثر مقدار شوری آب آبیاری در مراحل رشد (در شکل ۴) نشان داد که به ازای هر یک دسی زیمنس بر متر افزایش شوری آب در مراحل اولیه، توسعه، میانی و پایانی رشد، مقدار تبخیر به ترتیب ۱/۹، ۱/۸، ۱/۷ و ۰/۳ درصد افزایش داشت. همچنین مقدار تعرق در مراحل رشد مذکور به ترتیب ۰/۲۶، ۰/۲۶، ۲/۸ و ۰/۰۴ درصد کاهش یافت. البته از طریق روابط ارائه شده در شکل (۴) می توان بر اساس نسبت تعرق به

تبخیر-تعرق (T/ET_c) و مقدار شوری آب آبیاری، میزان نیاز آبی واقعی گیاه ذرت را در شرایط تنش شوری آب محاسبه کرد. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که با افزایش تنش شوری (از طریق آب آبیاری) ضمن کاهش مقدار تبخیر-تعرق، مقدار تعرق گیاه با شدت بیشتری کاهش می‌یابد و مابه‌التفاوت سهم تعرق (نسبت به شرایط پتانسیل) به سهم تبخیر افزوده می‌شود. به‌طوری‌که در کل دوره رشد ذرت، سهم تعرق (در پارامتر تبخیر-تعرق) در تیمار S_0 به مقدار ۶۸٪ بوده است و در تیمار S_3 به مقدار ۳۹٪ رسیده است. در عوض، سهم تبخیر (در پارامتر تبخیر-تعرق) در تیمار S_0 به مقدار ۳۲٪ بوده است و در تیمار S_3 به مقدار ۶۱٪ رسیده است. این‌ها نشان می‌دهد که از تیمار S_0 تا S_3 ، کل سهم تعرق ۲۹ درصد کاهش و کل سهم تبخیر ۲۹ درصد افزایش یافته است. به‌طوری‌که در کل دوره رشد، به ازای هر یک دسی‌زیمنس بر متر افزایش شوری آب، سهم تعرق با شیب ۵/۷ درصد، کاهش و سهم تبخیر با شیب ۵/۷ درصد، افزایش یافته است. با توجه به نزدیک بودن مقادیر کاهش تعرق و افزایش تبخیر به هم می‌توان نتیجه گرفت که در شرایط تنش شوری هر سهمی از تعرق گیاه که کاهش یافته است، تقریباً به میزان همان سهم به تبخیر از سطح خاک افزوده شده است. این نتیجه‌گیری نشان می‌دهد که در شرایط تنش شوری، افزایش سهم تلفات تبخیر نسبت به شرایط پتانسیل منطقه وجود خواهد داشت که این دستاورد مهمی است. از سوی دیگر اگر نسبت تعرق به تبخیر-تعرق ذرت (T/ET) را بتوان به‌عنوان راندمان مصرف آب توسط گیاه در نظر گرفت، نتایج این بخش از پژوهش نشان‌دهنده کاهش راندمان مصرف آب توسط گیاه و افزایش راندمان تبخیر در شرایط تنش شوری است. در این شرایط (تنش شوری) توصیه می‌شود ضمن تلاش برای حذف یا کاهش اثر تبخیر (از طریق کاربرد انواع خاک‌پوش)، نیاز آبی گیاه نه بر اساس مقدار تبخیر-تعرق بلکه با توجه به مقدار واقعی تعرق گیاه محاسبه شود. برای این منظور می‌توان به‌جای کاربرد ضریب تنش تبخیر-تعرق (K_s) در برآورد تبخیر-تعرق واقعی ذرت، از ضریب تنش

تعرق (K_{s-T}) در شرایط تنش شوری استفاده کرد. به‌این‌ترتیب ضمن مصرف آب مطابق نیاز واقعی تعرق گیاه، از تلفات آب آبیاری و شور شدن خاک جلوگیری به عمل می‌آید. به‌طور مشابه در منطقه باجگاه شیراز پژوهشی بر روی ذرت تحت سطوح شوری آب شامل (S_1) ۰/۶، (S_2) ۲ و (S_3) ۴ دسی‌زیمنس بر متر انجام شد. مقادیر تبخیر-تعرق، تعرق و تبخیر در کل دوره رشد ذرت به ترتیب برابر با ۷۶۱، ۵۷۸ و ۱۸۳ میلی‌متر (تیمار S_1)، ۷۶۰، ۵۴۷ و ۲۱۳ میلی‌متر (تیمار S_2) و ۷۵۴، ۵۱۰ و ۲۴۴ میلی‌متر (تیمار S_3) گزارش شد. نتایج نشان داد که در تیمارهای S_1 ، S_2 و S_3 سهم تعرق گیاه به ترتیب ۷۶، ۷۲ و ۶۸ درصد و سهم تبخیر از سطح خاک به ترتیب ۲۴، ۲۸ و ۳۲ درصد برآورد شد (عزیزیان و سپاسخواه، ۲۰۱۴). نتایج پژوهش مذکور نشان داد که در شرایط تنش شوری، از سهم تعرق گیاه کاسته شده و بر سهم تبخیر از سطح خاک افزوده می‌شود و تأییدی بر نتایج پژوهش کنونی بود. البته در شرایط تنش شوری به‌واسطه کاهش پتانسیل آب خاک، نوعی خشکی فیزیولوژیک و شرایطی مشابه تنش آبی در محیط ریشه گیاه ایجاد می‌شود (مانز و تِستِر، ۲۰۰۸). از این‌رو در پژوهشی در منطقه قزوین، اثر چهار سطح آبیاری شامل (I_0) ۱۰۰، (I_1) ۸۰، (I_2) ۶۰ و (I_3) ۴۰ درصد نیاز آبی گیاه بر روی اجزاء تبخیر-تعرق ذرت بررسی شد. نتایج نشان داد سهم تعرق و تبخیر در پارامتر تبخیر-تعرق ذرت، به ترتیب برابر با ۶۳ و ۳۷ درصد (در تیمار I_0)، ۶۰/۵ و ۳۹/۵ درصد (در تیمار I_1)، ۵۴ و ۴۶ درصد (در تیمار I_2) و ۴۱ و ۵۹ درصد (در تیمار I_3) بوده است (سعیدی، ۱۴۰۰). در پژوهشی در دشت‌های آمریکا، اثر شش سطح آبیاری شامل ۱۰۰، ۸۵، ۷۵، ۷۰، ۵۵ و ۴۰ درصد نیاز آبی گیاه، بر روی ذرت انجام شد. مقادیر تبخیر از سطح خاک، تعرق و تبخیر-تعرق ذرت در سال ۲۰۱۱، به ترتیب ۷۹، ۵۳۱ و ۶۱۰ میلی‌متر (در سطح آبیاری کامل) و ۹۴، ۲۵۴ و ۳۴۸ میلی‌متر (در سطح آبیاری ۴۰ درصد) برآورد شد. نتایج نشان داد اثر تنش آبی باعث کاهش سهم تعرق گیاه از ۸۷ به ۷۳ درصد و افزایش سهم تبخیر از ۱۳ به ۲۷ درصد شده بود (تروت و دیجانگ،

کاهش تعرق گیاه و افزایش تبخیر از سطح خاک شده است و از این رو با نتایج پژوهش حاضر مطابقت داشت.

نتایج دو پژوهش مذکور نشان داد که افزایش تنش آبی به عنوان یک تنش محیطی (مانند تنش شوری) باعث



شکل ۴- سهم اجزاء تبخیر و تعرق نسبت به افزایش مقدار شوری آب در مراحل رشد ذرت

بزرگتر از یک شده است. البته شیب کاهش تبخیر-تعرق نسبی و تعرق نسبی در شرایط تنش شوری باهم برابر نبوده و به ازای هر یک دسی زیمنس بر متر افزایش شوری آب، به ترتیب مقدار $4/7$ و $11/1$ درصد کاهش داشته‌اند (شکل ۵). به‌طور مشابه در پژوهشی گزارش شد که به ازای هر یک دسی زیمنس بر متر افزایش شوری آب، مقدار $4/5$ درصد از تبخیر-تعرق نسبی ذرت در منطقه قزوین کاسته شده است (سعیدی و همکاران، ۲۰۲۱)؛ بنابراین نتایج پژوهش حاضر به نتایج پژوهش‌های گذشته نزدیک بود. در پژوهش مشابه دیگر بر روی ذرت، از سطح آبیاری I_0 (آبیاری کامل) تا I_3 (آبیاری در حد ۴۰ درصد نیاز آبی گیاه)، ضرایب تنش‌های تبخیر-تعرق، تعرق و تبخیر به ترتیب در بازه‌ی ۱-۰/۷۱، ۱-۰/۴۷ و ۱-۱/۱۳ قرار داشت (سعیدی، ۱۴۰۰ b). از سوی دیگر شکل (۶) نشان داد که جزء تعرق نسبی گیاه در شرایط تنش شوری، در همه مراحل رشد به یک نسبت کاهش نمی‌یابد. فقط در مرحله پایانی رشد (P_3) نرخ کاهش تبخیر-تعرق نسبی و تعرق نسبی باهم برابر بوده است. دلیل نتایج مذکور این بود که به علت کم بودن میزان تعرق گیاه در زمان رسیدگی و آغاز پلاسیدگی آن، دیگر تنش شوری تأثیر قابل توجهی بر کاهش سهم تعرق (نسبت

ضرایب تنش شوری

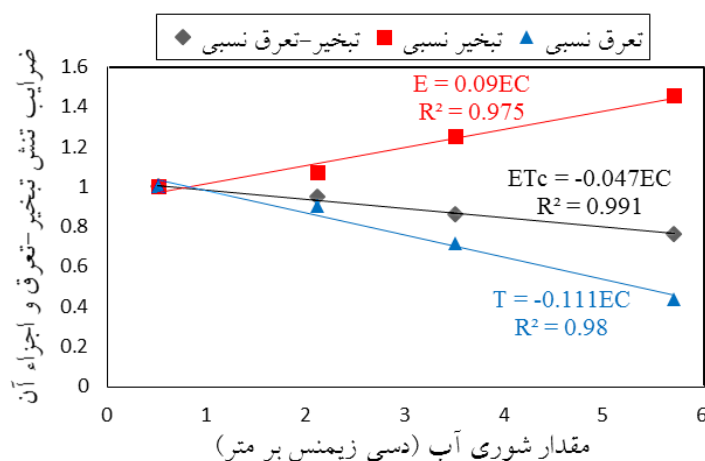
در این بخش از پژوهش، ضرایب تنش شوری مؤثر بر تبخیر-تعرق (K_s)، تعرق (K_{s-T}) و تبخیر (K_{s-E}) در کل دوره رشد ذرت محاسبه و در جدول (۵) ارائه شد. از تیمار S_0 تا S_3 ، مقادیر ضرایب فوق به ترتیب در بازه ۱-۰/۷۶، ۱-۰/۴۳ و ۱-۱/۴۵ قرار داشت. در پژوهشی گزارش شد که با کاهش کیفیت آب آبیاری از طریق افزایش شوری از $0/5$ به $7/5$ دسی زیمنس بر متر، مقدار ضریب تنش تبخیر-تعرق ذرت از عدد یک به $0/69$ کاهش یافت (لاکردا و همکاران، ۲۰۱۶). از سوی دیگر، ضرایب مذکور به ترتیب برابر با تبخیر-تعرق نسبی، تعرق نسبی و تبخیر نسبی بوده که برای شرایط تنش شوری، نشان‌دهنده مقدار پارامتر مدنظر نسبت به شرایط استاندارد منطقه است. به بیان دیگر با استفاده از نتایج این پژوهش می‌توان برای مقادیر مختلف شوری آب آبیاری، مقادیر واقعی تبخیر-تعرق، تعرق و تبخیر را نسبت به شرایط استاندارد منطقه برآورد نمود. بر اساس داده‌های جدول (۵) مقدار ضرایب تنش در تیمار تحت کنترل (S_0) برابر با عدد یک است؛ اما با افزایش تنش شوری، مقدار ضریب تنش برای پارامترهای تبخیر-تعرق و تعرق کوچک‌تر از یک و برای جزء تبخیر،

به تبخیر-تعرق) در مرحله پایانی رشد نداشته است؛ اما به ترتیب در مراحل رشد میانی (P_2)، توسعه (P_1) و اولیه (P_0)، تعرق نسبی در برابر تبخیر-تعرق نسبی، کاهش بیشتری از خود نشان داده است. دلیل آن، حساسیت متفاوت تعرق گیاه به تنش شوری در مراحل مختلف رشد می‌تواند باشد؛ یعنی در هر مرحله‌ای از رشد که حساسیت تعرق گیاه به تنش شوری بیشتر بوده است، تعرق نسبی گیاه مقدار کم‌تری نسبت به تبخیر-تعرق نسبی داشته است. از این‌روست که در شکل (۶)، نمودارهای دو مرحله رشد P_1 و P_2 پایین‌تر از نمودار مرحله P_0 مشاهده می‌شود. به‌طوری‌که در مرحله میانی رشد (که بیشترین کاهش تعرق نسبی در شکل (۶) مشاهده شد)، به علت وجود مراحل حساس رشد مانند گلدهی، گرده‌افشانی و بلال دهی ذرت، تنش شوری بیشترین اثر خود را در کاهش تعرق نسبی گیاه

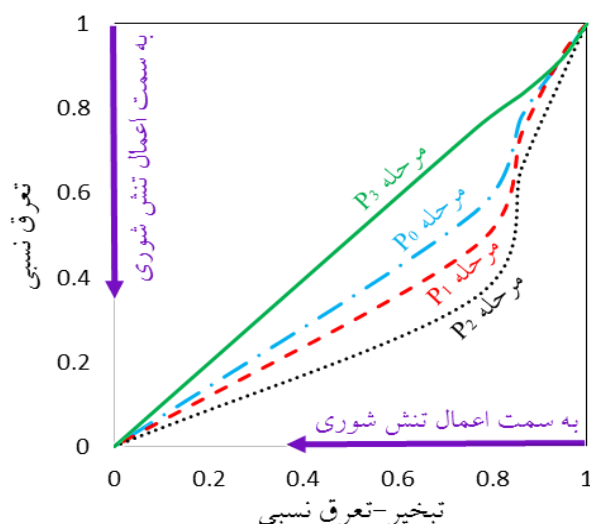
داشته است. در پژوهشی مشابه بر روی ذرت نیز گزارش شد که اعمال تنش‌های شوری و خشکی در مراحل میانی و پایانی رشد ذرت، به ترتیب بیشترین و کمترین تأثیر را بر کاهش تبخیر-تعرق گیاه داشت. علت این بود که در مرحله میانی رشد به دلیل آغاز تشکیل بلال، حساسیت تعرق گیاه ذرت بیشتر بود و در مرحله پایانی رشد نیز به دلیل رسیدگی محصول و تکمیل دوره رشد، حساسیت تعرق گیاه ذرت کمتر بود (سعیدی، ۱۴۰۰ a). نتیجه کلی در این بخش از پژوهش این بود که با در نظر گرفتن سهم تعرق گیاه در شرایط استاندارد (T/ET) و اعمال ضریب تنش تعرق (K_{S-T}) در آن، امکان برآورد دقیق‌تر نیاز آبی گیاه در شرایط غیراستاندارد محیطی (مانند وجود تنش شوری) فراهم می‌شود.

جدول ۵- ضرایب تنش تبخیر (K_{S-E})، تعرق (K_{S-T}) و تبخیر-تعرق (K_S) گیاه در شرایط تنش شوری

تیمار S_0	تیمار S_1	تیمار S_2	تیمار S_3	
۱	۰/۹۵	۰/۸۶	۰/۷۶	ضریب K_S
۱	۰/۹	۰/۷۱	۰/۴۳	ضریب K_{S-T}
۱	۱/۰۷	۱/۱۷	۱/۴۵	ضریب K_{S-E}



شکل ۵- تغییرات ضرایب تنش نسبت به افزایش مقدار شوری آب آبیاری



شکل ۶- اثر حساسیت مرحله رشد بر تغیر نسبی ذرت (نسبت به تنش شوری)

عملکرد ماده خشک گیاهی

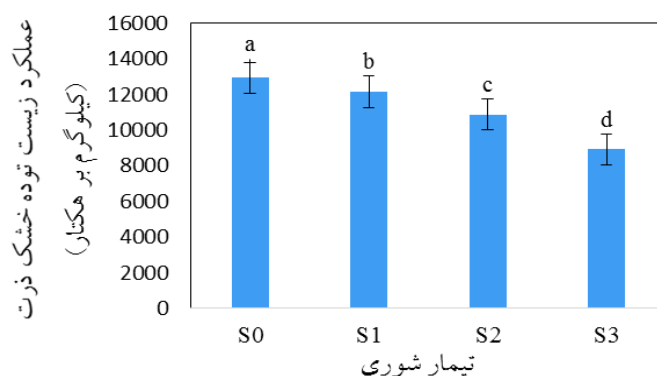
در پایان فصل کشت، عملکرد زیست توده خشک گیاه ذرت در همه تیمارها اندازه گیری شد و در جدول (۶)، اثر تنش شوری آب بر روی عملکرد بررسی شد. بر اساس نتایج جدول (۳)، تأثیر تنش شوری آب آبیاری بر مقدار عملکرد زیست توده خشک ذرت، در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود. مقدار عملکرد خشک در تیمارهای S_0 ، S_1 ، S_2 و S_3 به ترتیب برابر با ۱۲۹۴۲، ۱۲۱۶۸، ۱۰۸۷۲ و ۸۹۲۸ کیلوگرم بر هکتار اندازه گیری شد. شکل (۷) نیز نشان داد که میانگین عملکرد در تیمارهای مختلف دارای هم پوشانی نبوده و در چهار سطح مختلف قرار داشته است. کاهش پتانسیل آب خاک در شرایط اعمال تنش شوری باعث کاهش جذب آب و تغیر توسط گیاه شد. همچنین

وجود عناصری مانند سدیم و کلر در آب شور، اثری سمی بر روی گیاه داشت و همین دلایل موجب کاهش تولید اندام های گیاهی و عملکرد محصول ذرت شد. در پژوهش های گذشته نیز گزارش شد که تنش شوری باعث کاهش رشد برگ و کاهش انرژی لازم برای فتوسنتز گیاه شد. در نتیجه از تشکیل اندام گیاهی، رشد محصول و مصرف آب توسط گیاه کاسته شد (شین و همکاران، ۲۰۱۶). در پژوهشی در منطقه اهواز نیز گزارش شد که افزایش شوری آب آبیاری از ۲ به ۷ دسی زیمنس بر متر باعث کاهش عملکرد دانه ذرت از ۶/۳ به ۲/۶ تن بر هکتار شد (حیدری نیا و همکاران، ۱۳۹۶). به این ترتیب نتایج پژوهش های گذشته نیز تأیید کرد که تنش شوری آب باعث کاهش عملکرد محصول ذرت شده است.

جدول ۶- تجزیه واریانس صفت عملکرد خشک ذرت

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات
تکرار	۲	$17/5 \times 10^{-3}$ ns
تنش شوری	۳	9238×10^{-3} **
خطا	۶	$7/5 \times 10^{-3}$
ضریب تغییرات (%)		۱۵/۶

ns و **: به این ترتیب عدم تفاوت معنی دار و تفاوت معنی دار در سطح احتمال یک درصد



شکل ۷- عملکرد زیست توده خشک ذرت در تیمارهای مختلف

نتیجه گیری

در پژوهش حاضر سهم اجزاء تبخیر و تعرق گیاه ذرت در مراحل مختلف رشد بررسی شد. بیشترین تا کمترین مقدار تجمعی تبخیر-تعرق و تعرق گیاه به این ترتیب متعلق به مراحل توسعه، میانی، اولیه و پایانی رشد بود و برای جزء تبخیر، مربوط به مراحل اولیه، توسعه، میانی و پایانی رشد بود. شکل کلی منحنی ضریب گیاهی KC، پوشش کم سطح زمین در ابتدای دوره رشد و کاهش تعرق گیاه پس از رسیدگی بیولوژیک، از علل نتایج فوق بوده است؛ اما اعمال تنش شوری از طریق افزایش شوری آب آبیاری نیز تأثیر متفاوتی بر واکنش اجزاء تبخیر-تعرق داشت. در شرایط تنش شوری، رفتار جزء تعرق گیاه هم‌سو با پارامتر تبخیر-تعرق و هر دو به صورت کاهشی بود. در حالی که در شرایط اعمال تنش شوری، واکنش جزء تبخیر از سطح خاک (در پارامتر تبخیر-تعرق)، به صورت افزایشی بود. اثر غالب تنش شوری بر تعرق گیاه ذرت، در مراحل رشد توسعه و میانی و اثر غالب تبخیر در مرحله اولیه رشد بوده است. با افزایش شوری آب آبیاری در مراحل اولیه، توسعه، میانی و پایانی رشد، سهم تعرق (نسبت به کل تبخیر-تعرق) به ترتیب ۱/۲، ۱۳/۷، ۱۴/۲ و نزدیک به صفر درصد کاهش و سهم تبخیر به ترتیب ۹/۸، ۹/۱، ۸/۹ و ۱/۳ درصد (نسبت به کل تبخیر-تعرق) افزایش داشت. نتایج

نشان داد در شرایطی که تنش شوری مانع از جذب آب توسط گیاه بوده است، آب باقی مانده در خاک (سهم تعرق) صرف تبخیر شده است؛ بنابراین در فضای رقابتی بین اجزاء تبخیر و تعرق گیاه (برای اختصاص آب به خود)، کاهش مقدار تعرق گیاه (در اثر تنش شوری)، باعث شد که سهمی بیش از شرایط استاندارد به جزء تبخیر اختصاص یابد. از این رو تنش شوری موجب کاهش راندمان مصرف آب توسط گیاه و افزایش سهم تبخیر از سطح خاک شد. در نتیجه مقدار عملکرد زیست توده خشک ذرت در تیمارهای شوری آب، در سطح معنی دار یک درصد کاهش یافت. به طور کلی نتایج پژوهش حاضر نشان داد که در شرایط تنش شوری، تعرق گیاه نسبت به تبخیر-تعرق آن با شیب بیشتری کاهش می یابد. در این شرایط توصیه می شود ضمن تلاش برای حذف یا کاهش اثر تبخیر (از طریق کاربرد انواع خاک پوش)، نیاز آبی گیاه بر اساس مقدار واقعی تعرق گیاه محاسبه شود. به این صورت که با در نظر گرفتن سهم تعرق گیاه در شرایط استاندارد (T/ET) و اعمال ضریب تنش تعرق (K_{s-T}) در آن، امکان برآورد دقیق تر نیاز آبی گیاه در شرایط غیر استاندارد محیطی (مانند وجود تنش شوری) فراهم می شود. در نتیجه ضمن مصرف آب مطابق نیاز واقعی تعرق گیاه، از تلفات آب آبیاری و شور شدن خاک جلوگیری به عمل می آید.

فهرست منابع

۱. حسن‌لی، م. افراسیاب، پ. و ح. ابراهیمیان. ۱۳۹۴. ارزیابی مدل‌های AquaCrop و SALTMed در تخمین عملکرد محصول ذرت و شوری خاک. مجله تحقیقات آب و خاک ایران. ۴۶(۳): ۴۸۷-۴۹۸.
۲. حیدری‌نیا، م. ناصری، ع. برومندنسب، س. و م. الباجی. ۱۳۹۶. تأثیر آبیاری با آب شور بر تبخیر و تعرق و کارایی مصرف آب ذرت در مدیریت‌های مختلف زراعی. مجله علوم و مهندسی آبیاری. ۴۰(۱/۱): ۹۹-۱۱۰.
۳. دهقانی سانچ، ح. کنعانی، ا. و س. اخوان. ۱۳۹۶. ارزیابی تبخیر-تعرق ذرت و اجزای آن و ارتباط آن‌ها با شاخص سطح برگ در سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی. مجله آب و خاک. ۳۱(۶): ۱۵۴۹-۱۵۶۰.
۴. سعیدی، ر. ۱۴۰۰ a. اثر تنش خشکی و شوری در برآورد عملکرد ذرت علوفه‌ای از طریق تبخیر-تعرق دوره‌ای، با استفاده از مدل‌های مختلف. مجله پژوهش آب در کشاورزی. ۳۵(۲): ۱۰۷-۱۲۲.
۵. سعیدی، ر. ۱۴۰۰ b. جداسازی تبخیر و تعرق در کشت ذرت و بررسی پاسخ آن‌ها به سطوح مختلف آبیاری. مجله تحقیقات آب و خاک ایران. ۵۲(۵): ۱۲۶۳-۱۲۷۳.
۶. سعیدی، ر. و ع. ستوده‌نیا. ۱۴۰۰. واکنش عملکرد به تبخیر-تعرق ذرت، تحت تأثیر تنش آبی در مراحل مختلف رشد (در دشت قزوین). مجله تحقیقات آب و خاک ایران. ۵۲(۳): ۶۱۱-۶۲۰.
۷. سعیدی، ر. رمضان‌اعتدالی، ه. ستوده‌نیا، ع. نظری، ب. و ع. کاورانی. ۱۳۹۹. مدیریت مصرف آب شور و کود نیتروژن در کشت ذرت. مجله آب و خاک. ۳۴(۴): ۸۶۱-۸۷۷.
۸. سعیدی، ر. رمضان‌اعتدالی، ه. ستوده‌نیا، ع. کاورانی، ع. و ب. نظری. ۱۳۹۷ a. تعیین روابط بین عملکرد و تبخیر-تعرق ذرت علوفه‌ای، در شرایط تنش شوری و محدودیت نیتروژن. مجله پژوهش آب در کشاورزی. ۳۲(۳): ۳۵۱-۳۶۶.
۹. سعیدی، ر. ستوده‌نیا، ع. رمضان‌اعتدالی، ه. کاورانی، ع. و ب. نظری. ۱۳۹۷ b. مطالعه تأثیر تنش‌های شوری آب و حاصلخیزی خاک، بر تبخیر و تعرق ذرت علوفه‌ای. مجله تحقیقات آب و خاک ایران. ۴۹(۴): ۹۴۵-۹۵۴.
۱۰. میرزایی الموتی، ل. و ه. رمضان‌اعتدالی. ۱۳۹۶. بررسی اثر مدیریت‌های مختلف آبیاری بر سهم مجزا تبخیر و تعرق با استفاده از مدل AquaCrop. چهاردهمین همایش ملی آبیاری و کاهش تبخیر. ۳ الی ۴ آبان ماه، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان.
11. Allen, R. G. Pereira, L. S. Raes, D. and M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO irrigation and drainage paper No.56, 1-326.
12. Azizian, A. and A. R. Sepaskhah. 2014. Maize response to water, salinity and nitrogen levels: yield-water relation, water-use efficiency and water uptake reduction function. Journal of plant production. 8(2): 183- 214.
13. Doorenbos, J. and W. O. Pruitt. 1977. Guidelines for predicting crop water requirements, Food and agriculture organization (FAO) of the United Nations, Irrigation and drainage paper No. 24. Rome, Italy.
14. Farooq, M. Hussain, M. Wakeel, A. and Kadambot, H. M. 2015. Salt stress in maize: effects, resistance mechanisms, and management. Institute national de la recherche agronomiques (INRA). 35: 461-481.
15. Ferreira, M. I. Silvestre, J. Conceic, N. and A. C. Malheiro. 2012. Crop and stress coefficients in rain fed and deficit irrigation vineyards using sap flow techniques. Journal of irrigation science. 30: 433-447
16. Gimenez, L. Petillo, M. G. Paredes, P. and L. S. Pereira. 2016. Predicting maize transpiration, water use and productivity for developing improved supplemental irrigation

- schedules in western Uruguay to cope with climate variability. *Journal of water*. 8(309): 1-22.
17. Guo, T. Liu, C. Xiang, Y. Zhang, P. and R. Wang. 2021. Simulations of the soil evaporation and crop transpiration beneath a maize crop canopy in a humid area. *Journal of water*. 13(14): 1-13.
18. Lacerda, C. F. Ferreira, J. F. S. Liu, X. and D. L. Suarez. 2016. Evapotranspiration as a criterion to estimate nitrogen requirement of maize under salt stress. *Journal of agronomy and crop science*. 202 (2016): 192-202.
19. Munns, R. and M. Tester. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Journal of plant biology*. 59: 651-681.
20. Saeidi, R. Ramezani Etedali, H. Sotoodenia, A. Kaviani, A. and B. Nazari. 2021. Salinity and fertility stresses modifies K_s and readily available water coefficients in maize (Case study: Qazvin region). *Journal of irrigation science*. 39: 299- 313.
21. Trout, T. J. and K. C. Dejonge .2017. Water productivity of maize in the US high plains. *Journal of irrigation science*. 35: 251–266.
22. Xiao, X. Sauer, T. J. Singer, J. W. Horton, R. Ren, T. and J. L. Heitman. 2016. Partitioning evaporation and transpiration in a maize field using heat-pulse sensors for evaporation measurement. *Journal of American society of agricultural and biological engineers*. 59(2): 591- 599.
23. Xin, H. Peiling, Y. Shumei, R. Yankai L. Guangyu, J. and L. Lianhao. 2016. Quantitative response of oil sunflower yield to evapotranspiration and soil salinity with saline water irrigation. *Journal of Agriculture and Biology Engineering*. 9(2): 63-73.
24. Zhou, S. Liu, W. and W. Lin. 2017. The ratio of transpiration to evapotranspiration in a rain fed maize field on the Loess Plateau of China. *Journal of water science and technology*. 17(1): 221-228.

تأثیر محل کارگذاری مالچ پلاستیکی در آبیاری جویچه‌ای بر بهره‌وری آب ذرت علوفه‌ای

علی پهلوانی، حامد ابراهیمیان^۱ و فریبرز عباسی

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

ali.pahlevani@ut.ac.ir

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

ebrahimian@ut.ac.ir

استاد پژوهش مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

fariborzabbasi@ymail.com

دریافت: مهر ۱۴۰۰ و پذیرش: اسفند ۱۴۰۰

چکیده

سامانه‌های آبیاری سطحی به‌صورت گسترده‌ای در مناطق مختلف دنیا به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک استفاده می‌شود، اما، مدیریت نامناسب آن‌ها منجر به تلفات زیاد آب و کاهش بهره‌وری آب شده است. هدف این پژوهش بررسی تأثیر محل استقرار مالچ پلاستیکی در آبیاری جویچه‌ای روی توزیع و حفظ رطوبت خاک و بهره‌وری آب در تولید ذرت علوفه‌ای بود. آزمایش در مزرعه‌ای در سال ۱۳۹۷ در کرج انجام شد. چهار تیمار مختلف از نظر محل استقرار مالچ در سطح خاک شامل مالچ روی پشته (R)، مالچ کف جویچه (F)، مالچ روی پشته و کف جویچه (FR) و تیمار بدون مالچ یا شاهد (C) در نظر گرفته شد. نمونه‌برداری از خاک به‌منظور اندازه‌گیری مقدار رطوبت یک روز قبل و سه روز پس از آبیاری با دور پنج روز و در تاریخ‌های مشخص به ترتیب در مراحل هشت برگی، ساقه رفتن و سنبله زدن از چهار نقطه (از اعماق ۲۵-۵۰ سانتی‌متری از زیر پشته‌ها و جویچه‌ها) برای همه تیمارها انجام شد. میانگین درصد رطوبت حجمی خاک در طول فصل رشد به ترتیب برابر با ۲۴/۸، ۲۳/۸، ۱۸/۰ و ۱۷/۱ برای تیمارهای FR، F، R و C بود. نتایج نشان داد که مالچ پلاستیکی با کاهش تبخیر از سطح خاک تأثیر بسزایی روی حفظ رطوبت خاک داشت و تیمارهایی که دارای مالچ پلاستیکی در کف جویچه بودند (FR و F) دارای بالاترین مقدار رطوبت خاک در مقایسه با دیگر تیمارها بودند. بهره‌وری آب بر اساس ماده خشک تولیدی برای تیمارهای FR، F، R و C به ترتیب برابر با ۴/۵، ۴/۴، ۳/۶ و ۳/۰ کیلوگرم بر مترمکعب و بر اساس وزن تر ماده تولیدی برای تیمارهای FR، F، R و C به ترتیب برابر با ۷/۶، ۷/۴، ۵/۷ و ۴/۷ کیلوگرم بر مترمکعب بدست آمد. بر پایه نتایج، استفاده از مالچ پلاستیکی در کف جویچه برای کاهش تلفات آب و افزایش بهره‌وری آب در آبیاری جویچه‌ای توصیه می‌شود. همچنین پیشنهاد می‌شود با توجه به نقش مالچ در حفظ رطوبت خاک در صورت استفاده از مالچ می‌توان از تکنیک کم آبیاری نیز بهره برد. بررسی جنبه‌های اقتصادی کاربرد مالچ هم در تحقیقات بعدی باید مورد توجه باشد.

واژه‌های کلیدی: توزیع رطوبت خاک، خاکپوش پلاستیکی، تبخیر از خاک

^۱ -آدرس نویسنده مسئول: گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.

مقدمه

آب مهم‌ترین عامل محدودکننده تولید محصولات زراعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا است. ایران با متوسط بارندگی سالانه حدود ۲۴۰ میلی‌متر دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک است. براساس گزارش‌ها حدود ۷۰ درصد منابع آبی موجود در کشور در بخش کشاورزی مصرف می‌شود (ناصری و همکاران، ۱۳۹۶). آبیاری سطحی یا ثقلی یکی از روش‌های آبیاری است که در آن عمل انتقال آب از منبع آب تا پای گیاه از طریق نیروی ثقل صورت می‌گیرد. این روش با قدمتی چند هزار ساله امروزه نیز رایج‌ترین روش آبیاری است به‌گونه‌ای که بخش عمده ای از اراضی کشور تحت پوشش آبیاری سطحی می‌باشد. آبیاری سطحی اگر به‌درستی طراحی و اجرا شود، به دلیل عدم نیاز به تجهیزات پیشرفته و پیچیده برای زارعین یکی از بهترین روش‌ها محسوب می‌شود. متأسفانه معمولاً به طراحی بهینه و اجرای صحیح و مدیریت آبیاری کمتر توجه شده است به‌طوری‌که بازده آبیاری سطحی در کشور حدود ۴۴ درصد گزارش شده است (عباسی و همکاران، ۱۳۹۵). طراحی و اجرای نامناسب، مدیریت ضعیف و استفاده از روش‌های سنتی آبیاری از جمله عواملی هستند که به تلفات زیاد آب در بخش کشاورزی منجر شده است (عباسی، ۱۳۹۱). با توجه به افزایش سطح کشت آبی، یکی از برنامه‌های اولویت‌دار برای منابع آب کشور، معطوف به تغییر شیوه و اصلاح و بهبود روش‌های آبیاری موجود و ارتقای بهره‌وری آب آبیاری است. استفاده از مالچ پلاستیکی در آبیاری جویچه‌ای برای طیف وسیعی از گونه‌های گیاهی در بسیاری از مناطق دنیا، به دلایل مختلفی رواج دارد. یکی از این دلایل افزایش درجه حرارت خاک در پشته‌ها نسبت به حالتی که مالچ اجرا نشده باشد سبب جوانه‌زنی زودتر محصولات مختلف می‌شود، از طرفی نیز مالچ پلاستیکی تأثیر بسزایی در افزایش عملکرد محصولاتی چون هندوانه، خربزه، فلفل دلمه‌ای، گوجه‌فرنگی و ذرت می‌گردد (کمنت، ۱۹۹۳). علاوه بر این، مالچ پلاستیکی با جلوگیری از رشد علف‌های هرز و همچنین کاهش تبخیر

از سطح خاک به‌طورکلی سبب تسریع در رسیدن محصول و افزایش عملکرد در بسیاری از گونه‌های گیاهی می‌گردد (کانینگتن و همکاران، ۱۹۷۵؛ یانگ و همکاران، ۲۰۱۸). از طرفی استفاده از مالچ به دلیل کاهش تبخیر سبب کاهش نیاز آبی محصول می‌گردد و شستشوی نمک از طریق آبشویی به دلیل افزایش رطوبت خاک در اثر کاربرد مالچ افزایش می‌یابد (یانگ و همکاران، ۲۰۱۸). با توجه به تحقیقات صورت گرفته، استفاده از مالچ‌ها یکی از راهکارهای جلوگیری از تلفات آب، افزایش بازده آب آبیاری و بهره‌وری آب آبیاری مطرح شده است. مالچ‌ها در انواع مختلف پلاستیکی، آلی (کاه و کلش) و شن و ماسه‌ای بیشتر مرسوم می‌باشند. مالچ‌های شن و ماسه‌ای بیشتر برای درختان که به‌صورت دیم کشت می‌شوند استفاده می‌شود. در رابطه با اثربخشی نوع مالچ‌ها، نتایج نشان داده است که مالچ‌های پلاستیکی اثربخشی بهتری نسبت به مالچ کاه داشته است (کین و همکاران، ۲۰۱۵). علاوه بر این می‌توان به اثر استفاده از مالچ که باعث افزایش تا ۶۰ درصدی کارایی مصرف آب، کارایی مصرف نیتروژن و کمک آن به مسائل زیست‌محیطی اشاره کرد (کین و همکاران، ۲۰۱۵). همچنین مالچ باعث تعدیل درجه حرارت خاک، تأثیر بر میزان عناصر غذایی خاک، کنترل شوری و بهبود ساختمان خاک نیز می‌شود. استفاده هم‌زمان از مالچ پلاستیک روی پشته و جویچه برای کشت هم‌زمان گندم و ذرت علوفه‌ای در چین نیز سبب افزایش ۲۹/۲ تا ۷۰/۵ درصدی در عملکرد محصول به نسبت به حالت بدون استفاده از مالچ شد (لی و همکاران، ۲۰۱۷). کاربرد هم‌زمان مالچ پلاستیکی در روی پشته و کف جویچه در مناطق خشک نیز می‌تواند تا ۲۴ درصد در کاهش آب مصرفی گیاه ذرت و گندم مؤثر باشد (دریانتو ۲۰۱۷). استفاده از مالچ پلاستیکی در آبیاری جویچه‌ای و برای محصول ذرت در مناطقی که آب آبیاری در دسترس عامل محدودکننده باشد به همراه تکنیک آبیاری جویچه‌ای یک در میان، به‌منظور به حداقل رساندن تبخیر از سطح خاک و ماکزیمم نمودن بهره‌وری آب پیشنهاد می‌شود (مسکلو و همکاران، ۲۰۱۸). استفاده از مالچ پلاستیک

عمقی انجام شده است ولی در بیشتر مطالعات محل‌های مختلف استقرار مالچ در آبیاری جویچه‌ای به عنوان یک متغیر مدنظر نبوده و تأثیر اجرای مالچ روی پشته‌ها، کف جویچه‌ها و یا ترکیبی از این دو حالت در حضور یک تیمار شاهد (بدون مالچ) به منظور مقایسه نتایج تلفات آب و توزیع رطوبت خاک کمتر بررسی شده است؛ بنابراین هدف اصلی این تحقیق، بررسی تأثیر استقرار (جانمایی)^۲ مالچ در آبیاری جویچه‌ای بر توزیع رطوبت خاک و عملکرد ذرت علوفه‌ای بود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در مزرعه پژوهشی دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران واقع در کرج با عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۸ دقیقه و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۷ دقیقه شرقی و با ارتفاع ۱۲۹۲/۹ متر از سطح دریا و در سال ۱۳۹۷ انجام شد. کرج دارای آب‌وهوای مدیترانه‌ای است. متوسط بارندگی سالانه برابر با ۲۶۵ میلی-متر، بالاترین و پایین‌ترین دمای هوای روزانه طی فصل کشت به ترتیب برابر با ۴۱/۰ و ۲۷/۰ درجه سانتی‌گراد ثبت شد.

خاک محل انجام تحقیق از نظر خاکشناسی اراضی منطقه در یک واحد فیزیوگرافی ناشی از رسوبات بادبزی رودخانه کرج قرار دارد. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک در سه عمق در جدول ۱ آمده است. خصوصیات خاک شامل فراوانی نسی ذرات، جرم مخصوص ظاهری، رطوبت ظرفیت زراعی، رطوبت نقطه‌ی پژمردگی به ترتیب با استفاده از روش‌های هیدرومتری، سیلندر و دستگاه صفحات فشاری در مکش‌های ۰/۳ بار و ۱۵ بار اندازه‌گیری شد. عمق خاک زراعی در این منطقه به دلیل وجود لایه سنگ‌ریزه در عمق ۶۰ سانتی‌متر محدود است.

در آبیاری قطره‌ای برای محصول ذرت علوفه‌ای نیز سبب کاهش قابل توجه میزان تبخیر از سطح خاک (۴۵/۲ درصد)، افزایش عملکرد محصول به میزان ۱۳/۱-۱۰/۷ درصد و کاهش طول دوره رشد محصول به میزان چهار تا پنج روز گردید (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۸). ممون و همکاران (۲۰۱۸) اثر استفاده از مالچ پلاستیک در کف جویچه را در آبیاری جویچه‌ای روی تلفات نفوذ عمقی آب آبیاری و همچنین عملکرد محصول بامیه مورد بررسی قرار دادند. نتایج ایشان نشان داد که استفاده از مالچ پلاستیکی در کف جویچه سبب افزایش صرفه‌جویی در آب مصرفی به میزان ۵۲/۲ درصد نسبت به حالت بدون استفاده از مالچ شد. از طرفی استفاده از مالچ پلاستیک سبب افزایش چشمگیری در تولید محصول بامیه گردید. پنیگراهی و همکاران (۲۰۱۹) اثر استفاده از مالچ پلاستیک را در سیستم آبیاری جویچه‌ای و سیستم آبیاری قطره‌ای در مقایسه با حالت‌های بدون استفاده از مالچ همین سیستم‌ها با در نظر گرفتن مقادیر مختلف آبیاری (۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی) برای محصول گوجه‌فرنگی مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد استفاده از مالچ پلاستیک به همراه آبیاری قطره‌ای و کاربرد ۱۰۰ درصد نیاز آبی موجب تولید حداکثر محصول شد. وجود مالچ پلاستیکی در سیستم آبیاری جویچه‌ای نیز سبب افزایش محصول گردید. از طرفی در هر تیمار کم آبیاری نیز استفاده از مالچ سبب افزایش محصول تولیدی در مقایسه با حالت بدون استفاده از مالچ شد. ترکیب استفاده از مالچ پلاستیک (چه تیره و چه شفاف) و کم آبیاری روی بهره‌وری آب، دمای خاک و خصوصیات گیاه ذرت در آبیاری قطره‌ای نیز به‌خوبی تأثیر مالچ پلاستیکی را روی افزایش بهره‌وری آب و افزایش عملکرد محصول و دمای خاک نشان داد (آبزی و همکاران، ۲۰۲۰). تاکنون مطالعات مختلفی در رابطه با تأثیر مالچ چه از نوع طبیعی و یا مالچ پلاستیک به‌منظور کاهش تلفات آب از طریق کاهش تبخیر از سطح خاک و همچنین کاهش نفوذ

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

عمق (متر)	بافت خاک	درصد ذرات تشکیل‌دهنده خاک			جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	ظرفیت زراعی (درصد حجمی)	نقطه پژمردگی (درصد حجمی)	اسیدیته خاک	شوری عصاره اشباع خاک (دسی زیمنس بر متر)
		رس	سیلت	شن					
۰-۰/۲	لومی رسی	۲۸	۴۳	۲۹	۱/۳۱	۲۸/۶	۱۰/۹	۷/۶	۱/۲
۰/۲-۰/۴	لومی رسی	۳۱	۴۰	۲۹	۱/۲۵	۲۹/۴	۱۱/۳	۷/۸	۱/۸
۰/۴-۰/۶	لومی رسی	۳۳	۴۶	۲۱	۱/۲۳	۲۹	۹/۵	۷/۷	۱/۹

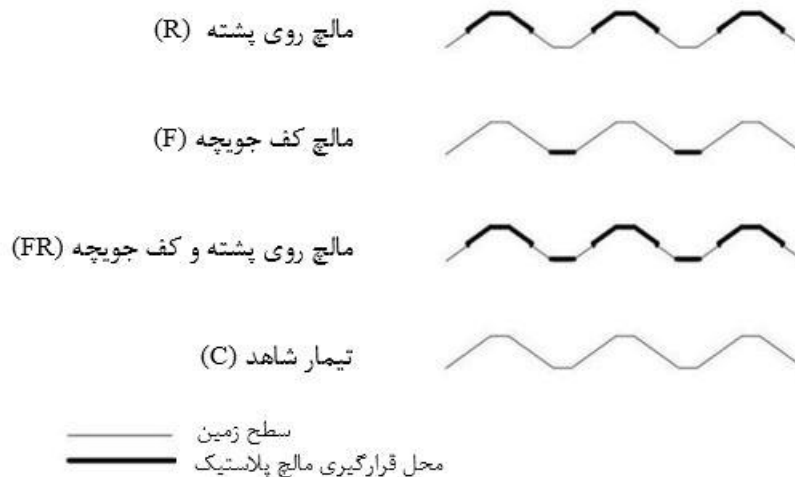
مطالعه مزرعه‌ای برای سیستم آبیاری جویچه‌ای تحت اجرای مالچ پلاستیک برای محصول ذرت علوفه‌ای از نوع رقم سینگل کراس ۷۰۴ انجام شد. تیمارها شامل مالچ روی پشته^۳R، مالچ کف جویچه^۴F، مالچ روی پشته و کف جویچه^۵FR و تیمار شاهد بدون مالچ^۶C بودند که در سه تکرار اجرا شدند. مالچ پلاستیک به‌کاررفته شامل لایه پلاستیکی شفاف دست اول LDPE (پلی‌اتیلن با چگالی پایین) با ضخامت ۲۵ میکرون و عرض ۰/۷۵ متر بود. به‌طورکلی این تیمارها شامل ۱۲ پلات آزمایشی هرکدام به مساحت ۱۵ مترمربع بودند. بذور ذرت در تاریخ ۱۱ تیرماه (تاریخ معمول کشت تابستانه ذرت علوفه‌ای در منطقه مورد مطالعه) ۱۳۹۷ به‌صورت دستی کشت شد. فاصله بوته‌ها از یکدیگر در هر ردیف برابر با ۰/۲ متر بود و با توجه به فاصله پشته‌ها از یکدیگر، ۶۶۶۶۷ عدد بوته در هر هکتار وجود خواهد داشت. کاشت بذر در عمق حدود چهار تا پنج سانتی‌متری از سطح خاک انجام شد. جویچه‌های معمولی انتها بسته با سطح مقطع دوزنقه‌ای به طول چهار متر و فاصله ۰/۷۵ متر در جهت شیب عمومی زمین (تقریباً یک درصد) ایجاد شدند (شکل ۱). دلیل انتخاب طول کوتاه برای جویچه‌ها کنترل بهتر عملیات آبیاری و همچنین اجرای بهتر مالچ پلاستیک در آن‌ها بود. به‌طور متوسط حداکثر عمق، عرض کف، عرض میانی و عرض بالایی جویچه‌های آزمایشی به ترتیب برابر با ۱۲، ۱۰، ۲۵ و ۴۵ سانتی‌متر بودند. شش نمونه‌برداری خاک در طول فصل رشد انجام شد که هر کدام یک روز قبل و سه

روز پس از مراحل مشخص رشد گیاه ذرت (مرحله هفت برگه، گل‌دهی و پرشدن دانه) انجام گرفت (به ترتیب در تاریخ‌های هشت مرداد، ۱۲ مرداد، ۱۰ شهریور، ۱۴ شهریور، ۳۰ شهریور و سه مهر). نمونه‌برداری از خاک در تاریخ‌های مشخص از چهار نقطه (از اعماق ۰-۲۵ و ۵۰-۲۵ سانتی-متری از زیر پشته‌ها و جویچه‌ها) برای همه تیمارها انجام شد. در تیمارهای دارای پوشش، ابتدا توسط کاتر مالچ پلاستیک موجود روی پشته و یا کف جویچه به شکل یک مربعی (به‌اندازه سر آگر نمونه‌برداری) که یکی از اضلاع آن برش داده نشده باشد، برش خورد. سپس آگر نمونه‌برداری در محل قرار گرفت و پس از انجام نمونه‌برداری از اعماق ذکرشده یک قطعه دیگر از همان جنس مالچ پلاستیک در زیر محل برش خورده قرار گرفت و سپس مالچ پلاستیک برش خورده مانند درپوش در روی محل برش خورده برگردانده شد. به‌منظور نمونه‌گیری از وسط هر پلات آزمایشی از جویچه و پشته‌های وسط نمونه‌برداری از دو عمق ۰-۲۵ و ۲۵-۵۰ سانتی‌متری از زیر پشته و جویچه نمونه‌برداری انجام شد؛ یعنی در هر بار نمونه‌برداری از هر تیمار ۱۲ نمونه برداشت شد. در مجموع ۲۸۸ نمونه رطوبتی برداشت گردید. در نمونه‌برداری‌های بعدی، از جویچه و یا پشته‌ای که قبلاً نمونه‌برداری انجام نشده بود (ولی کماکان جزوی از جویچه و پشته‌های اصلی بودند و محافظ به شمار نمی‌آمدند) نمونه‌برداری انجام شد. رطوبت خاک به روش وزنی اندازه‌گیری شد.

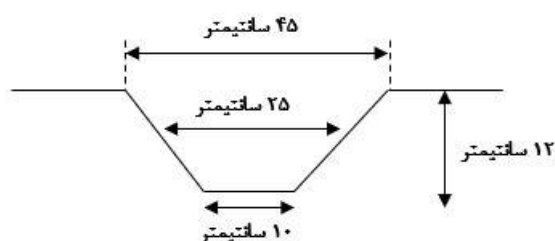
^۵ -Mulch on the Ridges and Furrow bed
^۶ -Control treatment

^۳ -Mulch on the Ridge
^۴ -Mulch on Furrow bed

(الف)



(ب)



شکل ۱- محل قرارگیری مالچ پلاستیکی در تیمارهای مختلف (الف) و ابعاد جویچه‌ها (ب)

علوفه‌ای تعیین و برای دوره‌های مختلف رشد با توجه به اطلاعات هواشناسی (سرعت باد و رطوبت نسبی) و روابط پیشنهادی این نشریه تعدیل شد. اطلاعات مربوط به مقادیر عمق آبیاری و تاریخ هر آبیاری در جدول ۲ نشان داده شده است. مقادیر ضریب گیاهی تعدیل شده برای مراحل رشد ابتدایی، میانی و پایانی محصول به ترتیب برابر با ۰/۳، ۱/۳۳ و ۰/۶۶ بدست آمد.

به منظور اندازه‌گیری آب مورد نیاز برای گیاه ذرت علوفه‌ای، ابتدا اطلاعات هواشناسی روزانه برای محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع از ایستگاه هواشناسی واقع در مزرعه پژوهشی دریافت شد. سپس با استفاده از نرم‌افزار ET₀ Calculator (رائیس، ۲۰۰۹)، مقدار تبخیر و تعرق گیاه مرجع محاسبه شد. به منظور محاسبه تبخیر و تعرق ذرت با توجه به نشریه شماره ۵۶ فائو (آلن و همکاران، ۱۹۹۸)، ضریب گیاهی (Kc) مربوط به ذرت

جدول ۲- مقادیر عمق آب آبیاری محاسبه‌شده (میلی‌متر) و تاریخ وقایع آبیاری در طول فصل رشد

نوبت آبیاری	نیاز آبیاری (میلی‌متر)	تاریخ آبیاری	نوبت آبیاری	نیاز آبیاری (میلی‌متر)	تاریخ آبیاری
۱	۱۹	۱۳۹۷/۰۴/۱۱	۱۱	۳۶	۱۳۹۷/۰۵/۳۱
۲	۱۷	۱۳۹۷/۰۴/۱۶	۱۲	۴۳	۱۳۹۷/۰۶/۰۵
۳	۱۶	۱۳۹۷/۰۴/۲۱	۱۳	۵۷	۱۳۹۷/۰۶/۱۱
۴	۱۸	۱۳۹۷/۰۴/۲۶	۱۴	۴۴	۱۳۹۷/۰۶/۱۵
۵	۱۴	۱۳۹۷/۰۴/۳۱	۱۵	۵۱	۱۳۹۷/۰۶/۲۰
۶	۱۹	۱۳۹۷/۰۵/۰۵	۱۶	۴۸	۱۳۹۷/۰۶/۲۶
۷	۲۲	۱۳۹۷/۰۵/۰۹	۱۷	۳۵	۱۳۹۷/۰۶/۳۱
۸	۳۲	۱۳۹۷/۰۵/۱۶	۱۸	۵۹	۱۳۹۷/۰۷/۰۷
۹	۳۰	۱۳۹۷/۰۵/۲۱	۱۹	۴۰	۱۳۹۷/۰۷/۱۲
۱۰	۳۵	۱۳۹۷/۰۵/۲۶	۲۰	۴۱	۱۳۹۷/۰۷/۱۷

آب موردنیاز برای انجام آزمایش، از یک حلقه چاه عمیق تأمین و به‌وسیله خط لوله از هیدرانت اصلی به یک مخزن با گنجایش حجم ۲۰۰۰ لیتر منتقل شد. این مخزن برای ایجاد ارتفاع ثابت آب دارای سرریز بود تا نوسانات دبی ورودی کاهش یابد. همچنین برای کنترل دقیق میزان کاربرد آب آبیاری از کنتور حجمی پس از مخزن استفاده شد. مقدار کل نیاز آبی محاسبه‌شده ۶۷۶ میلی‌متر بدست آمد و با توجه به بازده آبیاری در نظر گرفته‌شده برای سیستم (۹۰ درصد)، مقدار کل عمق آبیاری برابر با ۷۵۲ میلی‌متر بود.

برداشت ذرت علوفه‌ای که معمولاً برای تهیه سیلو استفاده می‌شود، هنگامی است که دانه‌ها حالت شیری پیدا می‌کنند و ساقه و برگ‌ها هنوز سبز رنگ هستند. در این حالت رطوبت بوته و بلال در حدود ۷۵-۷۰ درصد است که به لحاظ کمی و کیفی محصول، بهترین زمان برداشت ذرت سیلویی است (کاظمی اربط، ۱۳۸۸). با توجه به شرایط ذکرشده، ابتدا ارتفاع گیاه ذرت (از سطح زمین تا انتهای گل نر) در هر پلات آزمایشی در ابتدا، وسط و انتهای

هر پشته اندازه‌گیری شد و سپس برداشت محصول (زیست‌توده) انجام شد (۲۰ مهر). وزن تر بوته ذرت پس از برداشت با ترازوی دقیق ثبت گردیده و بلافاصله به گرم‌خانه برای خشک شدن (در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت سه روز) و محاسبه‌ی وزن خشک منتقل گردید. بهره‌وری آب به دو طریق محاسبه شد. بهره‌وری وزن خشک از نسبت وزن خشک زیست‌توده (کیلوگرم) به حجم آب آبیاری (مترمکعب) و بهره‌وری وزن تر از نسبت وزن تر زیست‌توده به حجم آب آبیاری برای تیمارها تعیین شد. همچنین به‌منظور بررسی اختلاف میانگین داده‌های بدست آمده از این تحقیق از نظر معنی‌داری آن‌ها در سطوح اطمینان یک و پنج درصد از نرم‌افزار SPSS و آزمون آماری دانکن (Duncan) استفاده شد.

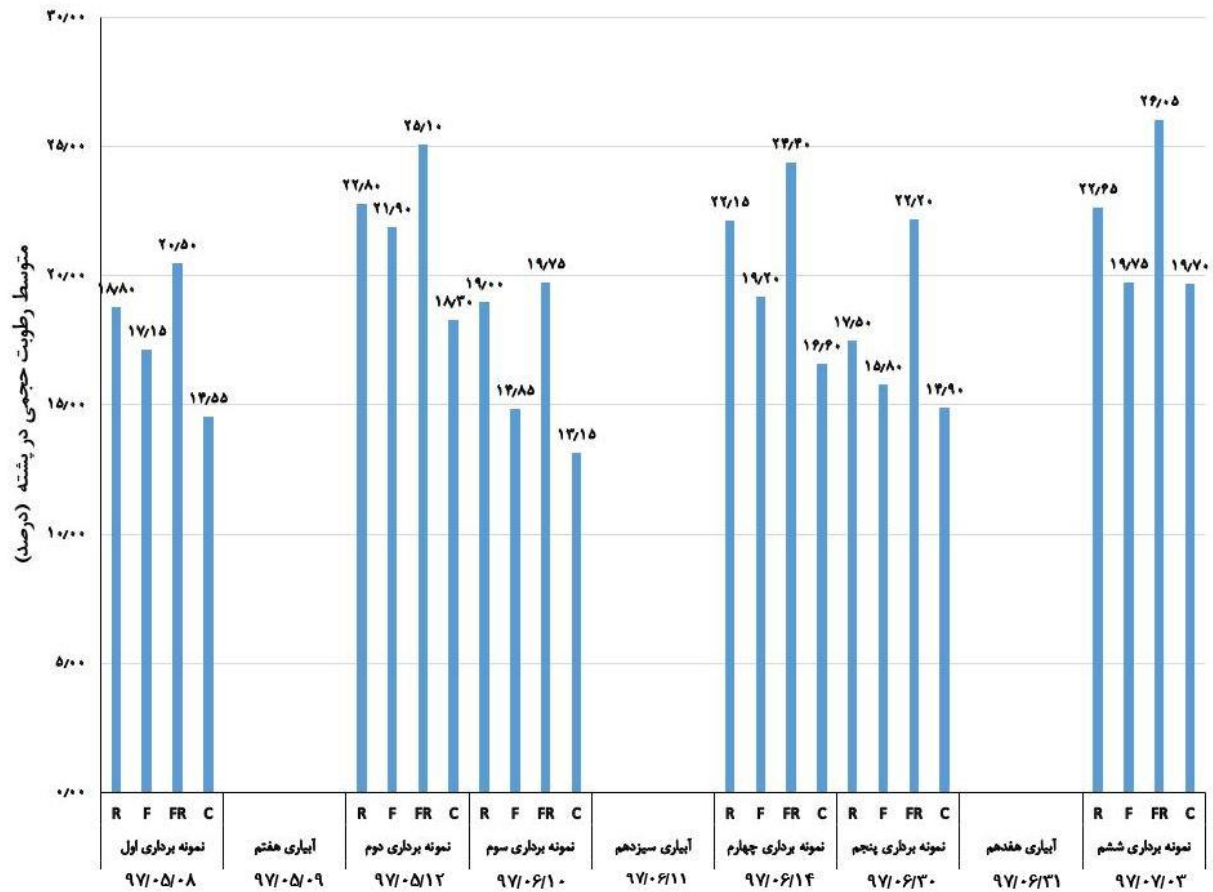
نتایج و بحث

رطوبت خاک در زیر جویچه و پشته

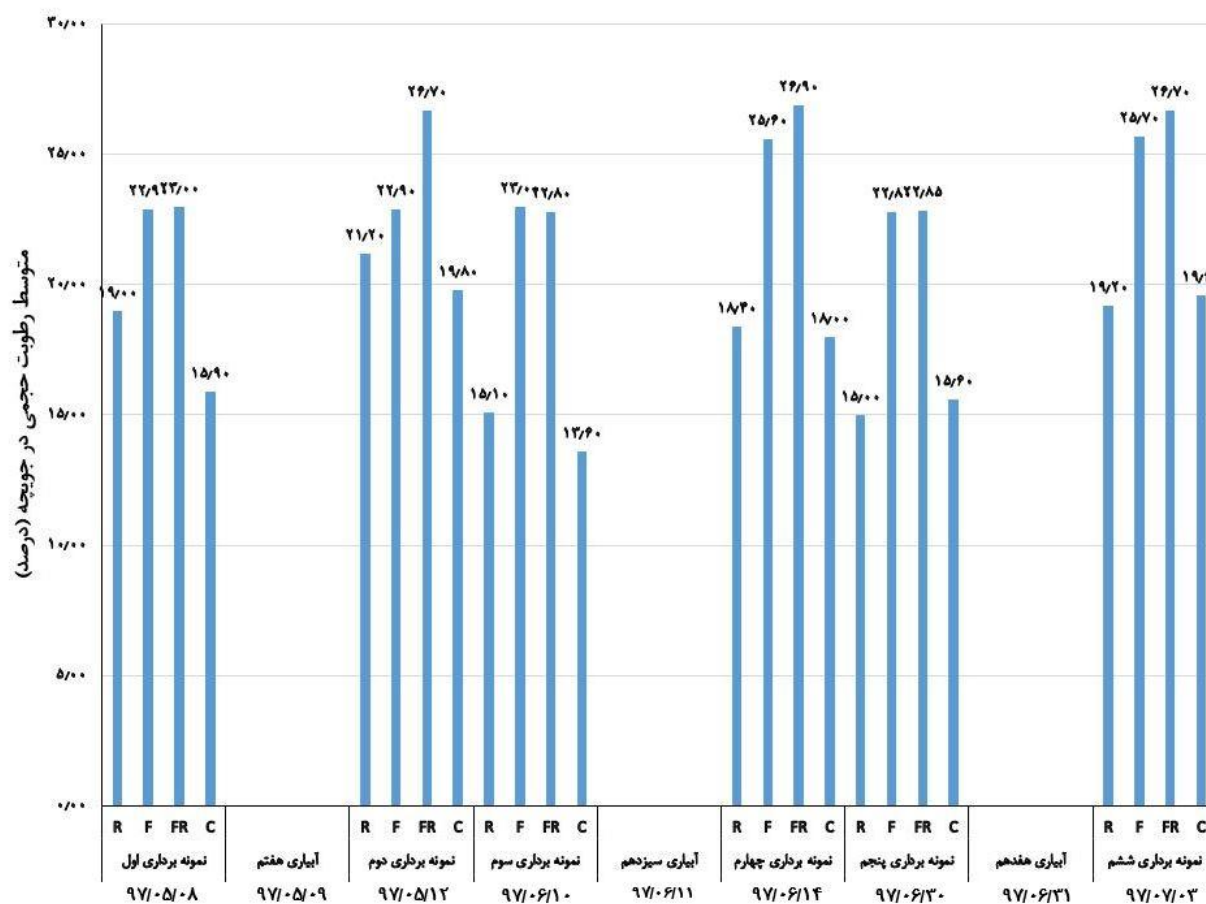
مقادیر متوسط رطوبت زیر پشته و جویچه برای تیمارهای مختلف به ترتیب در شکل‌های ۲ و ۳ نشان

داده شده است. به منظور بررسی جامع تر اثر مالچ در حفظ رطوبت خاک و مقایسه کلی بین تیمارهای مختلف، از مقادیر رطوبت زیر پشته و جویچه نیز میانگین گیری شد. میانگین درصد رطوبت حجمی در منطقه ریشه (زیر پشته و جویچه) در طول فصل رشد به ترتیب برابر با ۲۴/۸، ۲۳/۸، ۱۸/۰ و ۱۷/۱ برای تیمارهای FR، F، R و C بود. همچنین مقادیر میانگین درصد رطوبت حجمی در زیر پشته برابر ۲۳/۰، ۱۸/۱، ۲۰/۵ و ۱۶/۲ و در زیر جویچه برابر ۲۴/۹، ۲۴/۳، ۱۸/۰ و ۱۷/۱ به ترتیب برای تیمارهای FR، F، R و C بدست آمد. با توجه به شکل های ۲ و ۳، نقش مالچ پلاستیکی در حفظ رطوبت خاک در فاصله بین دو آبیاری به خوبی قابل مشاهده است. از نمونه برداری چهارم (۱۴ شهریور) به بعد میزان متوسط رطوبت خاک زیر پشته در تیمارهای دارای مالچ به یکدیگر نزدیک تر می شوند. دلیل این امر می تواند رشد گیاه ذرت و سایه انداختن روی پشته و کاهش تبخیر از این قسمت باشد، به طوری که پس از آبیاری تا نمونه برداری به دلیل ایجاد سایه میزان تبخیر به طور قابل ملاحظه ای کمتر از حالتی است که گیاه در مراحل ابتدایی رشد خود بود. وجود مالچ روی پشته نیز به خصوص در مراحل ابتدایی رشد گیاه که هنوز سطح زمین با گیاه پوشیده نشده است در حفظ رطوبت در زیر پشته ها

نقش مهمی داشت. نتایج نمونه برداری های اول تا سوم به خوبی صحت این امر را بیان می کند. در فاصله بین نمونه برداری های اول تا سوم که گیاه در مراحل ابتدایی رشد خود قرار دارد و سطح سایه انداز آن کوچک است و میزان تبخیر در خاک بدون مالچ بیشتر است تفاوت زیادی در میزان رطوبت خاک زیر پشته ها با تیمار بدون مالچ وجود دارد. این تفاوت در مقدار تبخیر در تیمارهای دارای مالچ و تیمار شاهد، در تیمار F کمتر بود. در تیمارهایی که مالچ در کف جویچه قرار داشته است (تیمارهای FR و F) به طور قابل توجهی میزان رطوبت زیر جویچه بیشتر است. همچنین بازه ی تغییرات رطوبت در این تیمارها بین نمونه برداری ها کوچک تر است. نکته ی دیگری که حائز اهمیت است تفاوت اندک تغییرات رطوبت در زیر جویچه - ها بین تیمارهای C و R است. در تمامی تیمارها میزان رطوبت خاک در روی پشته ها و کف جویچه ها پس از انجام عمل آبیاری افزایش داشت که این میزان افزایش رطوبت در پشته ها بیشتر از کف جویچه ها بود. نتایج حاصل از آزمون آماری دانکن روی داده های رطوبت اندازه گیری شده مشابه هم بدست آمد و نتایج نشان داد که اختلاف میانگین داده های رطوبت بدست آمده بین تمام تیمارها در سطح معنی داری پنج درصد معنادار بود.



شکل ۲- مقایسه متوسط رطوبت حجمی زیر پشته در تیمارهای مختلف در تمام نمونه‌برداری‌ها



شکل ۳- مقایسه متوسط رطوبت حجمی زیر جویچه در تیمارهای مختلف در تمام نمونه برداری ها

عملکرد محصول و بهره‌وری آب

نتایج عملکرد محصول و بهره‌وری آب در تیمارهای مختلف در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج آزمون آماری دانکن روی اطلاعات متوسط وزن خشک و تر محصول تولیدی و همچنین ارتفاع گیاه ذرت تقریباً مشابه یکدیگر بدست آمد. طبق این نتایج در رابطه با وزن تر، بین تمام تیمارها اختلاف معناداری (در سطح اطمینان ۹۵ درصد) وجود دارد. در رابطه با وزن خشک محصول تولیدی بین دو تیمار F و FR اختلاف معناداری وجود ندارد ولی بین دو تیمار ذکر شده و دیگر تیمارها اختلاف

عملکرد محصول معنادار است. با توجه به جدول ۳، وزن تر محصول برای تیمارهای FR، F و R به ترتیب به مقدار ۶۱، ۵۶ و ۲۱ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت اما این افزایش برای وزن خشک محصول به ترتیب برابر با ۴۴، ۴۸ و ۱۹ درصد برای تیمارهای مذکور بود. اختلاف موجود در مقایسه وزن تر و خشک می‌تواند به دلیل وجود آب بیشتر در ساقه تیمارهای دارای مالچ پلاستیک، بخصوص تیمارهایی که دارای مالچ در کف جویچه بودند، باشد. در رابطه با ارتفاع گیاه ذرت در هنگام برداشت بین دو تیمار F و FR اختلاف ارتفاع معناداری مشاهده نشد ولی اختلاف این دو تیمار با دیگر تیمارها معنادار است.

جدول ۳- ارتفاع گیاه، عملکرد تر و خشک و بهره‌وری آب ذرت علوفه‌ای

تیمار	وزن تر (تن بر هکتار)	وزن خشک (تن بر هکتار)	متوسط ارتفاع ساقه (متر)	بهره‌وری آب وزن خشک (کیلوگرم بر متر مکعب)	بهره‌وری آب وزن تر (کیلوگرم بر متر مکعب)
R	۶۳/۶ ^c	۳۹/۹ ^b	۲/۲ ^b	۳/۶ ^c	۵/۷ ^b
F	۸۱/۸ ^b	۴۹/۴ ^a	۲/۴ ^a	۴/۵ ^a	۷/۴ ^a
FR	۸۴/۵ ^a	۴۸/۲ ^a	۲/۴ ^a	۴/۴ ^b	۷/۶ ^a
C	۵۲/۴ ^d	۳۳/۳ ^c	۲/۱ ^c	۳/۰ ^d	۴/۷ ^c

a, b, c و d نشان‌دهنده گروه‌های آماری هستند و حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم اختلاف معنادار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

با توجه به نتایج جدول ۳، اجرای مالچ پلاستیکی تأثیر زیادی در افزایش رشد و عملکرد گیاه ذرت علوفه‌ای داشت. نکته دیگری که در این مورد حائز اهمیت می‌باشد، تأثیر محل قرارگیری مالچ در آبیاری جویچه‌ای روی عملکرد محصول است. نتایج نشان داد که بیشترین وزن تر مربوط به تیمار FR است. میزان عملکرد در تیمار R به صورت واضح بیشتر از تیمار شاهد است و دلیل این امر نیز می‌تواند جلوگیری از تبخیر بیشتر آب از پشته‌ها در حضور مالچ پلاستیکی باشد به طوری که در تمام فصل رشد رطوبت خاک در زیر مالچ پلاستیک بالاتر از تیمار بدون مالچ مشاهده شد که این موضوع سبب می‌شود تا رطوبت مورد نیاز گیاه با صرف انرژی کمتری در اختیار گیاه قرار گیرد. تأثیر مهم دیگر مالچ پلاستیکی جلوگیری از سله بستن خاک با حفظ رطوبت بود که رشد ریشه را در مراحل ابتدایی رشد گیاه تسهیل می‌کند. اختلاف موجود در ارتفاع گیاه ذرت در هنگام برداشت بین تیمارهای دارای مالچ و تیمار شاهد نیز به خوبی نمایانگر اثر مالچ پلاستیکی روی رشد گیاه ذرت می‌باشد. اجرای مالچ در کف جویچه نسبت به اجرای مالچ روی پشته نتیجه‌ی بهتری در عملکرد محصول داشت. دلیل این امر نیز می‌تواند جلوگیری از نفوذ آب آبیاری به کف جویچه و در نتیجه نفوذ بیشتر آب به دیواره‌های پشته باشد. در نتیجه در هنگام آبیاری، آب کمتری صرف نفوذ در کف جویچه می‌شود و در نهایت بیشتر در اختیار گیاه قرار می‌گیرد. میزان ارتفاع و وزن خشک در تیمار FR، تفاوت چندانی با تیمار F نداشت. از جدول ۳ می‌توان به رابطه‌ی مستقیم بین ارتفاع گیاه ذرت و عملکرد آن نیز پی برد. نتایج تحقیقات مشابه هم تاکنون اثر مالچ پلاستیکی را روی حفظ رطوبت خاک و افزایش

بهره‌وری آب و عملکرد محصول را تأیید کرده‌اند (کین و همکاران، ۲۰۱۵، لی و همکاران، ۲۰۱۷، ژانگ و همکاران، ۲۰۱۸، آبری و همکاران، ۲۰۲۰). تفاوت‌های موجود بین تحقیق حاضر با تحقیقات مشابه اخیر مربوط به درصد افزایش محصول و یا بهره‌وری آب می‌باشد که این تفاوت از مدیریت مزرعه‌ای اعم از مدیریت تاریخ کاشت و یا نوع مالچ به کار رفته از نظر ضخامت و شفافیت آن و شرایط منطقه مورد تحقیق از نظر اقلیمی و همچنین سیستم آبیاری مورد استفاده می‌باشد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، تأثیر استقرار مالچ در آبیاری جویچه‌ای بر رطوبت خاک زیر پشته و جویچه و عملکرد و بهره‌وری آب ذرت علوفه‌ای بررسی شد. نتایج مطالعات مزرعه‌ای نشان داد که وجود مالچ پلاستیک سبب ذخیره رطوبت بیشتر در خاک به خصوص در اوایل فصل رشد (نمونه‌برداری اول و دوم) که سطح سایه‌انداز به نسبت مرحله رشد میانی گیاه کمتر بود، شد. این حفظ رطوبت در نمونه‌برداری اول سبب شد تا مقادیر رطوبت خاک برای تیمارهای FR، R و F به ترتیب ۴۰، ۲۸ و ۱۷ درصد و در نمونه‌برداری دوم به همین ترتیب ۳۷، ۲۴ و ۱۹ درصد بیشتر از تیمار بدون مالچ یا شاهد باشد. وجود مالچ در تیمارهای F، FR، R به ترتیب سبب افزایش ۴۸، ۴۵ و ۲۰ درصد در مقدار عملکرد خشک محصول و سبب افزایش ۵۰، ۴۶ و ۲۰ درصد در بهره‌وری آب برای وزن خشک نسبت به حالت بدون استفاده از مالچ شد. همچنین وجود مالچ سبب افزایش ۶۱، ۵۶ و ۲۱ درصد در مقدار عملکرد تر محصول

عملکرد و هزینه‌های هر سیستم با یکدیگر مقایسه شود. پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده از جویچه‌هایی با طول بیشتر از جویچه‌های مورد استفاده در این تحقیق استفاده شود. همچنین بررسی مسائل اقتصادی مصرف مالچ در مزارع و مشکلات جمع‌آوری آن بعد از برداشت محصول در تحقیقات بعدی ضروری به نظر می‌رسد. استفاده از مالچ پلاستیکی باید همراه با ملاحظات آینده‌گری در مورد اثرات بلندمدت این رویکرد روی خصوصیات مختلف خاک و محیط‌زیست صورت گیرد، چراکه در صورت عدم جمع‌آوری صحیح و استفاده بلندمدت سبب ورود بقایای میکروپلاستیک به داخل خاک می‌شود. البته در سال‌های اخیر انواع مختلفی از مالچ‌های پلاستیکی با قابلیت تجزیه شونده در طبیعت عرضه شده‌اند تا از بار ورودی میکروپلاستیک‌ها به طبیعت کاسته شود.

و افزایش ۶۱، ۵۷ و ۲۱ درصدی بهره‌وری آب تر به ترتیب برای تیمارهای F، FR و R نسبت به حالت بدون استفاده از مالچ تحت مدیریت آبیاری یکسان شد. به‌طور کلی نتایج این مطالعه نشان داد استفاده از مالچ پلاستیکی در آبیاری جویچه‌ای تأثیر قابل توجهی در افزایش عملکرد محصول و در نتیجه افزایش بهره‌وری آب داشت. تیمارهایی که دارای مالچ پلاستیکی در کف جویچه بودند (F و FR) دارای بالاترین مقدار رطوبت خاک و عملکرد محصول در مقایسه با دیگر تیمارها بودند. توصیه می‌گردد از مالچ پلاستیکی در مزارع به منظور افزایش بهره‌وری آب استفاده شود. همچنین پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های مشابه در سطوح مختلف آبیاری و برای محصولات مختلف در شرایط آبیاری با آب شور و یا استفاده از نوار تیپ و یا آبیاری جویچه‌ای یک در میان در مناطق دیگر و در شرایط مختلف انجام و نتایج

فهرست منابع

۱. عباسی، ف.، ف.، سهراب و ن. عباسی، ۱۳۹۵. ارزیابی وضعیت راندمان آب آبیاری در ایران. مجله تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی، جلد ۱۷ شماره ۶۷، صفحه‌های ۱۲۸-۱۱۳.
۲. عباسی، ف. ۱۳۹۱. اصول جریان در آبیاری سطحی. کمیته ملی آبیاری و زهکشی، ۲۱۱ صفحه.
۳. کاظمی اربط، ح. ۱۳۸۸. زراعت خصوصی (جلد اول: غلات). مرکز نشر دانشگاهی. چاپ چهارم
۴. ناصری، ا.، عباسی، ف.، اکبری، م. ۱۳۹۶. برآورد آب مصرفی در بخش کشاورزی به روش بیلان آب. تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی، ۱۸(۶۸)، ۱۷-۳۲.
5. Absy, R., Hassan, A.M., Abdel-Lattif, H.M. and Abuarab, M.E., Effect of plastic mulching and deficit irrigation on yield, water productivity, soil temperature and characteristics of maize. *Plant Archives*, 20(1), pp. 2263-2271
6. Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. *FAO, Rome*, 300(9), p.D05109.
7. Cannington, F., Duggings, R.B. and Roan, R.G., 1975. Florida vegetable production using plastic film mulch with drip irrigation. *Proc Nat Agr Plastics Congr*, 12, pp.11-15.
8. Daryanto, S., Wang, L. and Jacinthe, P.A., 2017. Can ridge-furrow plastic mulching replace irrigation in dryland wheat and maize cropping systems. *Agricultural Water Management*, 190, pp.1-5.
9. Lament, W.J., 1993. Plastic mulches for the production of vegetable crops. *HortTechnology*, 3(1), pp.35-39.
10. Li, C., Wang, C., Wen, X., Qin, X., Liu, Y., Han, J., Li, Y., Liao, Y. and Wu, W., 2017. Ridge-furrow with plastic film mulching practice improves maize productivity and resource use efficiency under the wheat-maize double-cropping system in dry semi-humid areas. *Field Crops Research*, 203, pp.201-211.
11. Memon, M.S., Ali, K., Siyal, A.A., Guo, J., Memon, S.A., Soomro, S.A., Memon, N. and Ji, C., 2018. Effects of plastic sheet on water saving and yield under furrow irrigation method

- in semi-arid region. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 11(1), pp.172-177.
12. Meskelu, E., Tesfaye, H., Debebe, A. and Mohammed, M., 2018. Integrated Effect of Mulching and Furrow Methods on Maize Yield and Water Productivity at Koka, Ethiopia. *Irrigation and Drainage Systems Engineering*, 7(207), p.2.
 13. Panigrahi, B., Paramjita, D. and Paul, J.C., 2019. Impact of drip and furrow irrigation on tomato yield under mulch and non-mulch conditions. *IJCS*, 7(5), pp.3202-3207.
 14. Qin, W., Hu, C. and Oenema, O., 2015. Soil mulching significantly enhances yields and water and nitrogen use efficiencies of maize and wheat: a meta-analysis. *Scientific Reports*, 5(1), pp.1-13.
 15. Raes, D., 2009. ETo Calculator: a software program to calculate evapotranspiration from a reference surface. *FAO Land Water Division: Digital Media Service*, (36).
 16. Yang, Y., Zhang, T., Zhou, L., He, J., Chau, H.W., Zou, Y. and Feng, H., 2018. Impacts of ridge with plastic mulch-furrow irrigation on soil salinity, spring maize yield and water use efficiency in an arid saline area. *Agricultural Water Management*, 201, pp.268-277.
 17. Zhang, Y., Wang, J., Gong, S., Xu, D., Sui, J., Wu, Z. and Mo, Y., 2018. Effects of film mulching on evapotranspiration, yield and water use efficiency of a maize field with drip irrigation in Northeastern China. *Agricultural Water Management*, 205, pp.90-99.

نظام آبیاری و رابطه آن با مالکیت زمین در مازندران عصر قاجاریه

معصومه یدالله‌پور عربی^۱، شهرام یوسفی‌فر و محمدعلی کاظم‌بیگی

دکتری ایران‌شناسی، دانشگاه شهید بهشتی - بنیاد ایران‌شناسی، تهران، ایران

masoom8227@yahoo.com

استاد تاریخ ایران، گروه تاریخ، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

shyousefifar@ut.ac.ir

دانشیار تاریخ و تمدن ملل اسلامی، دانشکده الهیات و معارف اسلامی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

mabeyki@ut.ac.ir

دریافت: آبان ۱۴۰۰ و پذیرش: اسفند ۱۴۰۰

چکیده

در ایران آب و زمین دو عامل مهم تولید به شمار می‌رفت و آب آبیاری تابع نوع مالکیت زمین بود. با توجه به تفاوت‌هایی که در موقعیت جغرافیایی و اجتماعی فلات ایران وجود داشت، وضعیت مالکیت آب و زمین در نواحی مختلف تغییراتی به خود می‌دید. شرایط اقلیمی، اجتماعی و راهبردی ولایت مازندران بر الگوی مالکیت آب و زمین تأثیرگذار بود و به آن‌ها ویژگی‌هایی می‌بخشید. در این پژوهش بر آنیم به این پرسش‌ها پاسخ دهیم: سازه‌های آبی مازندران توسط چه نهادهایی ساخته شد؟ وضعیت مالکیت آن‌ها چگونه بود؟ نظام تولید و مالکیت زمین در مالکیت آب و وضعیت آبیاری مازندران چه تأثیراتی داشت؟ یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد، موضوع حق مالکیت آب در این منطقه با نظام زمین‌داری و رابطه بین مالک و زارع در ارتباط مستقیم قرار داشت و این حقوق نیز تحت نظارت شرع و عرف جامعه ایران دوره قاجار بود. مالکیت رودخانه‌های مهم مازندران به‌صورت خالصه (دولتی) بود و میرابی آن ابوابجمعی بسیاری از قرای خالصه بود. اقلیم و حاصلخیزی خاک نیز از یک سو در نوع کشت محصول مهم بود و از سوی دیگر در ایجاد سازه‌های آبی توسط مردم منطقه مانند آب‌بندان‌ها و قنات عامل اصلی به شمار می‌رفت. دولت بیشتر در هنگام توزیع آب و بستن سد بر منابع آبی و مؤسسات نظارت می‌کرد و از حق بهره مالکانه یا حق خالصه برخوردار می‌گردید. این موضوع به روش تاریخی بررسی می‌شود و داده‌های آن از مستندات کتابخانه‌ای و آرشیوی فراهم آمده و از روش تبیین در توصیف و تحلیل موضوع بهره گرفته است.

واژه‌های کلیدی: مالکیت آب، مالکیت اراضی زراعی، حقابه، میراب

مقدمه

در ایران منابع تأمین آب متعدد و به موقعیت جغرافیایی و نوع اقلیم هر منطقه بستگی دارد و در تاریخ اقتصادی و سیاسی ایران دوره قاجار، موضوع مالکیت آب و زمین همواره در کنار هم و در نظریه‌های متعدد مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. یکی از این نظریه‌ها که صاحب‌نظران متعددی درباره آن سخن گفته‌اند، شیوه تولید آسیایی است که آن را در بیان ویژگی‌های نظام آسیایی به‌عنوان یک تصویر کلی از یک دوره خاص تاریخی مورد توجه قرار می‌دهند. در این نظریه به روابط اجتماع شهر و روستا و آبیاری مصنوعی و اداره امور آن تأکید می‌شود (ازکیایی، ۱۳۶۸: ۱۶۶) و افزون بر وابستگی کشاورزی به آبیاری، مقوله عملکرد مؤسسات آبیاری و وابستگی این مؤسسات به دیوانسالاری برای ساختن، حفظ، تعمیر و توزیع آب نیز اهمیت می‌یابد، از این روی، بررسی تاریخی موضوع حاضر مانند وجود انواع مالکیت در دوره قاجار، نقش دولت و بهره‌مالکانه، مالکیت زمین و آب و از همه مهم‌تر اقلیم پرباران و حاصلخیز مازندران و شکل‌گیری مؤسسات آبی و مالکیت آن، نظارت دیوان‌سالاری بر توزیع آب و زمین، نقش حکومت و مالیه در تشکیلات اداری و مدیریت آب، انواع حقابه، دریافت حقابه از رودخانه‌های حوزه ابوابجمعی^۲، تفاوت دریافت حقابه در مازندران با مناطق دیگر، میراب و نحوه بهره‌برداری از منابع متعدد آب و... می‌تواند در ارزیابی دقیق‌تر این‌گونه نظریه‌های تاریخی، مفید و مؤثر باشد. در مازندران چند شکل زمین‌داری (دیوانی/خالصه^۳، خصوصی، وقفی) وجود داشت و بخش وسیعی از اراضی زراعی به‌صورت خالصه بود، از این روی، هدف این مقاله، بررسی نظام مالکیت آب در نظام زمین‌داری

مازندران دوره قاجار است و پژوهش حاضر به این پرسش‌ها اختصاص می‌یابد که شیوه تولید و مالکیت زمین در مالکیت آب و وضعیت آبیاری این منطقه چه تأثیر و بازتابی داشت؟ مؤسسات آبی مازندران توسط چه نهادهایی ساخته شدند و مالکیت آن‌ها در دست چه کسانی بود؟

به نظر می‌رسد شکل غالب مالکیت منابع تأمین آب مازندران در ارتباط مستقیم با مالکیت و نحوه بهره‌برداری زمین‌های زراعی آن قرار داشت. میرابی رودخانه‌های مهم آن، ابوابجمعی قرای خالصه به شمار می‌رفت و دریافت حقابه از حوزه‌های ابوابجمعی نیز در مازندران رایج بود. در این میان، اراضی آبی از تقاضای زیادی برخوردار بودند. سازه‌های آبی نیز در مازندران به‌منظور ذخیره آب ایجاد شدند تا همواره در امور کشاورزی مورد استفاده قرار گیرند. مالکیت آن‌ها به اشکال اصلی دولتی، خصوصی و وقفی بود. روستاییان و زارعان در ساخت و تنقیه^۴ و نهرکشی به‌خصوص تقسیم آب از تمامی منابع و مؤسسات آبی در مازندران همواره نقش مهمی ایفا می‌کردند و دولت بر خالصجات و مواردی چون بستن سد برای دریافت عایدی مورد نظر نظارت می‌کرد.

در زمینه پیشینه موضوع حاضر، پژوهشگران زیادی در خلال بررسی اوضاع اقتصادی و زمین‌داری و مسائل فقهی و اجتماعی ایران دوره قاجار، به بحث آب و آبیاری، مالکیت آن و ارتباط آن با زمین، نگاه کلی و اجمالی نیز داشته‌اند: لمبتن (۱۳۶۲) بخشی از کتاب مالک و زارع خود را به بررسی آبیاری در ایران دوره قاجار اختصاص داده است. عیسوی (۱۳۶۲) به بحث آبیاری و زمین در کتاب تاریخ اقتصادی ایران، اشاره می‌کند. خسرو خسروی (۱۳۴۸) در مقاله آبیاری و

^۲ - دخل و دریافت‌های صاحب جمعی (دهخدا، مدخل ابوابجمعی).

^۳ - ملک دولتی (دهخدا، مدخل خالصه؛ لمبتن، ۱۳۶۲: ۷۸۰).

^۴ - پاک کردن و لاروب کردن (دهخدا، مدخل تنقیه).

جامعه روستایی ایران و آثار دیگر خود، نظام آبیاری در ایران را بررسی کرده است. اختر رحمانی (۱۳۴۸) در کتاب مالکیت و بهره‌برداری از زمین به تقسیم و نحوه بهره‌برداری از آب اشاره می‌کند. کرمی (۱۳۹۷) از روش تاریخی تحلیل رانت استفاده می‌کند و پیامدهای توزیع زمین و آب را در ساخت سیاسی- اجتماعی ایران در بازه زمانی اواسط عهد ناصری تا انقلاب مشروطه مورد بررسی قرار می‌دهد. مصطفی ازکیا در مقاله ملاحظات نظری پیرامون نظام‌های بهره‌برداری از زمین (۱۳۶۸) یک تعریف کاربردی ارائه می‌دهد. وی با همکاری ولی‌الله رستمعلی‌زاده (۱۳۹۱) نحوه مدیریت، توزیع و مصرف آب را در مقاله جنبه اجتماعی نظام آبیاری در ایران مطالعه می‌کند. مهدی‌کندی (بی‌تا) و کیهان (۱۳۱۱) در آثار خود منابع تأمین آب در مازندران را معرفی می‌کنند اما هیچ یک از مطالعات نامبرده به بررسی مالکیت آب در نظام زمین‌داری مازندران به عنوان یک جامعه پرباران و حاصلخیز و یک منطقه خاص نپرداخته و این موضوع، پژوهشی مستقل و نوآورانه است.

مواد و روش‌ها

مازندران در میان ساحل جنوبی دریای مازندران و سلسله جبال البرز واقع است که از غرب به سرخانی رود و از شرق به جر کلباد و شاه کوه محدود بوده است. این ایالت در دوره قاجار به سیزده ناحیه؛ تنکابن، کلارستاق، کجور، نور، آمل، بارفروش، مشهدسر، ساری، فرح‌آباد، اشرف، لاریجان، سوادکوه و هزار جریب تقسیم می‌شد (رابینو، ۱۳۶۵: ۲۴-۲۵) که اساس اقتصاد آن را زمین‌های کشاورزی و روستا تشکیل می‌داد. با توجه به اینکه ریزش باران در غرب مازندران زیاد و زمین‌های مزروعی کم و در شرق آن، زمین فراوان اما آب و باران کم و محدود بوده است، در مطالعه حاضر ابتدا منابع تأمین آب مازندران معرفی می‌شود

پس از آن به مالکیت آب می‌پردازد و در ادامه با روش تاریخی، رابطه آن را با نظام زمین‌داری مازندران دوره قاجار مورد بررسی قرار می‌دهد. داده‌های پژوهش حاضر از مستندات کتابخانه‌ای و آرشیوی فراهم آمده و از روش تبیین در توصیف و تحلیل موضوع بهره گرفته شده است.

منابع تأمین آب در مازندران

آب‌های جاری: حدود ۲۲ رودخانه کوتاه و فصلی در مازندران وجود دارد که به صورت عمده و فرعی به مسافت‌های مختلف (ساکما/ ۲۰۶۷۵-۲۴۰، شماره برگ ۴۰؛ رحمانی، ۱۳۴۸: ۴۶) آب مورد نیاز بسیاری از اراضی آب‌خور را تأمین می‌کند. مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از: ۱- رودخانه هزار: از لار دماوند سرچشمه می‌گیرد و در سرخورد به دریای مازندران می‌ریزد ۲- رودخانه بابلرود: از سوادکوه ارتفاعات فیل‌بند سرچشمه می‌گیرد و در بابلسر به دریا می‌ریزد ۳- رودخانه تالار: از ارتفاعات دو آب (دو خوشه) سرچشمه می‌گیرد و از غرب شاهی به سوی دریای مازندران می‌رود ۴- رودخانه تجن: از حوالی قریه رودبار در هزار جریب سرچشمه گرفته و در نزدیکی فرح‌آباد به دریای مازندران می‌ریزد. (کیهان، ۱۳۱۱: ج ۱، ۷۱-۷۰؛ افضل‌الملک، ۱۳۸۳: ۵۱؛ مهدی‌کندی، ۱۳۵۱: ۳۵-۳۲) از رودخانه‌های دیگر این منطقه می‌توان به صفارود، رامسر، چیرسرکه، شیروود، رودپشت، زوار، نشتارود، سرداب‌رود، چالوس، امیرود و نوشهرود، خیرود، گلندرود، مروزرود، نکا و... اشاره نمود. (رک به: مهدی‌کندی، ۱۳۵۱: ۳۶-۳۱)

آب‌های زیرزمینی: به آب‌هایی گفته می‌شود که لایه‌های طبقات مختلف خاک ذخیره و در نقاط مناسب به صورت چشمه خارج می‌شود (رحمانی، ۱۳۴۸: ۵۰) در تمام نواحی کوهستانی استفاده از آب چشمه‌سارها رواج دارد (مهدی‌کندی، ۱۳۵۱: ۳۷) مانند چشمه زیروان و لاراب‌چشمه و افراچشمه در اشرف (بهشهر کنونی) و

نور. (ساکما / NLAI-۲۹۷-۰۲۱۹۶۲-0018-Wm؛ همان/

۳۴۷۵-۲۵۰، شماره برگ ۲۰۰)

سازه‌های آبی: یکی از روش‌های بهره‌برداری از آب در مازندران، آب‌بندان‌ها هستند. روستاییان در مناطقی که آب کافی نبود، با بستن سه طرف شالیزار، آب مورد نیاز خود را ذخیره می‌کردند که به آن آب‌بندان می‌گفتند. ساختن آب‌بندان در مازندران سابقه دارد و آثار آب‌بندان به‌جا مانده از دوره صفویه در هشت کیلومتری بهشهر، مؤید این مطلب است. (رحمانی، ۱۳۴۸: ۹۰) از سازه‌های دیگر این منطقه قنات‌ها هستند که به نظر می‌رسد اغلب در شهرهای آمل، ساری و اشرف ساخته شدند؛ برای مثال تا سال ۱۳۴۷ش در حدود ۴۶۰ رشته قنات در مازندران شرقی وجود داشت (مهدی‌کندی، ۱۳۵۱: ۳۷) که به تدریج قنات‌های نامبرده جای خود را به چاه دادند. در گزارش سفر ناصرالدین‌شاه به غرب مازندران نیز در هنگام معرفی رودخانه‌ها و تخمین آب آن با واحد سنگ، به قنات کهنه‌ای در کجور نیز اشاره می‌شود (ناصرالدین‌شاه، ۱۲۹۴: ۴۵) آب انبارها نیز از مؤسساتی بوده است که هم برای شرب و هم برای مصارف کشاورزی استفاده می‌شد. از آب انبارهای این منطقه می‌توان برای نمونه، به این موارد اشاره نمود: چناربن، میدان، میرزا مهدی و بهرام‌اتر، آب انبار نو، میر مشهد در ساری و آب انبارهای طالش، گنجی، شاه و فراش‌محلّه در اشرف. (ساکما/۲۵۰۵۱۴۱، شماره برگ ۱۸، ۱۰)

نتایج و بحث

مالکیت آب در مازندران

مالکیت ارضی از جانب خداوند به پادشاهان به امانت سپرده شد تا آن را آباد نمایند. این سنت و باور، از زمان هخامنشیان تا بعد از مشروطیت در ایران رواج داشت. بدین شرح که پادشاه به‌منظور زراعت و بهره‌برداری، آن را به بخش‌های کوچک و بزرگ تقسیم و به نزدیکان خود و یا به بزرگان کشور در مقابل خدمات لشگری و کشوری و قبول تعهداتی به خاندان‌های بزرگ واگذار می‌کرد (شریف، ۱۳۵۲: ۸۰) که این موضوع به همراه عواملی چون مساحت، تنوع اقلیمی، وجود جوامع عشیره‌ای و اسکان‌یافته، تهاجم اقوام خارجی و عملکرد ایران در بازارهای جهانی سبب شده است تا مالکیت ارضی در ایران، از پیچیدگی‌های بسیاری برخوردار باشد (عیسوی، ۱۳۶۲: ۳۲۳) و در نهایت، املاک در ارتباط با نظر فقهای شیعه به شخصی، عمومی و دولتی طبقه‌بندی شود. بدین معنا که املاک عمومی به جامعه اسلامی و املاک دولتی به دولت اسلامی (امام) اختصاص یابد که به آن انفال می‌گویند (مدرسی طباطبایی، ۱۳۶۲: ۹۳-۹۲) بنابراین با تکیه بر مباحث فقهی، آب‌ها نیز از حیث تملک و عدم تملک، به دو دسته تقسیم می‌شوند: ۱- برخی از آن‌ها از مباحات عامه^۵ هستند و قابل تملک نیستند بدین معنا که با حیازت^۶ به مالکیت شخص خاصی در نمی‌آیند ۲- برخی دیگر به مالکیت افراد در می‌آمدند (رجایی، ۱۳۷۶: ۵۰) برای مثال مالکیت رودخانه‌های ثلاثه مازندران^۷ خالصه بود اما مالکیت رودخانه‌های حوزه گرگان بر اساس سند مورخه ۱۳۱۳/۱۰/۹ش به سه صورت گزارش شد: ۱- رودخانه اختصاصی دولت که قرای خالصه را

^۵- مقصود از حیازت (ماده ۱۴۶ قانون مدنی) مهیا کردن وسایل تصرف است. حیازت اشیای مباحه به اعتبار طبیعت آنها مختلف می‌باشد (رک به: حسن امامی، ۱۳۴۰. حقوق مدنی، ج ۱، ۱۳۶).

^۷- هراز، تجن، نکا

^۵- بر طبق ماده ۲۷ قانون مدنی، اموالی هستند که ملک شخص نمی‌باشد و افراد می‌توانند مطابق مقررات مندرج در قانون مدنی و قوانین مربوط بدان، تملک و استفاده نمایند. (امامی، ۱۳۴۰، ج ۱: ۳۸)

مشروب می نمود ۲- رودخانه اختصاصی اشخاص که قرای اربابی را آبیاری می کرد ۳- رودخانه هایی که بین قرای خالصه و اربابی به صورت مشترک بودند. تمامی آب رودخانه های اختصاصی خالصه به مصرف زراعت قرای خالصه می رسید. البته چون قرای موجود، اراضی و استعداد برای افزایش زراعت داشت، هر سال که آب زیادتر می شد، زراعت بیشتر و هر سال که آب نقصان داشت، کمتر عمل می کرد و این قبیل رودخانه ها، مخارج سدبندی زیادی نداشتند زیرا همه ساله به کمک زارعان محلی سد گرفته می شد. رودخانه اختصاصی که متعلق به یک مالک باشد، مطابق رودخانه اختصاصی خالصه، مالک ملک و رودخانه، عهده دار تعمیرات و دیگر موضوعات مربوط به رودخانه بود. اشتراک در رودخانه های مشترک بین چند مالک و یا بین دولت و مالکان برای آن بوده است که از نظر سدبندی و تنقیه انهار و تقسیم آب بین صاحب سهام به ترتیب، معین و جریان داشته تا هر یک از مالکان بتوانند در موقع زراعت، سهم خود را برای زراعت به روستای خود برده و از هر گونه اختلاف نظر و مشاجره جلوگیری شود. (ساکما/ ۳۱۳۱۸-۲۴۰، شماره برگ ۶۴)

از مشترکات و مباحثات عامه دیگر، چشمه ها و نهرا هستند. (رجایی، ۱۳۷۶: ۵۱) مالکیت آن ها به کسی برمی گردد که اول از همه، برای احیای زمین از آب چشمه استفاده کرده باشد (لمبتن، ۱۳۷۵، ۸۴) و در حقیقت، به صورت های اختصاصی، وقفی و دولتی نمود پیدا می کرد. از چشمه های وقفی مازندران، می توان به یک جریب از آب چشمه قریه زیروان اشرف اشاره نمود. (ساکما/ 0018-Wm- NLAI-۲۹۷-۰۲۱۹۶۲)

در خصوص مالکیت سازه های آبی، بین فقها مشهور است که اگر فردی به حفر چاه یا قنات

در ملک خود یا در زمین موات اقدام کند، مالک آن چاه و قنات می گردد. اگر چاه یا قنات به آب برسد، مالک آب هم می شود (رجایی، ۱۳۷۶: ۵۱) مانند قنات های رکاوند بهشهر. (استادوخ/ GH1327- 52-3-39) قنات هایی که در اراضی وقفی، دیوانی و خصوصی حفر می شدند، مالکیت آن متفاوت بود مانند احداث قنات در ساری به تاریخ ۱۲۹۳ ق.^۸ در مورد مالکیت آب انبارهای مازندران، می توان گفت، مالکیت اغلب آن ها به صورت وقف بوده است؛ برای مثال در وقف نامه مشهدی حیدر به وقف تأمین آب و اصلاح آبادان در ساری نیز تأکید شد. رقباتی چون شش دانگ دکان و خانه را بر تعمیرات این بنا اختصاص می دادند مانند چناربن، میدان و میرزا مهدی (ساری) که برای شرب اهالی استفاده می شد. (همان؛ ساکما/ ۵۱۴۱-۲۵۰، شماره برگ ۱۸، ۱۰) آب بندان ها نیز به کسانی تعلق داشت که آن را در اراضی یا روستای خود حفر می کردند و مالکیت اغلب آن ها به صورت خالصه، خصوصی و وقفی بود؛ برای مثال در مجموع از بین ۲۲ وقف نامه مطالعه شده مربوط به قنات، تعمیر نهر و آب بندان در مازندران این دوره، می توان گفت، ۱۹ مورد مربوط به شهر اشرف، ۳ مورد مربوط به شهر ساری و یک مورد مربوط به شهر بارفروش بوده است. (عابدی، ۱۳۹۲: ۱۰۸)

با توجه به موارد مطرح شده، موقعیت منابع تأمین آب و اراضی کشاورزی در تمامی روستاهای مازندران به یک صورت نبود؛ برای مثال حضور دولت در مازندران شرقی به دلیل وجود رودخانه های مهم و بزرگ و قابل اداره کردنی چون تجن و هراز و گستردگی اراضی زراعی بیشتر است.

^۸ - وقف نامه مشهدی میرحیدر، کلاسه ۳۹/ح، به نقل از عابدی، ۱۳۹۲: ۱۰۷

نحوه بهره‌برداری از عواید آب

حقابه / میرآبانه

یکی از روش‌های بهره‌برداری از عواید آب، حقابه بود. آب رودخانه در ایران نسبت به وسعت کشتزار و آب مورد نیاز هر قریه تقسیم می‌شد که به حقابه معروف بوده است. بدین صورت که احتساب آن از روی ساعت و بر مبنای گردش آب بود و بر اساس مالکیت و سنت‌های رایج هر ناحیه از ایران با اوزان و مقیاس مخصوصی بهره‌برداری می‌شد. مقیاساتی چون زمین، ساعت، قفیر، دانگ، سنگ و... در اغلب نقاط ایران رایج بوده است (رحمانی، ۱۳۴۸: ۴۸). راجع به موضوع و ترتیب دریافت حقابه رودخانه‌ها در ایران بایستی گفت، حقابه‌ای که از رودخانه‌ها گرفته می‌شد، همواره متمایز و با توجه به ریشه عواید رودخانه‌ها به دو صورت بود:

۱- تعیین مقدار آبی که هر قریه از رودخانه می‌گرفت و از قدیم عنوان حق‌النظاره و تقسیم آب داشت و برای تنظیم عمل آبیاری املاک و رفع اختلافات بین مالکان قرایی بود که از رودخانه‌های نامبرده مشروب می‌شدند. در واقع، مالکیت دولت در اصل آب محرز نبوده است (ساکما/ ۳۱۳۱۸-۲۴۰، شماره برگ ۶۹) بنابراین بر اساس سند متحدالمال نمره ۱۹۸۲۵، به تاریخ ۱۳۰۹/۵/۱۲ ش، رودخانه‌هایی که تحت نظر مالیه نبودند، اهالی، مطابق معمول، به املاک خودشان نه‌رهایی باز کرده و استفاده می‌نمودند مانند بنادر جنوب، کرمانشاه، کردستان و گروس (بیجار)، قم، گلپایگان، فارس، لرستان و بروجرد.^{۱۰} (همان، شماره برگ‌های ۴۲، ۴۱، ۳۵، ۲۸، ۲۶، ۱۵، ۱۴، ۱۰).

بر اساس اسناد «متحدالمال وزارت»^۹ اگر مالکیت آب در مازندران را با مالکیت آب در مناطق دیگر ایران مقایسه کنیم، می‌توان گفت، دریافت حقابه از حوزه ابوابجمعی در کشور به یک صورت و در آن، مالکیت دولت محرز بود اما با وجود این، تفاوت‌هایی نیز داشت برای مثال؛ در حوزه سیستان عایدات وصولی از قرا همان مالیات یا منالی بود که سالیانه مطابق مقررات، در برابر محصول دریافت می‌شد و برای آب دریافتی زارعان از رودخانه، حقابه مخصوصی معمول نبود و نپرداختند. (ساکما/ ۳۱۳۱۸-۲۴۰، شماره برگ ۷۸) درحالی که تمامی اراضی زراعی حوزه سیستان به صورت خالصه در اختیار دولت قرار داشت. با توجه بر گستردگی خالصجات در مازندران شرقی، مالکیت آب رودخانه‌های مهم آن نیز به صورت خالصه بود و میرابی آن ابوابجمعی بسیاری از قرای خالصه به شمار می‌رفت که در این میان رودخانه‌ای چون تالار ۶۰۰ پارچه روستای خالصه و اربابی را آبیاری می‌کرد (ساکما، ۳۱۳۱۸-۲۴۰، شماره برگ ۲۲) و میرابی آن که نزدیک به سی هزار تومان خالصه دیوان باید از آن عمل می‌آمد به عنوان موجب به افرادی واگذار می‌شد (ساکما/ ۲۹۵۷۴۰۶، شماره برگ ۴۰۶) بنابراین آنچه را که در بحث مالکیت در نظام زمین‌داری مازندران می‌توان بدان اشاره نمود، این است که نظام نامبرده، به عنوان میراث‌دار یک نظام حقوقی تاریخی به سه دسته اصلی دیوانی/خالصه، خصوصی و وقفی طبقه‌بندی می‌شود که همواره دو عنصر مهم تولید آب و زمین را در کنار هم قرار می‌دهد؛ بنابراین می‌توان گفت، هدف اصلی دولت قاجار از مالکیت ارضی و آب در مازندران، تأمین نیازهای مالی خود بود نه مالکیت.

^{۱۰} - به جز املاکی که از رودخانه جوی‌شاه آبیاری می‌شدند. حقابه‌های کرج و جاجرود و کن و سایر اطراف تهران در سواد متحدالمال وزارت به نمره ۱۹۸۲۵، دارای حقابه‌های رسمی دولتی بودند و در

^۹ - به نوشته‌هایی اطلاق می‌شد که نسخه‌های متعدد آنرا با یک مضمون و یک شکل و یک تاریخ می‌نوشتند و به سراسر کشور می‌فرستادند، امروزه به آنها بخش‌نامه می‌گوییم. (قائم‌مقامی، ۱۳۹۴: ۱۲۰)

۲- مبلغی بود که از بابت خالصی و حقوق مالکیت دولت در آب رودخانه به نام حق خالصه یا میرآبانه از آب‌برهای رودخانه‌ها دریافت و در «دفتر جزو جمع»^{۱۱} ثبت می‌شد. (ساکما/ ۳۱۳۱۸-۲۴۰، شماره برگ ۶۹) این حقاچه، بر اساس سند متحدالمال نمره ۱۹۸۲۵، فقط در برخی از مناطق ایران معمول بود؛ برای مثال در حوزه خراسان دریافت میرآبانه به نوع رودخانه و منطقه آن برمی‌گشت مانند رودخانه فاروب نیشابور. در اصفهان نیز مبحث حقاچه بسیار مهم بود و با اینکه تقسیم آب زاینده‌رود با دولت بود و حقاچه به نفع دولت جمع‌آوری می‌شد، بعد از مدتی، به مناسبت غیرمعلومی، تنظیم آب به اداره حکومتی ارجاع و اداره میاه تشکیل شد (همان، شماره برگ ۷۴، ۳) و برخی از رودخانه‌های آذربایجان شرقی مانند روضه‌چائی دارای این نوع حقاچه بودند (همان، شماره برگ ۵۹) این نوع حقاچه را به اجاره نیز می‌دادند و یا به ملکیت افراد منتقل می‌کردند مانند رودخانه فاروب رومان نیشابور و یا حقاچه ثلث آب رود اترک که به قرارداری سالی هفت هزار ریال به بلدییه قوچان اجاره داده می‌شد. (همان، شماره برگ ۶۹) در کرمان هم بین دولت و رعایا رودخانه‌های مشترکی بود که حقاچه دریافت می‌شد (همان، شماره برگ ۱۶) در این میان برخی از رودخانه‌ها نیز دارای مالک بودند اما میراب نداشتند مانند رودخانه قره‌سو در خوی. (همان، شماره برگ ۶۰)

اجاره

یکی دیگر از روش‌های وصول عواید رودخانه‌ها در ایران، اجاره دادن بود که بر اساس نوع مالکیت زمین و آب فرق می‌کرد؛ برای مثال قانون اجاره خالصجات دولتی به صورت مزایده بود. بدین صورت که اجاره قرای مستملکات دولتی ابتدا

در مرکز ایالت و ولایت و بلوکی که قرا در آن واقع بودند، به مزایده گذاشته می‌شد و در همان هنگام اسامی آن‌ها به مرکز تلگراف می‌شد تا در تهران نیز به مزایده گذاشته شود. هر کس بیش از دیگران شرایطی چون رعایت تأمینات لازمه و ملاحظه صرفه و صلاح دولت را می‌پذیرفت، اطلاع می‌داد تا قرارداد اجاره منعقد شود و هر اجاره‌ای که شرایط فوق در آن منظور نمی‌شد، محل اعتبار نداشت. شرط عقد اجاره در این بود که پیشنهاددهندگان باید از تبعه داخله باشند. (ساکما، ۳۱۷۹۱-۲۴۰، شماره برگ ۸۸) برای مثال طرز وصول عواید رودخانه‌های صوفی‌چائی - قلعه‌چائی در آذربایجان شرقی به طریق مزایده بود که همه‌ساله منافع رودخانه‌های مزبور به اجاره واگذار می‌شد که از سال ۱۳۰۷ ش، مطابق نمره ۲۳۸۲ وزارت، اجاره‌بندی نسبت به رودخانه نامبرده متوقف و مقرر شد که همه‌ساله از آب‌بران، جزو جمع دریافت شود که این قانون بعد از تصویب ممیزی املاک اربابی لغو شد. (۳۱۳۱۸-۲۴۰، شماره برگ ۶۱) منابع آبی که در مالکیت خصوصی نیز قرار داشتند، به اجاره داده می‌شدند مانند چشمه و قنات. یکی از روش‌های بهره‌برداری از چشمه‌ها، اجاره محل مجرای آب بود که مال‌الاجاره آن به‌طور معمول، به دو صورت نقدی و جنسی دریافت می‌شد. (ساکما/ ۱۷۵۴-۲۳۰۰۰، شماره برگ ۵۵، ۴)

تسهیم و نحوه بهره‌برداری از منابع آب در مازندران

رودخانه‌ها

یکی از روش‌های بهره‌برداری از عواید آب در این منطقه، حقاچه بود و به دو صورت دریافت می‌شد: ۱- حق خالصه و میرآبانه ۲- حق‌النظاره و تقسیم آب؛ بنابراین برای دریافت

^{۱۱} - دفتری که در آن نتیجه ارزیابی مالیاتی ناحیه معینی ثبت می‌شد. (لمبتن، ۱۳۶۲: ۷۷۸)

سند به تاریخ ۱۳۱۳/۹/۳۱ ش عنوان حق‌النظاره داشتند (همان، شماره برگ‌های ۱۹، ۶۹)

حقابه ابتدا نوع ریشه عواید رودخانه را مشخص می‌کردند (ساکما، ۳۱۷۹۱-۲۴۰، شماره برگ ۳۳) بدین معنا که در مازندران از رودخانه‌های حوزه ابوابجمعی، حقابه دریافت می‌شد و میرابی برخی از رودخانه‌های آن مانند رودخانه‌های تجن، نکا، هراز و کاری، ابوابجمعی قرای خالصه، باغ و... به شمار می‌رفت. این رودخانه‌ها به رودخانه‌های ثلاثه مازندران معروف و مالکیت آن‌ها به صورت خالصه بود که علاوه بر خالصجات، املاک اربابی نیز از آن بهره‌مند می‌شدند. (ساکما/ ۳۱۳۱۸-۲۴۰، شماره برگ ۹)

راجع به عواید میرابی رودخانه‌های ثلاثه مازندران که در «جزو قدیم» منظور بود، می‌توان گفت، جریبی دو ریال و نیم، تحت عنوان میرابی مطابق معمول قدیم، بابت هر جریب اراضی شلتوک‌زاری، از آب رودخانه کاری و در خصوص رودخانه تجن و نکا بر اساس تقسیم به صد و سی سنگ و چهل سنگ که هر سنگ بر اساس مبلغی معین دریافت می‌شد. (ساکما/ ۳۱۳۱۸-۲۴۰، شماره برگ ۳) گاهی با افزودن بر میزان وجه میرابی، آن را به عنوان مواجب افراد در نظر می‌گرفتند. (ساکما، ۳۱۷۹۱-۲۴۰، شماره برگ ۵۶)

نحوه دیگر بهره‌برداری از آب رودخانه‌های مازندران اجاره بود که به نظر می‌رسد از سال ۱۳۳۰ق/ ۱۲۹۱ش، ابتدای تأسیس مالیه، این اداره، رودخانه‌های نامبرده را اغلب، به نام میرابی مالیه، به اجاره می‌داد؛ برای مثال رودخانه‌های کاری، هراز، نکا و رود تجن جزو سایر خالصجات پنج ساله از ۱۳۳۴ق/ ۱۲۹۴ش به تجارت‌خانه طومانیانس به اجاره واگذار و تجارت‌خانه نیز به خالصگی عمل می‌کرد. بعد آن، مالیه از ۱۳۳۸ق/ ۱۲۹۸ش که اجاره فسخ شده بود، به صورت امانی عمل نمود:

«رودخانه تجن ۱۲۴ سنگ فی سنگی ۶۴ قران، رودخانه نکا ۴۸ سنگ فی سنگی ۸۰ قران، رودخانه هراز و کاری از قرار جریبی دو قران و پانصد دینار». (همان، شماره برگ ۳۳، ۵۶)

بنابراین تخمین عواید متوسط رودخانه‌های مزبور که در هر سال به موجب قبوض رسمی مالیه وصول و به جمع عواید خالصه منظور می‌شد، بر اساس واحد سنگ و جریب بود. اجاره به‌طور معمول با مزایده بود. بدین شرح که ۱- رودخانه‌ها را به همراه اراضی خالصه به اجاره می‌دادند. اداره مالیه طبق اعلانی در متن اجاره، اشاره می‌کرد که میرابی رودخانه‌های نامبرده شده، ابوابجمعی این قرای خالصه است و حد اجاره قرای خالصه، میرابی و تمامی مستغلات مربوط به دولت پیشنهاد می‌شد مانند میرابی رودخانه‌های خالصه کاری، هراز، نکا و تجن که در تاریخ ۱۳۳۴ق/ ۱۲۹۴ش به مدت پنج سال تمام شمسی به همراه قرای خالصه به اجاره گذاشته شد. (همان، شماره برگ ۸۵)

۲- اسامی رودخانه‌ها را در بین فهرست خالصجات مازندران مانند اراضی، قرا، باغ، دکان، کاروانسرا و... که به مزایده می‌گذاشتند، ذکر می‌کردند و به عموم اهالی مازندران اخطار و اعلان می‌شد تمامی خالصجات مازندران که اسامی آن‌ها آورده می‌شود، طبق امر وزارت مالیه به صورت مزایده برای مثال از اول سال لوی‌ئیل ۱۳۳۴ق به مدت پنج سال تمام شمسی اجاره داده خواهد شد. شرط اول، اعتبار مستأجر بود و شرایط دیگر آن مواردی بود که در اجاره‌نامه، به ترتیب معمول ذکر می‌شد. متقاضیان می‌باید از تاریخ مزایده اعلان تا ده روز پیشنهادهای خودشان را در پاکت‌های سربسته مهر به اداره می‌فرستادند که پس از انقضای مدت، پیشنهادها در حضور خودشان باز و قرائت شود و پس از اطلاع و

اجازه از طرف وزارت مالیه به اجاره واگذار گردد. (ساکما، ۰۳۱۷۹۱-۲۴۰، شماره برگ ۸۶)

۳- املاک را به همراه امتیاز آب اجاره می‌دادند مانند صاحب منصبانی که اغلب با توجه به شرایط حاکم در کشور، برخلاف خواست دولت، املاک سوار و ایل خود را (تیول)^{۱۲} به اتباع خارجه به همراه امتیاز آب، اجاره می‌دادند چنانکه در عرایض سوار و ایل قریه زیت در تاریخ پنجم محرم ۱۳۳۶ ق/ ۲۹ مهر ۱۲۹۶ ش به رئیس قشون مازندران آمده است که معتمدالسلطان عبدالله خان، صاحب منصب ایل مزبور که در چند سال قبل، اراضی خشکه‌زاری سه قریه خالصه دولت ایران (نصف پنبه چوله، ورنندان و شورم بین اشرف و ساری) به استثنای شش دانگ آب و دویست جریب زمین از قریه ورنندان و مسئولیت آوردن حقابه از قلب آب را به روس‌ها اجاره داد که این مسئله موجب نارضایتی ایل شد و واکنش آن‌ها به عملکرد صاحب منصب خود بدین صورت بوده است که «عنقریب است... عصمت و ناموس جان‌نشانان را بر باد فنا بدهد...» (استادوخ/ GH1336-k26-p20-12)

وصول مالیات و عوارض میرابی تا زمان اجرای ماده ۱۴ قانون ممیزی وزارت مالیه به تاریخ ۹ جمادی‌الثانی ۱۳۴۴ ق/ ۴ دی ۱۳۰۴ شمسی ادامه داشت و پس از آن «کلیه مالیات‌های مستقیم و اراضی و آبی و حیوانی و سرانه و خانواری و حیوانات و پاداران»^{۱۳} نقدی و جنسی و غیره حق‌المرتع از مراتع عمومی غیر از مراتع خالصه دولت که عمال دولت از املاک و اشخاص و حیوانات دریافت می‌کردند خواه میزان مالیات خواه میزان عوارض و خدمتانه و تحصیلداری و غیره به هر اسم و رسم منسوخ و به‌جای آن‌ها مالیات‌های

مصرحه در متمم قانون دریافت شد». (ساکما/ ۰۳۱۷۹۱-۲۴۰، شماره برگ ۳۰) قبل از اجرای قانون ممیزی از هر جریب، مبلغ دو قران و پانصد دینار قدیم حق میرابی دریافت می‌کردند. پس از آن، در قانون نامبرده، تصریح شد، بعد از دریافت صدی سه و نیم، کسی حق ندارد، عوارض مطالبه نماید. (همان، شماره برگ ۴۲)

بنابر آنچه گفته شد، مالکیت دولت در مهم‌ترین رودخانه‌های مازندران مسلم بود و دولت برای تأمین نیازهای مالی خود، آب رودخانه را که به‌صورت خالصه بود، در اختیار زارعان قرار می‌داد، آن‌ها نیز باید پول آب یا حق خالصه را به دولت می‌پرداختند. در میان انواع بهره‌برداری از اراضی، تیول/ تیول‌داری نقش مهمی در نحوه مدیریت آب در مازندران داشت. با توجه به اینکه در مازندران انواع اراضی به اجاره گذاشته می‌شد، می‌توان گفت، یکی از مهم‌ترین امتیاز در بهره‌برداری از اشکال مالکیت ارضی نسق‌بندی^{۱۴} بود که در نواحی غله‌خیز رواج داشت. (عیسوی، ۱۳۶۲: ۳۳۹) زارعان ایرانی در طول تاریخ، با مالکان و زمین‌داران روابط مؤاخره و مزارعه برقرار و در زراعت شرکت می‌کردند. وجود این روابط سبب می‌شد، زارعان نسبت به زمین و آب بنا به عرف، حقی به نام نسق پیدا کنند در نتیجه، زارع ایرانی اگرچه صاحب زمین نبود ولی همیشه نسبت به زمین و آب حقی داشت که وی را از لحاظ حقوقی به زمین وابسته می‌کرد. (خسروی، ۱۳۵۵: ۱۲۴)

چشمه‌ها

در مازندران از چشمه‌ها و محل مجرای آن به سه صورت اختصاصی، وقفی و خالصه

^{۱۲}- در شیوه «نسق‌بندی» محصول بین زمیندار و دهقان مطابق شرکت آنها در تولید و یا مالکیت آنها در مورد عناصر پنج گانه (زمین، آب، چهارپایان بارکش، بذر و کار) تقسیم می‌شد. این شیوه که یادگاری از دوران صفویه بود، به تدریج تغییر یافت. (عیسوی، ۱۳۶۲: ۳۴۱)

^{۱۳}- واگذاری درآمد و هزینه ناحیه معینی به افراد از طرف پادشاه در قبال موجب و حقوق سالیانه یا ابراز شایستگی را تیول می‌گویند. (لمبتن، ۱۳۶۲: ۷۷۸)

^{۱۴}- کمک خرج

استفاده می‌شد و به‌طور معمول نحوه بهره‌برداری از آن به‌صورت اجاره بود:

۱ - محل مجرای آب (مجارای‌المیاه) به اجاره داده می‌شد و از طریق نهرکشی مورد استفاده قرار می‌گرفت. مال‌الاجاره آن اغلب به‌صورت محصولات جنسی بود مانند آنچه را که در سواد قبول اجاره قریه بوته‌ده (نور) از آقامحمد ارباب به تاریخ ۱۳۱۰ق/ ۱۲۷۱ش آمده است:

«یک ثلث مجرای آب قریه تجاسب‌کلا را از عالیجاه آقامحمد به موازی و مقدار بیست خروار شالی از حال تحریر که چهاردهم جمادی‌الآخر است الی مدت شش ماه تمام برداشت یک محصول کارسازی عالیجاه مشارالیه نماید، بدون عذر شرع مشروط بر اینکه معادل بیست جریب زمین از قریه بوته‌ده از این آب مشروب بشود و وجه اجاره مذکور را برسانند و زیاد از بیست جریب زمین مستأجرین حقیقی نداشته باشند، آب را تصرف نمایند» (ساکما/ ۳۴۷۵-۲۵۰، شماره برگ ۸)

پس از واگذار شدن قریه و آب چشمه جویبار^{۱۵} در سند به تاریخ ۱۸ برج حمل سیچقان‌نیل ۱۳۰۳ ش، نظر به اینکه آب چشمه نامبرده به قریه شرفدارکلای خالصه نیازمند آن بود و اراضی شرفدارکلا نیز بایستی از آب این چشمه آبیاری می‌شد، اداره مالیه شش دانگ آب را از افتخارالتجار نماینده شاهرودی به یکصد و بیست خروار (چهل من) شالی اجاره نمود که در رأس خرمن، مال‌الاجاره را پرداخت نماید در نتیجه مقدار پنجاه جریب در پی چشمه، نسق گذاشته شد که عایدات آن سیصد خروار شالی (چهل من) بود و پس از وضع مخارجات محلی، نظر به اینکه مؤجر نامبرده مبلغی بقایای مالیاتی داشت که در مقابل مال‌الاجاره سال گذشته وصول آن به تعویق مانده بود، مالیه از

ریاست کل عایدات داخلی تقاضا کرد تا اجازه پرداخت یکصد و بیست خروار مال‌الاجاره سال گذشته چشمه جویبار را مرحمت فرماید که بابت مالیات با مشارالیه محسوب شود. (ساکما/ wm - ۰۰۱۷۵۲-۲۳۰- NLAI)

نحوه اداره اراضی وقفی نیز بدین صورت بود که توسط متصدی موقوفات؛ برای مثال به مدت چهار سال به اجاره می‌رفت. زمانی که اراضی نامبرده به آب دسترسی نداشتند، به‌طور معمول، از زمین‌های مجاور به این اراضی آب می‌رساندند مانند مزرعه خشت‌شوار، موقوفه مدرسه صدر در بارفروش (بابل) که مباشر قریه علمدار می‌بایست از آن قریه به این زمین آب می‌داد تا بتواند زراعت آبی کند. بر اساس سند به تاریخ سلخ ذیقعد ۱۳۳۶ ق/ ۱۶ مرداد ۱۲۹۷ ش، زمینی که به اجاره داده می‌شد، کسی حق دخالت در آن ملک را نداشت و مستأجر موقوفه می‌بایست، مقدار مال‌الاجاره را به موقوف علیهم می‌داد و این درحالی بود که با تغییر متولی مدرسه هیچ موردی از اجاره تا زمان مقرر تغییر نمی‌کرد زیرا دخالت در ملک اجاره سبب خسارت مستأجر و ضرر موقوفه می‌شد اما با این حال، دخالت مأموران برای تصرف، موجبات اخلال امر زراعت و خسارت موقوفه را در مازندران همواره فراهم می‌نمود. (ساکما/ ۵۱۲۸-۲۵۰، شماره برگ ۱۴۶) مانند آب چشمه عمارت اشرف که بر شرب اهالی اشرف وقف بوده است و فاضل آب آن که در اصطخر خارج از شهر جمع می‌شد، مقداری جزئی از اراضی شلتوک‌زاری را مشروب می‌کرد تا عواید محصول آن را به مصرف فقرا و مستحقان اشرف برسانند. (ساکما/ ۲۸۰۳۴-۲۹۷، شماره برگ ۳۳)

۲- چشمه‌ها در هنگام مزایده انواع خالصجات مازندران به اجاره گذاشته می‌شد و شرایط اولیه

^{۱۵}- قریه جویبار و چشمه آن در بلوک گیلخوران/گیلخواران از توابع ساری

بود. (ساکما/ wm - ۰۰۱۷۵۲-۳۱۳- NLAI)

نحوه بهره‌برداری از قنات‌های مازندران به‌صورت حقایقه و اجاره بود. در مناطقی که مالکیت زمین و آب از هم جدا بودند، مالکان زمین، آب را از صاحبان قنات می‌خریدند. آب طبق یک گردش

مراقبت و نگهداری از این قنات‌ها به اندازه‌ای بود که در پیمان‌نامه‌های نحوه تعیین مباشر و وظایف آن، فصلی را به نگهداری قنات و مخارج مقنی‌های مازندران اختصاص می‌دادند چنانکه در فصل چهارم از ماده اول متن پیمان‌نامه مباشران معزالسلطان به تاریخ ۱۲ صفرالمظفر ۱۳۲۶ ق آمده است. (دهقان، ۱۳۸۹: ۳۴)

آب‌بندان‌ها

در هر یک از روستاهای مازندران، یک یا چند رشته آب‌بندان وجود داشت که از آب رودخانه و باران ذخیره و به انواع دارای حقایبه و بدون حقایبه تقسیم می‌شدند. در بهره‌برداری از آب‌بندان‌ها به مانند رودخانه‌ها از واحد سنگ استفاده می‌شد بدین‌صورت که سه دانگ، یک سنگ بود. صورت اسامی برخی از آب‌بندان‌های ساری مطابق سواد تحقیقات محلی ۱۳۰۶ ق به شرح زیر است: ۱- آب‌بندان قریه انارمرز ۲- آب‌بندان قریه قاجارخیل ۳- آب‌بندان قریه پنبه زارکتی ۴- آب‌بندان قریه ورکلا ۵- آب‌بندان قریه طبقده ۶- آب‌بندان قریه آکنده (ساکما / ۰۲۵۶۷۵-۲۴۰، شماره برگ ۵۰۱، ۱۰۵، ۹۴، ۸۶، ۸۲، ۸۴، ۸۰) و در بالای مزرعه جویباردشت نیز بر اساس گزارش رئیس ممیزی مازندران، به تاریخ ۱۰ ذی‌قعدة ۱۳۴۷ ق / ۳۱ فرودین ۱۳۰۸ ش، چهار رشته آب‌بندان به نام‌های برج‌علی آبندان، ثمین آبندان، قلی آبندان، سراج آبندان وجود داشت که علاوه بر زراعت آبی در مزرعه، زراعت خشکه نیز می‌شد و مرزهای آب‌بندان پیدا و مشخص بود و از بالای آب‌بندان مجرای آن‌ها از نهر مقداری که در وسط مزرعه واقع و خشکه‌کاری می‌شد، همجوار و مسطح می‌گردید و مابقی نهر و مجرای آب به طول زیاد به‌خوبی آشکار بود و مجرای نامبرده به رودخانه سیاهرود متصل می‌شد. (ساکما / ۰۱۷۵۲-۲۳۰: شماره برگ ۴۹۹)

با توجه به اینکه اساس اقتصاد روستاهای مازندران بر کشت محصول برنج قرار داشت، ساخت این مؤسسات آبی اغلب با همکاری مردم روستا صورت می‌گرفت. وجود آن بر ارزش ملک می‌افزود چنانکه در هنگام فروش به همراه ملک واگذار می‌گردید؛ برای مثال در بسیاری از فرمان‌های واگذاری اراضی خالصجات مازندران، این گونه از مؤسسات آبی به فرد خریدار منتقل می‌شد. نوع حقایبه آب‌بندان‌ها به مالکیت رودخانه‌هایی برمی‌گشت که از آن برای زراعت استفاده می‌کردند. معامله در زمین‌هایی که از آب‌بندان‌ها آبیاری و زراعت و نسق‌بندی می‌شدند به‌طور معمول، به‌صورت مناصفه و ارباب و رعیتی بود. (ساکما / Wm-۰۰۸۴-۰۲۵۶۷۵-۲۴۰-NLAI)

آب‌انبار

اغلب در مجاورت رودخانه‌ها به‌منظور ذخیره آب، احداث و توسط نهرکشی یا کانال آبیاری از آب رودخانه و باران تأمین می‌شدند و از این کانال‌ها برای شرب و مصارف کشاورزی استفاده می‌کردند. گنجایش و عمق زیادی داشتند و سقف آن‌ها به‌گونه‌ای تعبیه‌شده بود که آب را خنک نگه می‌داشت. از مشهورترین آن‌ها آب‌انبار ملک‌آرا بود. (عابدی، ۱۳۹۲: ۱۰۵) زمانی که باران زیاد می‌آمد و از رودخانه‌ها سیل جاری می‌شد، آب‌انبارهای منازل مازندران نیز پر از آب و برای زارعان مازندران رفاه و آسودگی حاصل می‌شد و از این نظر زارعان امیدوار بودند که حاصل زراعتشان در سال آینده بسیار خوب به عمل بیاید. (وقایع اتفاقیه، ۲۹ جمادی‌الاول ۱۲۶۹ ق، ش ۱۱۰، ۶۶۳-۶۶۲) به نظر می‌رسد در شهرهای چون ساری و اشرف و آمل از این آب‌انبارها برای آبیاری اراضی کشاورزی استفاده می‌کردند؛ برای مثال در دوران گذشته، رودخانه هراز در محله چاه سر آمل جریان داشت و از آن کانال‌هایی به شهر کشیده بودند به نحوی که هر خانه یک آب‌انبار داشت. از این

کانال‌ها برای آبیاری شالیزارهای اطراف شهر نیز استفاده می‌شد. (ملگونف، ۱۳۷۶: ۲۴۳)

مدیریت منابع آب

متصدی آبیاری را میراب می‌نامیدند که از مقام‌های مهم و موروثی بود. (لمبتن، ۱۳۶۲: ۳۸۰ به بعد) در دوره قاجار، میراب‌ها در مدیریت و توزیع آب در کنار عواملی چون اداره مالیه و حکومت منطقه عملکردی متفاوت داشتند. در مازندران، دولت، متصدی تقسیم آب رودخانه‌ها بود و این رودخانه‌ها دارای حقابه‌های رسمی دولتی بودند و به میزان حقابه که می‌بردند مبلغ و مقداری در سال بابت حقابه مطابق معمول سنواتی می‌پرداختند. بدین معنا که مالیات حقابه در این منطقه معمول بود. این نوع از مالیات باید به‌طور عادلانه به نفع دولت وصول و بر عایدات مملکت افزوده می‌شد. زمانی عواید میرابی در مازندران به‌وسیله عمال خالصه وصول و به جمع خالصه منظور می‌گشت که خالصجات مازندران منتقل می‌شدند در نتیجه مباشران املاک خالصه در تنظیم رودخانه‌ها و امور میرابی اقدام و مداخله می‌کردند.

در تقسیم آب رودخانه‌هایی که تحت نظر دولت قرار داشتند، گاهی حکومت منطقه هم در این امر نقش ایفا می‌نمود. بدین‌صورت که در دوره حاکمان استبداد، آب رودخانه‌های مازندران توسط مأموران حکومت بین مالکان املاک تقسیم و در مقابل تقسیم حقابه و نظارت در این کار مبلغی به نام میرابی دریافت و در «جزو جمع قدیم» عایدات مزبور به مبلغ ۷۵۰۰ ریال منظور می‌شد. (مانند رودخانه تجن در حدود ساری، رودخانه نکا در حدود اشرف و رودخانه هراز و شعبه آن در حدود بارفروش) پس از تشکیل مالیه در مازندران، عین

این عمل را مالیه انجام می‌داد و عواید مزبور را همه ساله به ترتیب اجاره و یا میرابی دریافت و به جمع عواید خالصه منظور می‌کرد اما از سال ۱۳۰۲ ق/ ۱۲۶۳ ش به بعد، مخارج میرابی را جزو بودجه مالیه مازندران منظور داشتند. (ساکما/ ۳۱۳۱۸-۲۴۰، شماره برگ ۳۰) به قرار گزارش مالیه محل، عایدات رودخانه‌های نامبرده، در هر سال، حدود ۳۴۲۶۰ ریال و مخارج سالیانه آن از ۲۳۶۰ تا ۵۰۱۵ ریال می‌شد. قبل از ممیزی و اجرای قانون مالیات اربابی، اداره مالیه، عوارض میرابی رودخانه‌ها را به مأخذ عایدات زیر دریافت می‌کرد:

«رودخانه نکا ۴۸ سنگ و پنج سیر میرابی از قرار هر سنگ هشت تومان، رودخانه تجن ۱۲۴ سنگ و بیست سیر مقدار شش سنگ آب اختصاص به قرای خالصه موضوع و بقیه ۱۱۸ سنگ و ۲۰ سیر است از قرار هر سنگ شش تومان و چهار قران، میرابی رود کاری و هراز به‌طور جریانه^{۱۶} در سال اخذ می‌شود و حد معینی ندارد. از هر جریب دو قران پانصد میرابی آن است». (ساکما، ۳۱۷۹۱-۲۴۰، شماره برگ ۹۷).

این اداره فقط مخارج و حقوق کل میراب و فوق‌العاده مأموران مالیه را در مدت تقسیم، آن هم در موقع قلت و احتیاج می‌پرداخت و بقیه مخارج تنظیم رودخانه‌ها را کمیسیون‌های محلی (که برای تقسیم آب از طرف مالکان انتخاب می‌شدند) از شاربان و خرده‌مالکان دریافت می‌نمودند. (ساکما/ ۳۱۳۱۸-۲۴۰، شماره برگ ۷۹) پس از قانون ممیزی، اداره عایدات داخلی برای اینکه به تقسیم و تسهیم آب بین قرای اربابی ترتیب منظمی داده شود و به این دلیل که خالصجات از این منابع آبی نیز بهره‌مند می‌شوند، مداخله اداره مالیه را ضرورت کامل

به: چارلز عیسوی، ۱۳۶۲. تاریخ اقتصادی ایران. ترجمه یعقوب آژند. تهران. گستره. ص ۶۱۵

^{۱۶} در مازندران دوره قاجار هر جریب نزدیک به ده هزار زرع مضرابی بوده است. (دهقان، ۱۳۸۹: ۷۹-۷۷؛ برای شرح بیشتر رک

می‌دانست. مخارجی که برای این کار تعلق می‌گرفت، به عهده مالکان بود که بایستی به ترتیب عادلانه، به نسبت اهمیت املاک خودشان این مخارج را بپردازند منتها باید این کار توسط اداره مالیه اقدام شود که از تعدیات مالکان نسبت به هم جلوگیری به عمل بیاید (ساکما، ۱۳۱۷۹۱-۲۴۰، شماره برگ ۸۲) و لزوم مالیات قانونی را دایره جزو جمع یا اداره ممیزی می‌توانست تشخیص بدهد (همان، شماره برگ ۸۱).

برای تقسیمات و حق‌الشرب سهام مالکان هر چندین نفر، یک نفر به نام میراب انتخاب می‌شد که اراضی تحت زرع را مشروب سازند و در مقابل

از روی جریانه، حق‌الزحمه دریافت دارند. در برخی از مناطق مانند گیلان (که رودخانه مهمی چون سفیدرود داشت)، مالکان زمانی از اداره کردن رودخانه ناتوان می‌شدند، به مالیه متوسل می‌گشتند تا از طریق مالیه، میراب تعیین شود. (ساکما/ ۳۱۳۱۸-۲۴۰، شماره برگ ۴۷، ۴۶) بعد از اجرای قانون ممیزی، اداره مالیه مانند گذشته در عمل آبیاری و حقایق تمامی رودخانه‌ها مداخله نکرد. ازین روی میراب‌ها با توجه به موقعیت هر یک از رودخانه‌های مازندران که تحت اختیار دولت قرار داشت، به دسته‌هایی تقسیم شدند که در جدول زیر آمده است:

جدول ۱- پیش‌بینی صورت مخارج اداره کردن رودخانه‌های مازندران (برای مدت چهار ماه)

نمره ترتیب	شرح	عده	حقوق ماهیانه		حقوق چهارماهه		ملاحظات
			ریال	دینار	ریال	دینار	
رود نکا							
۱	میراب کل	۱ نفر	۳۰۰	-	۱۲۰۰	-	
۲	میراب جزء	۲ نفر	۳۰۰	-	۱۲۰۰	-	
			۶۰۰	-	۲۴۰۰	-	
رودخانه تجن							
۱	میراب کل	۱ نفر	۴۵۰	-	۱۸۰۰	-	
۲	میراب سوار	۲ نفر	۳۶۰	-	۱۴۴۰	-	
۳	میراب پیاده	۸ نفر	۱۲۰۰	-	۴۸۰۰	-	
۴	مخارج سنگ‌روبی رودخانه	-	-	-	۳۰۰	-	
			-	-	۸۳۴۰	-	
رود کاری							
۱	میراب کل	۱ نفر	۴۵۰	-	۱۸۰۰	-	
۲	میراب سوار	۲ نفر	۳۶۰	-	۱۴۴۰	-	
۳	میراب پیاده	۶ نفر	۹۰۰	-	۳۶۰۰	-	
			۱۷۱۰	-	۶۸۴۰	-	
رود هراز							
۱	میراب کل	۱ نفر	۴۵۰	-	۱۸۰۰	-	
۲	میراب سوار	۲ نفر	۳۶۰	-	۱۴۴۰	-	
۳	میراب پیاده	۵ نفر	۷۵۰	-	۳۰۰۰	-	
			۱۵۶۰	-	۶۲۴۰	-	
	کل مخارج ۴ رودخانه		-	-	۲۳۸۲۰	-	

بنابراین در خصوص عملکرد میراب و حقوق میراب‌ها در مازندران به نظر می‌رسد، بعد ممیزی املاک اربابی، نقش میراب‌ها در مازندران پررنگ‌تر شد. در خور یادآوری است که وجوه میرابی فقط به عمل مالیات مربوط نبود، وجوهی بوده است که از بابت تقسیم آب رودخانه از مالکان دهات حقابه‌برها گرفته می‌شد تا به مصرف تعمیر رودخانه و حقوق میراب‌ها برسد.

موانع و چالش‌های مالکیت آب در نظام زمین‌داری مازندران

مهیا نبودن احداث نهر و مجرای آب (سوار نشدن آب)

گاهی به اراضی زراعی دور از رودخانه یا اراضی مجاور آن، در اصطلاح «آب سوار نمی‌شد». بدین شرح که در سواد گزارش شاهزاده اعظام‌السلطنه^{۱۷} آمده است: در میان سیزده محله پازوار در مشهدسر^{۱۸} فقط یک محله به نام رفوکلا زراعت آبی داشت درحالی که حدود بیست جریب دیگر به دلیل دوری از رودخانه بابل، به آب دسترسی نداشتند و زراعتشان به خشکه منحصر بود. اغلب محله‌های مشهدسر نیز زراعت شالی نداشتند درحالی که در مجاورت رودخانه واقع شده بودند. برای رفع این مشکل پیشنهاد شده بود «از بعضی مخارج لازم برای سوار کردن آب رودخانه بابل به اراضی قابل زرع مضایقه نشود و اگر مالکی حاضر شود که این دو فرسخ و نیم از مشهدسر تا بارفروش را شوسه بکند علاوه بر اینکه از آن‌ها عایدات زیادی دریافت دارد، رعیت پازوار که تمام مکاری^{۱۹} هستند، آن وقت زارع می‌شوند و عمل رعیت از این مأخذها خیلی زیاده‌تر خواهد شد» (ساکما/ ۳۴۲۴۵-۲۴۰، شماره برگ ۱۱۷-۱۱۴)

در روستاهایی که به آب دسترسی نداشتند و زراعت آبی امکان‌پذیر نبود، از منابع آب

روستاهای مجاور کمک گرفته می‌شد؛ برای مثال در گزارش به تاریخ ۱ برج اسد ایت‌ئیل ۱۳۰۱ ق خطاب به مقام ریاست کل خالصجات آمده است که مقدار بسیاری از اراضی گالشکلای خالصه قابلیت زراعت آبی را دارد اما مجرای آب ندارد. برای رفع این مشکل پیشنهاد شد تا نهری از اراضی رکن‌کلای اربابی احداث شود که این اقدام برای اهالی روستای رکن‌کلا نیز ضرری نخواهد داشت زیرا در صورت افزونی آب استفاده خواهند نمود (ساکما/ ۲۵۸۶۹-۲۴۰)

غصب حقوق آب با مالکیت زمین

در اینجا منظور از حقوق آب، حق مالکیت و چگونگی کنترل و مصرف آب است. با توجه به اینکه در ایران، حقوق آبیاری با مالکیت زمین ارتباط مستقیمی پیدا می‌کند، مالکان اراضی به‌آسانی می‌توانستند با توسعه زمین‌داری، آب را به مالکیت خود درآورند (خسروی، ۱۳۴۸: ۵۵) این در حالی بوده است که آب و تقسیم آن به‌عنوان عامل عمده محدودکننده توسعه کشاورزی در ایران اغلب با خشونت و نزاع همراه بود؛ برای مثال در کجور مازندران، قبل از دوره قاجار، اسناد تاریخی متعددی از سال‌های ۱۲۰۰-۱۱۲۰ ق راجع به دعوای طولانی‌مدت خاندان سادات علی‌آباد میر و خاندان‌های دیگر ساکن بلوک کران و خیرود کنار با خاندان کیامکارج در موضوع آب خونی‌چشمه (چشمه کرد اُ- چشمه گرداب) وجود دارد که یکی از آن‌ها اسناد حکم شرعی ملا محمد هادی طالقانی به تاریخ شعبان ۱۱۹۷ ق موجود است (نعمایی، ۱۳۸۸: ۱۲۱) بنابراین غصب حق مالکیت آب مکرر اتفاق می‌افتاد و برای مالکان بزرگ امری عادی بود که رعایا را از آب محروم کنند مانند

^{۱۸} - بایلسر کنونی

^{۱۹} - کرایه دهندگان چهارپا (دهخدا، مدخل مکاری).

^{۱۷} - وی تا سال ۱۳۲۷ ق از طرف مرحوم اتابک، مباشرت بلوک مشهدسر و

پازوار را بر عهده داشت.

امیرمکرم لاریجانی که به دلیل قدرت ملکداری در منطقه، مدیریت رودخانه هراز را در دست داشت و به مردم از بابت آب رودخانه هراز بسیار آزار می داد (ترکمان، ۱۳۷۸: ۲۷۸) نمونه دیگری از غصب حق مالکیت در این منطقه، دعوای خدیجه خانم، عیال معظم الممالک را می توان نام برد که به وکالت حاجی میرزا محمدعلیخان از آقای نظام السلطان، مدعی به چشمه سیاهوردی و بیست و پنج جریب اراضی متعلق به آن که در حدود آمل واقع بود، به دنبال تحقیقات محلی مورخه ۲۹ رجب ۱۳۳۴ ق، به مالکیت خدیجه خانم حکم صادر شد (ساکما/ ۲۷۷۵-۰۰۲۹۸، شماره برگ ۱۱)

بر سر مالکیت منبع آب و استفاده از آن در بین مردم و مالکان روستاهای مازندران همواره اختلاف پیش می آمد که در گزارش اداره مالیه مازندران مورخه پنج سرطان ۱۳۰۰ ش و ۱۶ حوت ۱۳۰۲ ش، چشمه خالصه شرفدارکلا در نتیجه درگیری بین مالکان و متصرفان دو روستای جویبار و شرفدارکلا به قریه شرفدارکلای خالصه اختصاص می یابد. بدین شرح که مطابق تحقیقات محلی مشخص می شود، این قریه درواقع دارای چهار محله به نام های تپه سر، شرفدارکلا، جوارپشت و جوارسر بوده است که چشمه نامبرده در محل جوارسر قریه شرفدارکلا قرار داشت و در اصل اسم چشمه، جوارسر بوده است. متصرفان قریه جویبار، چشمه جوار را چشمه جویبار نامیدند. زمانی که ناصرالدین شاه به مازندران آمد و چند روزی در قریه جویبار توقف نمود، آب شرب در جویبار پیدا نشد به این منظور، اردوی سلطنتی، رعایای قریه جویبار را به شرفدارکلا آوردند و از آب چشمه برای اردوی سلطنتی بردند. چندی بعد متصرفان جویبار درصدد بردن آب برآمدند. نهر احداث نمودند و با اسلحه آب را به جویبار می بردند و رودخانه سیاهرود را که در بین چشمه و قریه جویبار است، بندی ایجاد و

توسط نهر، آب را از روی رودخانه جریان داده و مزارع جویبار را با آب چشمه شرفدارکلا کلا زراعت می نمودند. (ساکما/ ۱۴۷۷Wm - ۰۰۱۷۵۴ - NLAI-۲۳۰) در ادامه این نزاع که بارها بر سر مالکیت آب چشمه پیش آمد، مالیه مازندران در جواب حکم راجع به چشمه شرفدارکلا که مالک جویبار ادعا داشت آن را به دلایل زیر رد کرد و نوشت:

۱- بهترین دلیل بر صدق مدعا، تحقیقات محلی و وضعیت طبیعی چشمه شرفدارکلا بود زیرا در مازندران چشمه ای نبوده است که در ملک باشد و آب به اراضی آن ملک سوار نشود و آن اراضی و آن ملک لم یزرع بماند و آب آن چشمه به یک قریه و بلوک دیگر برود. در تمامی قرا و قصباتی که چشمه در آن ملک واقع است، اول آن چشمه، اراضی همان ملک را مشروب می کند سپس اگر اضافاتی داشته باشد، فاضل آب آن به قرای زیر دست می رود. چشمه هایی که در یک ملک واقع و آب آن به املاک دیگری اختصاص داده شده باشد عبارت است از چشمه هایی خواهد بود که اراضی خود را به واسطه ارتفاع و بلندی نمی تواند مشروب کند بنابراین به اراضی قریه مجاور دیگر می رود تا آن اراضی را آبیاری کند (ساکما/ ۱۷۵۴ - ۲۳۰۰۰، شماره برگ ۴۸۵)

۲- تصرفات مالکان جویبار را به هرج و مرج دوره های گذشته و قدرت صاحب منصبان قشونی مربوط دانست (همان، شماره برگ ۴۷۶) برای مثال رئیس قشون مازندران که برای شرب محل در اوایل سلطنت ناصرالدین شاه به وسیله یک قسمت از آب چشمه، حدود دو سه فرسخ از بلوک اسفیورود و شوراب به بلوک گیلخوران، نهر حفر نمود که آب را به جویبار ببرند ولی به واسطه دوری راه نزدیک به بیست هزار زرع مسافت آب به قریه جویبار نرفت و مجرای آن هم خراب شد. بعد از مدتی مالک قریه ماچک پشت به واسطه نداشتن آب کافی و احتیاج به

آب با صاحب‌منصبان جویباری تبانی نمود و آب شرفدارکلا را به‌عنوان چشمه جویبار اجاره کرد و آب را به قریه ماچک پشت برد که این مسئله مورد اعتراض متصرف شرفدارکلا واقع گشت سرانجام آب مورد نظر را نصف شرفدارکلا استفاده نمود و نصف را ماچک پشت برد. به دنبال آن مجدداً بین متصرفان جویبار و شرفدار کلا منازعه رخ داد و از آب چشمه فقط متصرف شرفدار کلا استفاده نمود. (همان، شماره برگ ۴۸۵-۴۸۴)

۳- صاحب‌منصبان جویباری در سال ۱۳۱۶ ق در صدد برآمدند که برای مالکیت خود اسنادی تهیه نمایند؛ که در سال ۱۳۲۱ ق از مقام سلطنت، تقاضای صدور فرمان انتقال قریه جویبار نمودند و بر طبق تقاضای فوق، فرمان انتقال صادر شد بدین شرح که در فرمان، قریه جویبار و چشمه آن را در بلوک گیلخوران نوشتند. در صورتی که اسم محلی چشمه شرفدارکلا، جوار بود و جوار در لغت گیلکی و مازندرانی به معنای کنار و بلندی است. (همان، شماره برگ ۴۷۶، ۴۸۴)

۴- مالکان جویبار از دوره استیجاری طومانیانس، در صدد استفاده از اخذ سند برآمدند و قبول اجاره‌هایی از متصدیان مالیه و طومانیانس به دست آوردند. پس از این شرح و بسط‌ها، مالکان جویبار حاضر شده بودند دعاوی خود را به مالیه به آن شرط خاتمه دهند که مالیه سالی چهل خرور شالی به آن‌ها بدهد اما مالیه عقیده داشت سالیانه دو هزار من شالی به آن‌ها داده شود در عوض آن‌ها اظهار دعاوی خود را صلح کنند (همان، شماره برگ ۴۷۶)

اختلاف و معارضه اداره مالیه و اوقاف بر سر خالصه بودن چشمه عمارت بهشهر که از زمان پادشاهان صفویه وقف‌شده بود (ساکما/۲۸۰۳۴-۲۹۷، شماره برگ ۳۳) نمونه‌های دیگری از این نوع اختلافات

است. انتقال حقابه دولتی و معمولی، چشمه‌ها، آب‌بندان‌ها و مجرای آب به همراه اراضی خالصه در فرمان‌های واگذاری خالصجات همواره مشکلاتی را برای اهالی چند روستا و فرد خریدار در نحوه مصرف آن ایجاد می‌کرد. (ساکما/۹۲۲۶-۲۴۰، شماره برگ ۷) در اراضی وقفی نیز زمانی که متصدی موقوفه برای ترقی زراعت آبی، آب‌بندان و نهرهای جدیدی احداث می‌کرد (ساکما/۵۱۲۸-۲۵۰، شماره برگ ۱۴۶) عملکرد وی، کدخدا و میرآب در مدیریت نهرهای ایجادشده برای آبیاری زمین‌ها مهم بود زیرا زمانی که رعایا حقابه نمی‌دادند، میرآب، نهرها را به سمت زمین‌های دیگر باز می‌کرد و مانع آبیاری به زمین‌های مورد نظر می‌شد مانند آنچه که به تاریخ ۲۱ شوال ۱۳۴۴ ق/۱۳ اردیبهشت ۱۳۰۵ ش «رعایای خشت‌شوار می‌گویند که عن‌قریب میرآب محمودآباد و بیشه‌سر آمدند نهر را باز کردند و تمامی آب ما را بردند» (همان، شماره برگ ۴۰۹) و در نتیجه این اقدامات زندگی بر رعایا سخت می‌شد.

مسئله اجاره دادن رودخانه‌های ساحلی برای صیادی تا اواخر سلطنت احمدشاه (مکنزی، ۱۳۵۹: ۸۰، ۱۱۳، ۹۰، ۱۱۷؛ ملگونوف، ۱۳۷۶: ۲۱۱؛ ساکما/۷۹۳۶-۲۴۰) به افراد و اتباع خارجه (روس‌ها و ارمنه) و مالکان منطقه^{۲۰} از موارد دیگری است که حق آب با نوع مالکیت زمین را مطرح می‌کند. بر اساس گزارش اسناد به تاریخ ۱۳۴۶-۱۳۴۲ ق/۱۳۰۶-۱۳۰۲ ش، اجاره عواید صید ماهی حلال و حرام تمامی شیلات سواحل دریای مازندران و رودخانه‌های آن از جمله آمل، اشرف، بارفروش، ساری، چالوس و تنکابن به افراد به‌خصوص به اتباع خارجه سبب می‌شد تا مورد اعتراض مالکان قرار گیرد زیرا آن‌ها رودخانه‌هایی که از بین املاکشان می‌گذشت، متعلق به خود می‌دانستند. این اختلاف

^{۲۰} - مانند میرزا ولی‌الله خان رودگر، سررشته‌داری کل افواج محال ثلاث و

ولایت استرآباد. (رودگر کیادار، ۱۳۸۱: ۱۳۶)

در هنگام سد و بند بستن تمامی این رودخانه‌ها ظاهر می‌شد به همین دلیل، مالیه می‌کوشید این رودخانه‌ها را سریع‌تر به افراد اجاره دهد تا مبادا به دولت ضرری وارد شود. (ساکما/ ۷۹۳۶-۲۴۰؛ همان: ۲۴۰-۰۲۰۶۷۵)

از موارد قابل ذکر دیگر، دریافت عایدات میرابی از اراضی که از چشمه اختصاصی و فاضل آب آن مشروب می‌شدند و از رودخانه فاقد حقابه بودند مانند عایدات میرابی رودخانه هراز به مبلغ ۵۶۵ قران بابت حقوق میرابی سه ساله ۱۳۰۸، ۱۳۰۷، ۱۳۰۶ ش قریه ممرزکتی و دنگ بیا واقع در بلوک دابوی آمل که مأمور وصول عایدات، دریافت نمود. (ساکما/ ۰۳۱۷۹۱-۲۴۰، شماره برگ ۲۴-۲۳) بنابر آنچه اشاره شد، در حقیقت، آب تابع نوع مالکیت زمین بود و عرضه زمین نیز به اشکال مختلف چون خالصجات تیولی، خصوصی و وقفی در مازندران صورت می‌گرفت. بهره مالکانه نیز به هردو عامل اختصاص می‌یافت. با این تفاوت که بهره مالکانه آب در مقابل زمین ناچیز بود (کرمی، ۱۳۹۷: ۹۰) زیرا در هنگام بهره‌برداری از اراضی زراعی بود که آب اهمیت می‌یافت.

نحوه دریافت باج و عوارض آبیاری

از مواردی که همواره سبب اختلاف و نارضایتی مردم روستا می‌شد، موضوع باج آب غیرمشروع بود؛ برای مثال باج آب قریه بوته‌ده (واقع در بلوک نور مازندران) ستم آشکاری از سوی مالکان تجاسب‌کلا (محل مجاور آن) به این موقوفه بود و در سواد مقبل‌الملک، عضو کابینه وزارت عدلیه آمده است که قریه تجاسب‌کلا آب بسیاری داشت. بر اساس سند به تاریخ ۱۴ برج حمل تنگوزئیل ۱۳۰۱ ق/ ۱۲۶۲ ش، چشمه‌ای جاری از این قریه عبور می‌کرد تا زراعت بوته ده نور را

مشروب نماید. به این منظور، حدود چهل و پنج سال قبل، قراردادی مابین متولی و مالکان بسته شد که بیست خروار^{۲۱} شالی برای مشروب شدن قریه نامبرده در اول پائیز بپردازند. (ساکما/ ۳۴۷۵-۲۵۰، شماره برگ ۱۶، ۱۷) همین موضوع، بارها سبب نارضایتی و اقدامات خودسرانه بین دو روستا شد که برای مثال میرقوام‌الدین متولی موقوفات به اشتباه، امین اوقاف و نایب الحکومه نور را وادار می‌کند محصول آنجا را توقیف نماید در صورتی که امین اوقاف و نایب الحکومه بدون اطلاع عدلیه محل حق نداشتند چنین اقدامی نمایند (همان، شماره برگ ۱۷) یا اینکه بارها مباشران قریه تجاسب‌کلا به محل موقوفه می‌رفتند و بدون اجازه و اطلاع قبلی مقدار بیست خروار و گاهی اوقات بیست دو خروار و نیم که درست نصف کل منافع حاضر محل مزبور بلکه زائد بر آن بود از محصول موقوفه برداشت می‌نمودند. (همان، شماره برگ ۱۲۸) علاوه‌براین، اثرات منفی مالیات آبیاری نیز در توسعه کشاورزی مازندران نقش مهمی ایفا می‌نمود. به‌ویژه در زمان بحران اقتصادی کشور و کساد بازار برنج، کلیه مؤدیان مالیاتی پریشان می‌شدند و وصول میرابی جریبی ۲/۵ ریال بدون فشار فوق‌العاده به‌وسیله مأموران اجرا، انجام‌پذیر نبود (ساکما/ ۰۳۱۷۹۱-۲۴۰، شماره برگ ۴۸) و اینکه میزان مالیات آب بعد از ممیزی املاک اربابی توسط دولت نیز، مشکلات زیادی برای مالکان به وجود آورد. بعد از اجرای این قانون، مالیه مازندران همچنان جریبی دو ریال که جزو عوارض بوده و طبق ماده ۱۴ قانون ممیزی الغا شده بود، از مالکان به‌شدت مطالبه می‌نمود و درصدد بود که مخارج تنظیم آب رودخانه کاری را به مالکان تحمیل نماید، درحالی‌که انتظار می‌رفت که کارکنان دولت حافظ اجرای قوانین موضوعه باشند. دولت مالیاتی را که دریافت می‌کرد

^{۲۱}- واحد وزن معادل با ۱۰۰ من یا تقریباً ۲۹۰ کیلوگرم (عیسوی، ۱۳۶۲: ۶۱۵)

هریک از موارد گفته شده محدودیت‌هایی را نیز به همراه داشت.

عملکرد و مداخله صاحب‌منصبان نظامی در تصرف خالصات

تصرف آب و جعل اسناد در مالکیت آب چشمه و دیگر منابع تأمین آب، بارها در اسناد مازندران توسط سرکردگان و صاحب‌منصبان نظامی اشاره شده است؛ برای مثال می‌توان به عملکرد یکی از امرای نامی و صاحب‌منصبان نظامی در مازندران، لطفعلی‌خان کلبادی^{۲۲} را در خصوص حق آب قراپه از ایل افغان نام برد که بیشتر از ده سال حق آب آن‌ها را از رودخانه نکا به عنف می‌برد درحالی که مالیات دولت را از بابت آب نامبرده، اهالی قره‌تپه می‌دادند. (ساکما/ ۲۹۳۰۰۴۹۸۵) و علاوه بر آن اقدامات صاحب‌منصبان نظامی و مالیه در خصوص مالکیت چشمه شرفدارکلا نمونه دیگری از عملکرد این صاحب‌منصبان نظامی است که در مطالب مربوط به چشمه جویبار بدان اشاره شد. در این خصوص، عملکرد صاحب‌منصبان خارجی نیز قابل ذکر است. بدین شرح که پاتایوف یکی از صاحب‌منصبان روس به شیرگاه که محل سرباز و خالصه دولت و مرتع اهل سوادکوه بود، وارد شد تا املاک آنجا را خریداری یا اجاره نماید. به این منظور این مناطق را متصرف شد و در بلوک شیرگاه دخالت و ۱۶ بیرق را در آبادی‌های آنجا نصب نمود. این اقدام، سبب وحشت رعیت و اهالی آنجا شد در نتیجه امور زراعت آنجا را دچار اختلال کرد و این پرسش برای اهالی سوادکوه مطرح شد که «دولت علیه ایران املاک رعیت را به چه مناسبت به اتباع خارجه منتقل می‌کند در صورتی که تبعه خارجه از نظر قانون حق ندارد و هم این بلوک شیرگاه منبع آب رودخانه بزرگ تالار است و نزدیک به دو کرو

بدین جهت بود که فقط به نام آنکه آب جزو خالصه و مزارع را مشروب می‌نماید والا زمین و گاو و بذر و مزارع متعلق به مالک بود فقط همان آب را که یکی از ارکان خمسه زراعت است، دولت می‌داد و در مقابل صدی سه به نام مالیات استفاده می‌نمود. (همان، شماره برگ ۳۶) مالیه طبق ماده ۱۴ قانون موظف بوده است با مخارج خود و بدون اخذ میرابی در تنظیم رودخانه‌ها و تقسیم آب اقدام نمایند که پیامد اجرای این قانون در مازندران بدین صورت بود که دولت پس از ممیزی اعلام نمود وجوهی که تاکنون بابت حقوق مالکانه دریافت می‌نمود، کماکان وصول خواهد شد و هر دفعه متناسب با وضعیت اقتصادی کشور با یک عنوانی، عوارض را مطالبه می‌نمودند در نتیجه از همان ابتدای اجرای این قانون در مازندران چندین بار سبب شکایت مالکان و تاجران به اداره کل عایدات و مستشار اقتصادی شد. (همان، شماره برگ ۳۱-۳۲) زیرا بر اساس سواد مالیه مازندران به تاریخ ۹ خرداد ۱۳۱۲ ش خطاب به مالکان شهر بابل می‌توان دریافت تا این تاریخ، حکم الغای مطالبه جریبی دو ریال میرابی در مازندران صادر نشده بود و مالیه همچنان این مبلغ را مطالبه و دریافت می‌نمود. (همان، شماره برگ ۹۲)

یکی از مباحث مهم و تأثیرگذار در مناسبات زمین‌داری مازندران دوره قاجار، نظام بنیچه سرباز است. بر اساس این نظام، هر روستا موظف بود به نسبت مقدار مالیات خود تعدادی سرباز در اختیار مقامات حکومتی بگذارد. با توجه به اینکه اساس محاسبه این کار می‌توانست مقدار زمین زیر کشت، مقدار آب موجود، جمعیت یا شمار دام متعلق به ایل باشد (فلور، ۱۳۷۷: ج ۴، ۴۵۶؛ ر.ک به: سفرنامه میرزا ابراهیم، از ۸۸ به بعد) مبنای قرار دادن

^{۲۲} - معروف به سالار مکرم و سردار جلیل که سوار و پیاده ابوابجمعی داشت.

دارای مراتع و مزارع و جنگل است و آن نیز به اهالی سوادکوه تعلق دارد» (استادوخ/ ۱-GH1332-K45-P54-4)

نقش آب و حوادث طبیعی در اقتصاد و توسعه کشاورزی

کشاورزی در تاریخ ایران به وجود آب و نظام آبیاری منسجم بستگی داشت و وجود آن، توزیع و تراکم جمعیت را تحت تأثیر قرار می‌داد و در مقام مهم‌ترین منبع درآمد دولت، سنگ بنای ثروت طبقات حاکم و معیشت بسیاری از مردم ایران به شمار می‌رفت ازین روی در شریعت اسلام هزینه قسمتی از خراج را به آب و برای حفظ منابع آبیاری اختصاص دادند و در رسالات تئوری حکومت، کشاورزی شکوفا و حفاظت از منابع آبیاری توسط حاکم را بنیاد اقتصادی دولت دانستند (لمبتن، ۱۳۷۲: ۱۷۴)؛ بنابراین نشان دادن تحولات کلی ایران در قرن نوزدهم که به توسعه کشاورزی منجر شده باشد، بسیار مشکل است اما در حقیقت مسئله آبیاری در سراسر تاریخ ایران تأثیر بسیاری در امور کشاورزی داشت. (عیسوی، ۱۳۶۲: ۲۱۷) این مسئله بارها در گزارش روزنامه مازندران دوره قاجار آمده است که مردم روستا به سبب نیامدن باران بسیار مضطرب می‌شدند به نحوی که دست از زراعت برمی‌داشتند تا زمانی که باران می‌آمد و اضطراب رعایا آنجا برطرف می‌گردید با امیدواری (وقایع اتفاقیه، ۱۷ رمضان ۱۲۶۷ ق، ش ۲۴، ۱۱۴/۱) به کار شیار زمین و تدارک آن مشغول می‌شدند زیرا با آمدن باران، هم آب در تمامی رودخانه‌های مازندران جاری می‌شد و هم محصولات غلات آنجا نیز از قبیل گندم و جو و باقلا خوب به عمل می‌آمد و زارعان محصول دیمی خود را می‌کاشتند. (وقایع

اتفاقیه، شانزده رجب ۱۲۶۸ ق، ش ۶۶، ۱/۳۷۰؛ همان، ۲۱ ربیع‌الثانی ۱۲۷۱ ق، ش ۲/۲۰۶، ۱۳۲۰-۱۳۱۹؛ همان، ۱۶ ربیع‌الاول ۱۲۶۸ ق، ش ۴۹، ۲۶۲/۱) زیرا در مازندران به زمین پنبه، نیشکر، گندم و جو، آب‌دستی نمی‌دادند (میرزا ابراهیم، ۲۵۳۵: ۱۰۱)

نبود رودخانه‌های دائمی نیز در مازندران همواره سبب می‌شد تا زراعت و بهره‌برداری از زمین را تحت تأثیر خود قرار دهد به خصوص زمین‌هایی که از رودخانه دارای حقابه بودند؛ برای مثال حقابه قریه خالصه شرفدارکلا از رودخانه تجن یک سنگ و نیم بود که روی هم رفته ۴۰ جریب زمین پی آب رود زراعت می‌شد ولیکن آب رودخانه اعتباری نداشت و دائمی نبود بدین صورت که «اگر باران نرسد، زراعت خشکه می‌شد» چنانکه در سال ۱۳۰۹ ش زراعت پی‌رود قریه شرفدارکلا به‌طور کامل خشک شد (ساکما، ۱۷۵۴/۲۳۰۰، شماره برگ ۳۸۶) بنابراین با شرح فوق، اعتبار زراعت شلتوک‌زاری قریه شرفدارکلا فقط با استفاده از چشمه شرفدارکلا بود چنانچه در گزارش به تاریخ ۱۳۰۸/۹/۳۰ ش آمده است که مال‌الاجاره شرفدارکلا در سال‌های ۱۳۰۸، ۱۳۰۹، ۱۳۰۷ ش از قرار سالی ۲۶۱۲۹ من^۳ شلتوک بود. هرگاه آب چشمه قطع می‌شد فقط سالی چهل جریب پی آب رود زراعت می‌شد و ۹۶۰۰ من عوائد به دست می‌آمد و خسارت دیگری هم به واسطه نداشتن آب ثابت، ایجاد می‌شد بدین شرح که «اگر شرفدارکلا از چشمه اختصاصی خود محروم شود، سالی در حدود ۱۶۵۲۹ من خسارت شلتوک خواهد داشت». (ساکما، ۱۷۵۴/۲۳۰۰: شماره برگ ۳۸۶) و با چشمه‌هایی که به مقدار جزئی، در موقع بارندگی آب داشتند، زراعت نمی‌شد یا چشمه‌هایی که در

به: چارلز عیسوی، ۱۳۶۲. تاریخ اقتصادی ایران، ترجمه یعقوب آژند، تهران: گستره. صص ۶۱۵-۶۱۴)

^۳- این واحد وزن انواع متعددی دارد. من تبریز که به باتمان هم معروف بود معادل با چهار چارک یا تقریباً ۲/۹۵۰ کیلوگرم بود (ر.ک

پستی واقع بودند، به همراه بارندگی، آب آن به طور تقریبی، سه جریب زمین را آبیاری می نمود مانند چشمه سیدعابدین در شرفدارکلا (ساکما/۱۷۵۴، ۲۳۰۰، شماره برگ ۳۸۶) بنابراین اهمیت آب در توسعه کشاورزی مازندران از زمان زراعت و نسق بندی اراضی آبی آشکار می شد و این موضوع با مسئله کمبود آب ارتباط نزدیکی پیدا می کرد. بدین شرح که کار زراعت، طبق قرارداد بین ارباب و رعیت پیش نمی رفت و مخارج و عایدات محصول تغییر می کرد و آب به اراضی نسق گذاری شده نمی رسید در نتیجه محصول فاسد می شد مانند اراضی روستاهای طبقده، انارمرز، ورکلا و.. که از آب بنندان و رودخانه آبیاری می شدند، به هنگام کمبود آب، تمامی یا قسمتی از اراضی شناسب شده در همان ابتدای کار از بین می رفت یا موقع خوشه بندی و دانه بستن محصول، آب تمام می شد. این اراضی به طور معمول به آیش داده می شدند بنابراین به همراه تقویت زمین، میزان آب نیز اهمیت بسیاری داشت. (ساکما/۲۵۶۷۵-۲۴۰) موضوع نسق بندی زمانی مهم بود که مالکان بدون توجه به سهم آب خود از رودخانه ها، اراضی زیادی را به زیر کشت می بردند. این اقدام همواره سبب اختلاف بین مردم روستا در دریافت و تقسیم آب می شد. در گزارش های روزانه محمدجعفرخان (۱۳۲۰ ق/۱۲۸۱ ش) آمده است که معزالسلطان در خصوص اجاره و نسق گذاردن املاک بارفروش ایرادها به میرزا احمدخان مباشر وارد آورد که:

«[...] شما به چه دلیل امساله می خواهید هشتاد جریب در درزیکلا نسق بگذارید و فردا که به جهت آب معطل بمانید چه خواهید کرد؟ در حال که بالادست شما لچال آب را باید ببرد و پایین دست شما قصاب آب را می برد و آن وقت مجبورم که بگویم نهر درزی کلا را بالمره بکوبند و ضرر فوق العاده به رعیت شما وارد آورده، زراعت ایشان

خشک خواهد شد و ایراد سید آقای کلانتر و غلام قصابی هم وارد است که اگر از ما دو هزار خروار جنس می خواهید و نوشته از ما گرفته اید این نسق را چرا در درزی کلا گذاشته اید و تا من خاطره دارم از پانزده جریب الی سی جریب درزیکلا را ندیده ام بیشتر نسق کنند و فرمود من نمی گذارم این نسق را در درزی کلا بگذارید [...]». (سفرنامه مازندران، ۱۳۸۹: ۲۱۹-۲۱۸)

اختلاف بر سر تقسیم آب رودخانه کاری از موارد دیگر قابل ذکر در خصوص نسق گذاری است که همواره مابین مالکان شهر آمل و بابل پیش می آمد بدین شرح که رودخانه کاری یکی از شعبات رودخانه هراز بوده است و به طور معمول، یک قسمت از زراعت شلتوک زاری قرای حوزه آمل و زراعت شلتوک زاری قرای حوزه بابل را مشروب می نمود اما در موقع کمبود آب بین اهالی و مالکان آمل و بابل بر سر تقسیم آب این رودخانه همواره مذاکره و مشاجره پیش می آمد (ساکما/۳۱۷۹۱-۲۴۰، شماره برگ ۵۳) که در حقیقت ریشه این اختلاف به ده دوازده سال پیش از تاریخ ۱۳۱۲ ش برمی گشت. بنا بر گزارش این سند، امین مالیه آمل و بابل برای حل این اختلاف، بر سر بند هراز و کاری رفتند و با توافق نظر آب را در پنج سهم قسمت هراز و سه سهم قسمت کاری تقسیم نمودند و از جانب دو طرف نگهبان گذاشتند که تصرفاتی در قرارداد نشود. (همان، شماره برگ ۵۵)

زلزله نیز در برخی اوقات مجرای آب را خراب می کرد مانند نهری که سرچشمه آن چشمه جویبار بود و به ربع فرسنگ تا مزرعه شرفدارکلا مسافت داشت، بنا بر گزارش سند به تاریخ ۱۰ ذی قعدة ۱۳۴۷ ق/ ۳۱ فروردین ۱۳۰۸ ش، در هشتاد سال پیش، به دنبال زلزله شدیدی، مجرای همین آب خراب شد. مالکان از عهده ساختن برنیامدند ازین روی با صرف نظر از زراعت

شالیکاری جویبار، آب مزبور را به دهات همجوار اجاره می‌دادند (ساکما، ۱۷۵۴-۲۳۰، شماره برگ ۴۹۹) بنابراین بی‌توجهی کامل به وجود منابع آبی پایدار، هزینه زیاد حمل و نقل نظام مالکیت ارضی که زارعان را از اتخاذ روش‌های سازنده و توسعه محصول باز می‌داشت (عیسوی، ۱۳۶۲: ۳۱۹) از جمله عوامل دیگری بودند که در میزان تولیدات کشاورزی و توسعه اقتصادی در ایران نقش مهمی ایفا می‌کردند.

سیاست و نظارت دولت بر منابع و مؤسسات آبیاری

در پیشبرد کشاورزی و آبیاری عامل سیاسی نقش بسیار مهمی داشت و امنیت حاصل از آن وسیله و رکن اساسی کشاورزی بود. این امنیت را فقط یک قدرت مقتدر حکومتی می‌توانست برقرار سازد اما هیچ یک از حکومت‌ها با وجود درک عمومی از اهمیت کشاورزی دارای سیاست واحدی نبودند. (لمبتن، ۱۳۷۲: ۱۷۷-۱۷۳) دولت زمانی برای توزیع آب نظارت داشت که از آب سد، نهر و رودهای مهم برای آبیاری اراضی دولتی استفاده می‌شد (نعمانی، ۱۳۵۸، ج ۱، ۴۴۵) مقدار آبی که از این رودخانه‌ها می‌شد، جاری کرد، به تغییر حجم آب و نیازهای محلی و عرف و عادت بستگی داشت. مجاری حفر شده برای جاری شدن آب رودخانه‌ها به کسانی متعلق بود که آن‌ها را حفر می‌کردند و لایروبی و تعمیر آن‌ها نیز بر عهده صاحبان‌شان بود. در دهات اربابی برای حفظ و تعمیر شبکه‌های آبیاری از رعایای منطقه بیگاری می‌گرفتند. (نعمانی، ۱۳۵۸، ج ۱، ۴۴۵) یک نمونه از نظارت و مدیریت دولت بر منابع آب در مازندران زمانی بود که باران نمی‌آمد و مردم در اضطراب زیاد بودند. شاهزاده مهدی‌قلی میرزا چندین میراب بر سر

رودخانه‌ها می‌گذاشت تا حقایق هرکس را موافق معمول بدهند و به یکدیگر زیادتی نکنند که باعث فساد و نزاعی بشود (وقایع اتفاقیه، ۳ رمضان ۱۲۶۷ ق، ش ۱، ۱۰۵/۲۲-۱۰۴) و نواب شاهزاده مصطفی‌قلی میرزا، حکمران مازندران زمانی که زارعان به جهت نیامدن باران در نگرانی بودند، اغلب روزها به سر رود تجن می‌رفت و آب را عادلانه به زراعات آن‌ها تقسیم می‌نمود. (وقایع اتفاقیه، ۲۰ رمضان ۱۲۶۸ ق، ش ۱، ۷۵/۴۴۲-۴۴۱)

حفر نهر برای سکونت و زراعت طوایف کوچانده شده به مازندران نیز از دیگر اقدامات مأموران دولت در این زمینه بود؛ برای مثال حفر نهر زاغمرز که به جهت سکونت طایفه عبدالملکی و زراعت آن‌ها تعیین شده بود به مراقبت میرزا اسدالله پیشکار و علی‌خان قاجار مهندس به اتمام رسید و به قدر دوازده سنگ آب از رودخانه به نهر جاری شد و به دنبال آن، طایفه نامبرده، زمین را به جهت کشت و زرع تقسیم کردند و اینکه زمین و آب آن‌ها بهتر از زمین و آبی است که در یورت^{۲۴} سابق داشتند، خرسند بودند (وقایع اتفاقیه، ۱۸ شعبان ۱۲۷۲ ق، ش ۲۷۳، ۱۷۵۴/۳) و مواردی چون تعمیر نهر قریه مرمت که در گذشته تیول نواب شاهزاده اردشیر میرزا بود و بعد از اینکه به خالصه دیوان معمول شد به واسطه سیل، خراب و در هنگام زراعت، آب نهر قطع شد. محمدحسن خان در این سال (۱۲۷۳ ق/ ۱۲۳۵ ش) صد تومان به رعایای آنجا تخفیف داد که «نهر مزبور را تنقیه کرده، آب آنجا را جاری نموده و زراعت کنند و مبلغ مزبور را در سال آینده کارسازی دیوانیان عظام نمایند». (وقایع اتفاقیه، ۳ ذی‌قعدة ۱۲۷۳ ق، ش ۳، ۲۲۰۲/۳۳۴-۲۲۰۳).

^{۲۴} - محل خیمه و چراگاه، چراگاه ایلات و عشایر (دهخدا، مدخل یورت؛

نتیجه‌گیری

مالکیت آب و نظام آبیاری در مازندران دوره قاجار تحت تأثیر مستقیم مناسبات زمین‌داری آن قرار داشت. حاصلخیزی و اهمیت منطقه سبب شد تا تمامی منابع تأمین آب تابع زمینی بوده باشد که به صورت‌های مختلف بهره‌برداری می‌شد. نظارت بر امور آبیاری نیز اغلب در مورد اراضی خالصه صورت می‌گرفت. نهاد دیوان‌سالاری، برنامه منظمی در امور آبیاری این منطقه نداشت. دولت فقط درصدد به دست آوردن بهره مالکانه از منابع آب هم از اراضی خالصه و هم از املاک اربابی دارای حقابه بود زیرا در حقیقت ساخت و نظارت بر مؤسسات آبی اغلب توسط رعایا و زارعان همان ملکی صورت می‌گرفت که در آن کار می‌کردند. گستردگی خالصجات و وجود رودخانه‌های مهم و زمین‌های فراوان سبب شد تا دولت در مازندران شرقی حضور بیشتری داشته باشد بدین شرح که میرابی این رودخانه‌های مهم، ابوابجمعی بسیاری از قرای خالصه به شمار می‌رفت. با توجه به تغییر و تحولاتی که در خصوص مالکیت زمین و حقوق آن به وجود آمد، مقررات مربوط به آب تا زمان ممیزی املاک اربابی تقریباً به یک صورت بود که در نهایت بیشتر در مراحل اداری و مدیریت آن تغییر به وجود آمد و آن نیز زمانی بود که املاک خالصه به صورت مشروط به افراد مختلف واگذار شد یا در نوع مالکیت این اراضی تغییراتی صورت گرفت بنابراین بر اساس اسناد در دسترس می‌توان گفت دریافت حقابه‌های رسمی دولتی از منابع آب مازندران همچنان بعد از ممیزی املاک اربابی ادامه داشت.

مازندران گذشته از شرایط اقلیمی مساعد، از آبیاری مصنوعی بی‌نیاز نبوده است و شیوه‌های کنترل آب بیشتر به شکل انبار کردن آن در کانال‌ها و ذخایر مشابه دیگر بود یا به صورت بالا کشیدن آب از رودخانه به سطحی که مورد استفاده قرار گیرد (سیف، ۱۳۸۷: ۲۰۹-۲۰۸) اما اقدامات ویژه و از پیش برنامه‌ریزی شده‌ای توسط دولت برای بهبود کشاورزی انجام نمی‌گرفت (سیف، ۱۳۷۳: ۵۳) خرابی این نوع از مؤسسات آبی در حقیقت به نوع اداره و بهره‌برداری اراضی زراعی در مازندران برمی‌گشت. رفتار و اقدامات افراد و نهادهایی چون تیولدار، مباشر و ضابط، اداره مالیه، خالصجات و دیگر نهادهای مرتبط با آن در مراقبت از آن بسیار مؤثر بود چون هزینه‌های لشگری و کشوری از محصولات زراعی مازندران تأمین می‌شد. در زمین‌های خصوصی شرایط متفاوت بود. مالکان خود با تنظیم نهرداری و نظارت بر منابع آب، آن را تقسیم‌بندی و در جهت بهره‌برداری از اراضی کشاورزی استفاده می‌نمودند (ساکما، ۱۳۷۹: ۲۴۰-۲۴۰، شماره برگ ۷۹) بنابراین، دولت و حکومت سیاست ثابتی در امور آبیاری نداشتند. (لمبتن، ۱۳۷۵، ۸۴) نهاد دیوان‌سالاری زمانی در امور آبیاری به صورت جدی دخالت می‌کرد که به عواید دولت ضرری وارد نشود. سیف در کتاب خود، فهم و علت اصلی بی‌توجهی دولت به امور آبیاری را در مناطق شمالی با تأکید به افزایش زمین زیر کشت و وجود یک بازار صادراتی قابل توجه را (روسیه) در اوضاع سیاسی و اجتماعی حاکم بر ایران دوره قاجار جست‌وجو می‌کند. (سیف، ۱۳۸۷: ۲۱۰).

فهرست منابع

۱. استادوخ. (اداره اسناد و تاریخ دیپلماسی وزارت امور خارجه). شناسه سند:

GH1327- 52- 3-39 ؛ GH1332-K45 -P54-4 ؛ GH1336 -k26 -p20-12

ساکما. (سازمان اسناد و کتابخانه ملی ایران). شناسه سند:

۲.

۲۴۰-۳۴۷۵ ۲۴۰-۷۹۳۶ ۲۴۰-۹۲۲۶ ۲۴۰-۳۱۳۱۸ ۲۴۰-۵۷۰۸۸ ۲۴۰-۳۱۹۴۴ ۲۴۰-۳۴۲۴۵ ۲۴۰-۰۲۰۶۷۵

۲۴۰-۰۳۱۷۹۱ ۲۵۰-۳۴۷۵ ۲۵۰-۵۱۲۸ ۲۵۰-۵۱۴۱ ۲۹۵۷۴۰۶ ۲۹۷-۲۸۰۳۴ ۲۹۸-۰۰۲۷۷۵

NLAI-۲۳۰-۰۰۱۷۵۴-۰۱۴۷Wm,

NLAI-۲۴۰-۰۰۲۵۶۷۵-۰۰۸۰-Wm

NLAI-۲۴۰-۰۰۲۵۶۷۵-۰۰۸۴-Wm

NLAI-۲۴۰-۰۰۲۵۶۷۵-۰۰۹۴-Wm

NLAI-۲۴۰-۰۰۲۵۶۷۵-۰۱۰۵-Wm

NLAI-۲۹۷-۰۰۲۱۹۶۲-0018-Wm

NLAI-297-021962-0019-WM

۳. ازکیا م، ۱۳۶۸. ملاحظات نظری پیرامون نظام‌های بهره‌برداری از زمین. مجله نامه علوم اجتماعی، شماره ۳، صفحه‌های ۱۶۱ تا ۱۷۴.

۴. افضل‌الملک غ، ۱۳۸۳. سفر مازندران و وقایع مشروطه (رکن‌الاسفار). به کوشش حسین صمدی، دانشگاه آزاد اسلامی قائمشهر.

۵. امامی ح، ۱۳۴۰. حقوق مدنی. جلد ۱. کتابفروشی اسلامیه.

۶. پارساپور، ب، مؤمنی ب، ۱۳۵۸. سیمای روستای ایران. پیوند، تهران.

۷. ترکمان م، ۱۳۷۸. اسناد امیر مؤید سوادکوهی. نی، تهران.

۸. خسروی خ، ۱۳۴۸. آبیاری و جامعه روستایی ایران. نامه علوم اجتماعی، شماره ۳، صفحه‌های ۴۸ تا ۵۶.

۹. دهخدا ع، ۱۳۷۷. مدخل ابوابجمعی، خالصه، تنقیه، آیش، مکاری، یورت. مؤسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران.

۱۰. دهقان م، ۱۳۸۹. سفرنامه مازندران؛ گزارش روزانه محمدجعفرخان. به اهتمام محمد گلبن و احمد شکیب آذر. کتابخانه، موزه و مرکز اسناد مجلس شورای اسلامی.

۱۱. رابینوه، ۱۳۶۵. مازندران و استرآباد. ترجمه غلامعلی وحید مازندرانی. شرکت انتشارات علمی و فرهنگی، تهران.

۱۲. رجایی م، ۱۳۷۶. مالکیت و قیمت گذاری آب. معرفت، شماره ۲۳، صفحه‌های ۵۰ تا ۵۷.

۱۳. رحمانی ا، ۱۳۴۸. مالکیت و بهره برداری از زمین در ایران. کتب ایران، تهران.

۱۴. رودگر کیادارا ا، ۱۳۸۰. محال ثلاث (تنکابن، کلارستاق و کجور) در نهضت مشروطه. کیانا، تهران.

۱۵. وقایع اتفاقیه، ۱۳۷۹. ج ۱-۳. کتابخانه ملی تهران.

۱۶. سیف ا، ۱۳۷۳. اقتصاد ایران در قرن نوزدهم. چشمه، تهران.

۱۷. سیف ا، ۱۳۸۷. قرن گم شده: اقتصاد و جامعه ایران در قرن نوزدهم. نی، تهران.

۱۸. عابدی ع، ۱۳۹۲. گونه‌شناسی وقف‌نامه‌های مازندران در عهد قاجاریه. پایان نامه کارشناسی ارشد تاریخ فرهنگ و تمدن ملل اسلامی، دانشکده علوم و تحقیقات اسلامی دانشگاه بین‌المللی امام خمینی.

۱۹. عیسوی چ، ۱۳۶۲. تاریخ اقتصادی ایران. ترجمه یعقوب آژند، گستره، تهران.

۲۰. فلور و، ۱۳۷۷. مدخل بنیچه، دانشنامه جهان اسلام، ج ۴، ۴۵۴ تا ۴۵۸.

۲۱. قائم‌مقامی ج، ۱۳۹۰. مقدمه‌ای بر شناخت اسناد تاریخی. انجمن آثار و مفاخر فرهنگی. تهران.

۲۲. کرمی ش، ۱۳۹۷. پیامدهای توزیع زمین و آب در ساخت سیاسی- اجتماعی ایران (مطالعه موردی؛ اواسط عهد ناصری تا انقلاب). فصلنامه دولت پژوهی، شماره ۱۶، صفحه‌های ۷۳ تا ۱۰۸.
۲۳. کیهان م، ۱۳۱۱. جغرافیای مفصل ایران. جلد ۱ و ۳، مجلس، تهران.
۲۴. لمبتن آ، ۱۳۶۲. مالک و زارع. ترجمه منوچهر امیری، علمی و فرهنگی، تهران.
۲۵. لمبتن آ، ۱۳۷۲. تداوم و تحول در تاریخ میانه ایران. ترجمه دکتر یعقوب آژند، نی، تهران.
۲۶. لمبتن آ، ۱۳۷۵. ایران عصر قاجار (ترجمه و گفتاری در باب ایران‌شناسی). ترجمه سیمین فصیحی، جاودان خرد، مشهد.
۲۷. مدرسی طباطبایی م، ۱۳۶۲. زمین در فقه اسلام، جلد ۱، دفتر نشر فرهنگ اسلامی، تهران.
۲۸. مکنزی چ، ۱۳۵۹. سفرنامه شمال، ترجمه منصوره اتحادیه، گستره.
۲۹. ملگونیف گ، ۱۳۷۶. کرانه‌های جنوبی دریای خزر. ترجمه امیر هوشنگ امینی، کتاب سرا، تهران.
۳۰. مهدی‌کندی. م، بی‌تا. نظری به روستاهای مازندران. پیام.
۳۱. میرزا ابراهیم، ۲۵۳۵. سفرنامه استرآباد و مازندران و گیلان. به کوشش مسعود گلزاری، بنیاد فرهنگ ایران.
۳۲. ناصرالدین شاه قاجار، اعتمادالسلطنه م، ۱۳۸۸. روزنامه سفر مازندران، به روایت ناصرالدین شاه و اعتماد السلطنه (۱۲۸۲ و ۱۲۸۹). تصحیح و پژوهش یوسف الهی، رسانه‌ش.
۳۳. ناصرالدین شاه قاجار، ۱۲۹۴ق. روزنامه سفرهمایونی به مازندران. بی‌نا، تهران.
۳۴. نعمانی ف، ۱۳۵۸. تکامل فتوالیسم در ایران. جلد ۱، شرکت سهامی انتشارات خوارزمی، تهران.
۳۵. نعیمی‌عالی، ۱۳۸۸. سیاهه مطالبه یکی از مالکان خاندان کیامکارج کجور بابت باج و خراج مراتع، چراگاه‌ها و املاک کشاورزی در دوره زندیه. پیام بهارستان، شماره ۶، صفحه‌های ۱۱۹ تا ۱۳۴.

Water Ownership in Landholding System of Mazandaran during Qajar Era

M. Yadollahpour Arabi¹, Sh. Yousefifar, and M. A. Kazembeyki

PhD Candidate of Iranology, Shahid Beheshti University, Iranology Foundation
masoom8227@yahoo.com

Professor of Iranian History, Department of History, Faculty of literature and liberal arts, Tehran University,
Tehran, Iran.

shyousefifar@ut.ac.ir

Associate Professor of Civilization and Islamic Nation History, Faculty of Theology and Islamic Studies, Tehran
University, Tehran, Iran.

mabeyki@ut.ac.ir

Received: October 2021, and Accepted: March 2022

Abstract

Water and land were two important factors of production in Iran and irrigation water depended on type of ownership. According to the differences of geographical location and social status of Iranian Plateau, the situation of water and land ownership changed in different areas. Climate, social status, and strategic situation of Mazandaran Province affected the model of land and water ownership and gave them characteristics. We intended to answer these questions in this study: What institution built Mazandaran water facilities? How was the situation of their ownership? What effect did the production system and land ownership have on the water ownership and Mazandaran irrigation situation? The findings of this study showed that the water ownership right was directly affected by landholding system and the relationship between landowner and farmer. This right was under the supervision of religion and traditions of Iran in Qajar era. The ownership of Mazandaran important rivers was in a form of Khaliseh (governmental) and water delivery and distribution was done by the villagers (Mirabi) from the Khaliseh villages. Climate and soil fertility were important factors in growing types of crops and in making water facilities such as Ab-bandan (water storage ponds) and Qanat, which were made by the people. Government mostly monitored water resources during the water distribution and building dam on them. Also, government benefited from Khalise right. This issue was examined historically and the data are provided from library documentation and archives. An explanatory method of describing and analyzing the subject has been used in this study.

Keywords: Irrigation water, Agricultural landholding system, Water right, Water distribution

¹ - Corresponding author: Iranology Foundation , Education Group, Postgraduate studies, Tehran, Iran.

Effect of Plastic Mulch Placement in Furrow Irrigation on Water Productivity of Fodder Corn

A. Pahlevani, H. Ebrahimian¹, and F. Abbasi

PhD candidate, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, University of Tehran, Karaj, Iran.

ali.pahlevani@ut.ac.ir

Associate Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, University of Tehran, Karaj, Iran.

ebrahimian@ut.ac.ir

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

fariborzabbasi@ymail.com

Received: October 2021, and Accepted: March 2022

Abstract

Surface irrigation systems have been widely used in arid and semi-arid regions of the world, but inappropriate design and management has led to high water losses and reduced water productivity. The objective of this research was to investigate the effect of plastic mulch placements in furrow irrigation on soil water distribution and water productivity under fodder corn production. Field experiments were carried out in Karaj in 2018. Four different treatments were considered in terms of plastic mulch placements including mulch on the ridge (R), mulch on the furrow bed (F), mulch on the ridges and the furrow bed (FR), and a treatment without mulch or control treatment (C). In order to measure water content, soil samples were taken one day before and three days after each specific irrigation event with 5 days intervals from four points (at 0-25 cm and 25-50 cm under the ridges and furrows) for all treatments. The mean values of volumetric water content during the growing season for the FR, F, R and C treatments were 24.8, 23.8, 18.0 and 17.1 percent, respectively. The results indicated that plastic mulch had substantial impact on retaining the soil moisture by reducing evaporation from the soil surface and the treatments with plastic mulch on the bed of the furrow (FR, F) had the highest soil moisture in comparison to the other treatments. Water productivity for dry matter of the FR, F, R and C treatments was 4.5, 4.4, 3.6, and 3.0 kg/m³, and for fresh matter of the FR, F, R and C treatments was 7.6, 7.4, 5.7, and 4.7 kg/m³, respectively. Based on the results, using plastic mulch on the furrow bed is recommended in order to reduce water loss and increase water productivity in furrow irrigation. Considering the effect of plastic mulch in maintaining soil water content, it is also recommended to utilize this method with the deficit irrigation method. Economic aspects should be taken into consideration in the future research on this topic.

Keywords: Soil water distribution, Maize, Soil Evaporation

¹ -Corresponding author: Department of Irrigation and Reclamation Engineering, University of Tehran, Karaj, Iran.

Determination of Salinity Stress Coefficient in Different Growth Stages of Forage Maize

R. Saeidi¹

PhD. of Irrigation and Drainage Engineering, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

saeidi@org.ikiu.ac.ir

Received: November 2021, and Accepted: June 2022

Abstract

In this research, the effect of salinity stress on the amount of evapotranspiration components of maize were investigated in mini-lysimeters (in the initial, development, mid, and late growth stages). Salinity treatments were applied by water with EC of 0.5(S_0), 2.1(S_1), 3.5(S_2), and 5.7(S_3) dS.m^{-1} . The experiment was performed as factorial and in a completely randomized design. For the whole growth period and for S_0 to S_3 treatments, the values of evapotranspiration, transpiration, and evaporation were measured in the range of 420-320, 285-124, and 135-196 mm, respectively. The share of crop transpiration (T/ET_c) decreased by 29% while the share of evaporation (E/ET_c) increased by the same value. From S_0 to S_3 treatment, the values of evapotranspiration, transpiration and evaporation were measured in the range of 420-320, 1 / 285-3 / 124 and 134-7 / 195.9 mm (in the whole growth period), respectively. From S_0 to S_3 treatments, the values of evapotranspiration, transpiration and evaporation were measured in the range of 79-72, 19-10 and 61-62 mm (initial stage), 202-150, 150-71, and 51-79 mm (development stage), 124-84, 110-39, and 14-45 mm (mid stage), and 15-14, 6-4, and 9-10 mm (the late stage). The shares of crop transpiration decreased in the order of the developmental, mid, initial, and the late stages, while the decreasing order for the shares of evaporation was related to the initial, developmental, mid, and late stages, respectively. The dry biomass yield decreased by salinity stress, and its amount in treatments S_0 , S_1 , S_2 , and S_3 was as 12942, 12168, 10872, and 8928 kg.ha^{-1} , respectively. Stress coefficients of evapotranspiration (K_s), transpiration (K_{s-T}), and evaporation (K_{s-E}) were calculated in the range of 1-0.76, 1-0.43, and 1-1.45, respectively. The results showed that for 1 dS.m^{-1} increase in water salinity, the amounts of relative evapotranspiration and relative transpiration decreased by 4.7% and 11.1%, respectively, and the amount of relative evaporation increased by 9%. The results showed that the transpiration component decreased with a greater slope, relative to the evapotranspiration.

Keywords: Growth stage sensitivity to salinity, Water absorption, Water salinity

¹ - Corresponding author: Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

Effect of Irrigation Water Salinity on Relative Yield and Some Morphological and Physiological Characteristics of Sorghum

M. Noroozi, E. Chavoshie¹, and M. Ghajar Sepanlou

PhD Student, Department of Soil Sciences, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University, Isfahan Branch (Khorasgan), Isfahan, Iran.

nassim_sae@yahoo.com

Assistant Professor, Department of Soil Sciences, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University, Isfahan Branch (Khorasgan), Isfahan, Iran.

chavoshie@yahoo.com

Associate Professor, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Mazandaran, Iran.

sepanlu@yahoo.com

Received: October 2020, and Accepted: June 2022

Abstract

To investigate the effect of irrigation water salinity stress on morphological and physiological characteristics of sorghum (Speedfed cultivar), an experiment was conducted at the Agricultural and Natural Resources Research Center of Mazandaran Province, using soil columns in a randomized complete block design with 3 replications. Fifteen soil columns were studied during 56 days. Salinity treatments included well water (control) ($S_1=0.995 \text{ dSm}^{-1}$), Mixture of $\frac{1}{4}$ seawater and $\frac{3}{4}$ well water ($S_2=4.680 \text{ dSm}^{-1}$), 2:2 ($S_3=8.130 \text{ dSm}^{-1}$), $\frac{3}{4}$: $\frac{1}{4}$ ($S_4=13.710 \text{ dSm}^{-1}$), and only seawater ($S_5=15.910 \text{ dSm}^{-1}$). Measurements included dry and wet weight of shoots, seeds and roots, diameter and height of main stem, leaf area index, leaf area, harvest index, biological yield, and resistance indices of sorghum. The results showed that the effect of salinity on all measured traits was significant. Increasing the salinity level of irrigation water from control (S_1) to treatment (S_5) caused a significant decrease in all measured traits, except harvest index and root to stem ratio. Also, the results showed that S_1 was the best salinity level to achieve maximum yield in sorghum (218 g/plant). Regarding resistance indices, S_1 treatment had higher $\frac{k}{Na}$ and $\frac{Ca}{Na}$ ratios than other treatments, which were 6.67 and 1.4, respectively. Also, dry weight of shoots in S_3 was 23.5 % less than the control, while there were no significant differences between S_3 and S_4 treatments in different traits. Also, the relative yield of sorghum (treatment yield relative to the control) in different treatments did not decrease by salinity of soil saturation extract (SSE) up to about 3.65 dS /m, which was considered as the tolerance threshold of this plant. However, at values higher than this threshold, plant yield decreased and reached 50% reduction at about 15 dS/m. Slope of the sorghum yield reduction line was about 3% per dS/m.

Keywords: Salinity stress, Salinity tolerance threshold, Sorghum variety Speedfeed

¹ - Corresponding author: Department of Soil Sciences, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University, Isfahan Branch (Khorasgan), Isfahan, Iran.

Determining the Optimal Amount of Irrigation Water for Borage at Different Growth Stages Using a Central Composite Design

P. Shahinrokhshar¹ and A. Egdernezhad

Assistant Professor, Gilan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Rasht, Iran. pshahinrokhshar@yahoo.com

Assistant Professor, Department of Water Sciences and Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran. a_eigder@ymail.com

Received: April 2021, and Accepted: June 2022

Abstract

Despite Gilan Province being a rainy region in Iran, inappropriate distribution of rainfall during the growing season has a negative impact on the growth of crops, including borage. This study was conducted to determine the proper irrigation regime for borage at different stages of growth. For this purpose, fifteen field experiments, based on 15 combinations obtained from the Central Composite Design, were conducted using high and low levels of treatments including water requirement (without irrigation (I1) and full water supply (I2)), two growth stages (stem elongation (D1), stem elongation and flowering (D2)), and two years with different rainfall (drought (Y1) and wet season (Y2)). The experiments were performed in Gilan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center located in Rasht. Irrigation and stage of growth had the most and the least effects on borage yield and growth parameters, respectively. Dry season increased the grain yield, oil yield and oil percentage, while other parameters reached their maximum value in wet year. The value of 1000-seed weight for D2 was equal to 18.9 g, and the values of dried flower yield, fresh flower yield, seed yield, and economic yield are equal to 468, 858, 486 and 983 kg.ha⁻¹, respectively. Oil yield and oil percentage for D2 were equal to 160 kg.ha⁻¹ and 33.5%, respectively. Considering the optimal levels for all parameters based on the interpolation of factor values in the central composite design, if the percentage and yield of oil is less important than the other parameters, it is necessary to provide 88% of irrigation water for the stem and flowering stages in the wet season. In order to achieve maximum yield and oil content, full supply of irrigation needs in dry season and in the stem stage should be considered.

Keywords: Wet season, flowering stage, Oil yield, Grain yield

¹ - Corresponding author: Gilan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Rasht, Iran.

Estimation of Actual Evapotranspiration of Wheat Using SEBAL Algorithm Compared to Lysimetric Results under Standard Conditions in Tabriz and Karaj Research Stations

A. Morshedi¹, H. Jafari, and A. Onnabi Milani

Assistant Professor, Soil and Water Research Department, Chaharmahal and Bakhtiari Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Shahrekord, Iran.

a.morshedi@areeo.ac.ir

Assistant Professor, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

jafari52_h@yahoo.com

Assistant Professor, Soil and Water Research Department, East Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Tabriz, Iran.

a_o_milani@yahoo

Received: October 2021, and Accepted: March 2022

Abstract

The aim of this study was to estimate the actual evapotranspiration of wheat using Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) and compare with data measured by lysimeters in two study sites in Tabriz and Karaj during three growing seasons (1396-1399). Values of actual evapotranspiration of wheat during the growing seasons were calculated by two methods: a) using Landsat 8 satellite data through SEBAL, and b) using drained lysimeter data. Considering that evapotranspiration in SEBAL is in actual conditions and lysimeters provide evapotranspiration in potential conditions (standard situation without any limitation), to reduce errors, remote sensing data were used for pixels that had moisture conditions similar to standard lysimeters conditions. Comparison of actual evapotranspiration obtained from SEBAL and lysimeter in both sites showed relatively good correlation. The coefficients of determination (R^2) were 0.73 and 0.65 in, respectively, Karaj and Tabriz sites. In addition, using statistical parameters such as NRMSE, RMSE, MAE, and MBE showed that SEBAL actual evapotranspiration data and lysimetric data were, relatively, in agreement in the two study sites. However, in most cases, evapotranspiration values by SEBAL were greater than values measured by the lysimeter. In general, considering the advantages of the SEBAL, it is suggested this technology be used to estimate the actual evapotranspiration of wheat in large-scale areas.

Keywords: Actual water requirement, Remote sensing, Landsat8

¹- Corresponding author: Soil and Water Research Department, Chaharmahal and Bakhtiari Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Shahrekord, Iran.

Evaluation of Growth and Physiological Responses of Sorghum Varieties to Irrigation Water Salinity

M. Seilsepour¹

Assistant Professor, Greenhouse Cultivation Research Department, Tehran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Varamin, Iran.

mseilsep@yahoo.com

Received: December 2021, and Accepted: June 2022

Abstract

In this study, salinity tolerance of five sorghum varieties (Speedfeed, Kimia, Payam, Sepideh, and Pegah) was studied using five irrigation water salinity levels (non-saline water, 4, 8, 12 and 16 dS/m) in the greenhouse. The statistical design was a factorial randomized complete block design with 25 treatments and four replications. The studied traits included plant height, leaf area, dry weight of roots and shoots, ratio of dry weight of roots to shoots, leaf chlorophyll index, concentration of sodium, chlorine and potassium in leaves and roots. The effect of variety and the effect of salinity stress on the mean of all measured traits were significant ($P < 0.01$). At salinities of 4, 8, 12, and 16 dS/m, shoot dry weight was lower than the control (5.72 g/plant) by 16.2%, 35.1%, 55.7%, and 69.4%, weight of dried roots lost 26.6%, 53%, 72% and 82%, compared to the control (5 g/plant), and the leaf area of the plants decreased by 29.4%, 58.3%, 75.5%, and 86.3% compared to the control, respectively. There was a negative correlation between chlorine and leaf sodium concentrations with shoot dry weight. Fisher stress sensitivity coefficient was used to evaluate the salinity sensitivity of cultivars based on shoot dry weight. Based on this coefficient, Speedfeed variety had the lowest salinity sensitivity coefficient (0.73) and Pegah cultivar had the highest (1.21). Regression was determined between different salinity levels with shoot dry weight for each cultivar. Accordingly, Speedfeed, Kimia, Payam, Sepideh, and Pegah cultivars suffered a 50% reduction in shoot dry weight in salinities of 13.89, 12.95, 9.73, 9.62 and 9.50 dS/m. Based on the results, Speedfeed variety had a higher salinity tolerance than other cultivars and is recommended for cultivation in saline soil and water conditions.

Keywords: Salinity stress, Salinity tolerance, Fisher and Maurer Stress Sensitivity Coefficient, Speedfeed variety

¹ - Corresponding author: Tehran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Varamin, I.R. Iran.

Evaluation of Growth and Physiological Responses of Sorghum Varieties to Irrigation Water Salinity1*M. Seilsepour***Estimation of Actual Evapotranspiration of Wheat Using SEBAL Algorithm Compared to Lysimetric Results under Standard Conditions in Tabriz and Karaj Research Stations.....2***A. Morshedi, H. Jafari, and A. Onnabi Milani***Determining the Optimal Amount of Irrigation Water for Borage at Different Growth Stages Using a Central Composite Design.....3***P. Shahinroksar and A. Egdernezhad***Effect of Irrigation Water Salinity on Relative Yield and Some Morphological and Physiological Characteristics of Sorghum.....4***M. Noroozi, E. Chavoshie, and M. Ghajar Sepanlou***Determination of Salinity Stress Coefficient in Different Growth Stages of Forage Maize.....5***R. Saeidi***Effect of Plastic Mulch Placement in Furrow Irrigation on Water Productivity of Fodder Corn.6***A. Pahlevani, H. Ebrahimian, and F. Abbasi***Water Ownership in Landholding System of Mazandaran during Qajar Era7***M. Yadollahpour Arabi, Sh. Yousefifar, and M. A. Kazembeyki*

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

Journal of Water Research in Agriculture

Vol. 36, No. 1
2022

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

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

Editorial Board

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

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

English Editor
Design

Hamid Siadat, PhD
Fatemeh Aghajani

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



Journal of Water Research in Agriculture

wra.areeo.ir



Volume 36/ No 1/ 2022

ISSN: 2228-7140

Contents

Subject

Page

Evaluation of Growth and Physiological Responses of Sorghum Varieties to Irrigation Water Salinity1

M. Seilsepour

Estimation of Actual Evapotranspiration of Wheat Using SEBAL Algorithm Compared to Lysimetric Results under Standard Conditions in Tabriz and Karaj Research Stations.....2

A. Morshedi, H. Jafari, and A. Onnabi Milani

Determining the Optimal Amount of Irrigation Water for Borage at Different Growth Stages Using a Central Composite Design.....3

P. Shahinroksar and A. Egdernezhad

Effect of Irrigation Water Salinity on Relative Yield and Some Morphological and Physiological Characteristics of Sorghum.....4

M. Noroozi, E. Chavoshie, and M. Ghajar Sepanlou

Determination of Salinity Stress Coefficient in Different Growth Stages of Forage Maize.....5

R. Saeidi

Effect of Plastic Mulch Placement in Furrow Irrigation on Water Productivity of Fodder Corn.6

A. Pahlevani, H. Ebrahimian, and F. Abbasi

Water Ownership in Landholding System of Mazandaran during Qajar Era7

M. Yadollahpour Arabi, Sh. Yousefifar, and M. A. Kazembeyki