جلد ۷
شماره ۱، ۱۳۹۹
شاپا: ۲۴۷۶-۴۵۳۱

# نشریه علمی مدیریت آب در کشاورزی

## فهرست مقالات



انجمن آبیاری و زهکشی ایران
مرکز منطقه ای اطلاع رسانی علوم و فناوری
ISC
پایگاه استنادی علوم جهان اسلام

# نشریه مدیریت آب در کشاورزی

**صاحب امتیاز:** انجمن آبیاری و زهکشی ایران

**مدیر مسئول:** دکتر عبدالمجید لیاقت

**سردبیر:** دکتر حسین دهقانی سانیج



**اعتبار: علمی**

درجه علمی این مجله طی نامه شماره نامه: ۳/۱۸/۵۵۷۸۸۸، مورخ ۱۳۹۲/۱۲/۲۵ کمیسیون نشریات علمی کشور، وزارت علوم، تحقیقات و فناوری به هیات مدیره انجمـن آبیـاری وزهکشی ایران ابلاغ شده است.

این نشریه درپایگاههای زیر نمایه شده است:

پایگاه استنادی علوم ایران(ISC) بانک اطلاعات نشریات کشور (MAGIRAN) مرکز منطقه‌ای اطلاع‌رسانی علوم و فناوری

**نشانی دفتر مجله :** تهران –خیابان کریم خان زند – نبش خیابان عضدی (آبان شمالی)، ساختمان دانشگاه علامه طباطبائی

طبقه دوم – اتاق ۲۱۰، کد پستی: ۳۳۱۳۱–۱۵۹۷۶، تلفن: ۰۹۱۸۶۱۷۱۱۳۶ و ۸۱۰۳۲۲۱۷(۰۲۱)، فاکس ۸۱۰۳۲۲۰۰(۰۲۱)

**پایگاه اطلاعاتی نشریه: www.journal.iaid.ir**

بسم الله الرحمن الرحیم

## مندرجات

# راهنمای نویسندگان

**نوع، مشخصات و نحوه ارائه مقالات**

**الف- نوع مقالات**

مقالات پژوهشی، مروری، کاربردی، فنی و ترویجی حاوی موضوعات جدید و کاربردی که حاصل پژوهش‌ها و تحقیقات نویسنده یا نویسندگان باشد و در نشریه دیگری در داخل و خارج از کشور به چاپ نرسیده باشد.

**ب- نامه درخواست و تعهدنامه:**

ارسال نامه درخواست بررسی مقاله خطاب به سردبیر مجله با امضای نویسنده مسئول مقاله ضروری است. در فرم تعهدنامه، لازم است نویسندگان نسبت به امضای آن اقدام کنند.

**ج- مشخصات مقالات ارسالی**

۱- عنوان مقاله باید با حروف بزرگ سیاه و درشت در حداکثر ۱۵ کلمه در صفحه اول مقاله (BMitra-16-Bold) و عناوین دیگر مانند: چکیده، مقدمه، عناوین بخش‌های اصلی مقاله و نتیجه‌گیری و فهرست مراجع (BMitra-13-Bold) نوشته شود. فونت فارسی متن BMitra-12 و فونت انگلیسیTimes New Roman-10 باشد.

۲- نام و نام خانوادگی نویسنده و یا نویسندگان (BLotus-12-Bold) باید در صفحه اول و زیر عنوان مقاله نوشته‌شده باشد. نشان محل کار، رتبه دانشگاهی مؤلفینی که عضو هیئت‌علمی هستند BMitra-11)) و همچنین آدرس الکترونیکی نویسنده مسئول و یا همه نویسندگان در پانوشت) صفحه اول زیرستون اول درج شود (Times New Roman-10).

۳- مقالات ارسالی باید دارای اجزای اصلی یک مقاله باشند که عبارت‌اند از: چکیده (به زبان فارسی و انگلیسی)، واژه‌های کلیدی، مقدمه، مواد و روش‌ها، نتایج و بحث، نتیجه‌گیری و مراجع.

۴- عنوان جداول در بالای آن‌ها و عنوان شکل‌ها و نمودارها در پایین آن‌ها آمده (BMitra-10-Bold) و به هر یک از آن‌ها در داخل متن اشاره شود. باید از اعداد و ارقام فارسی در شکل‌ها، نمودارها و جداول استفاده گردد. همچنین شکل‌ها و جداول بایستی به ترتیبی که در متن مقاله مورد اشاره قرار گرفته است شماره‌گذاری شوند. همچنین برای جلوگیری از به‌هم‌ریختگی، شکل‌ها باید به‌صورت تصویر ارائه شوند.

۵- آحاد فیزیکی در کلیه مقالات باید در سیستم متریک (SI) بوده و هر سیستم در صورت لزوم در پرانتز بیاید.

۶- معادلات و روابط خوانا از راستای انتهای سطور در سمت چپ تایپ و شروع شود و در منتهی‌الیه سمت راست شماره‌گذاری گردد.

۷- از به کار بردن واژه‌ها و اصطلاحات لاتین که معادل متداول فارسی دارند، اجتناب گردد و در مورد نمادها، از علائم استاندارد استفاده شود.

۸- مقاله باید به‌صورت تک ستونه تنظیم گردد.

**د- نحوه ارائه مقالات**

-مقالات باید روی یک کاغذ A۴ و فاصله بین خطوط ۱ سانتی‌متر و حداقل در ۸ و حداکثر در ۱۲ صفحه تایپ‌شده و به صورت یک فایل تحت Word-2007 به آدرس نشریه مدیریت آب در کشاورزی http://wmaj.iaid.ir ارسال شود. در صورت تأیید توسط هیئت تحریریه، کد و شماره مقاله مبنی بر اعلام وصول مقاله، برای نویسنده مسئول ارسال خواهد شد.

ضمناً در ایمیلی ارسالی نویسنده مسئول درج شماره تلفن همراه ایشان الزامی است.

-همچنین ارسال فرم تعهدنامه با محتوای " این مقاله در نشریه‌ای چاپ و یا در حال چاپ نمی‌باشد و تمام مولفین از ارسال این مقاله به نشریه آبیاری و زهکشی آگاهی کامل دارند و به امضای تمام مولفین برسد" الزامی می باشد

-فرم تعارض منافع را هم به همراه فرم تعهدنامه بارگزاری فرمایید.

**چکیده**

خلاصه‌ای از اهمیت، اهداف و روش اصلی تحقیق و نتایج کلی حاصل از آن در حداکثر دویست کلمه (۱۰-۸ سطر) به دو زبان فارسی (BMitra-11) و انگلیسی (Roman-10 New Times) تهیه شود. متن چکیده انگلیسی عیناً مطابق چکیده فارسی باشد.

**واژه‌های کلیدی:** حداکثر ۵ واژه کلیدی به ترتیب حروف الفبا

**مقدمه**

شامل مطالبی در خصوص کلیات، تعاریف، اهمیت، ضرورت، بررسی منابع، جمع‌بندی منابع، اهداف پژوهش است.

**مواد و روش‌ها**

در این قسمت به موقعیت پژوهش، شرح کامل روش تحقیق و نحوه آزمایش‌های انجام‌شده همراه با جداول و شکل‌ها و توضیحات مربوطه اشاره می‌شود. اگر به جدول و یا شکل نیاز باشد بایستی هم جداول و هم‌شکل‌ها به فارسی آمده و در داخل متن بدان‌ها حتماً اشاره شود.

**نتایج و بحث**

در این قسمت نتایج حاصل از تحقیقات و آزمایش‌های انجام‌شده و بحث بر روی آن‌ها با تأکید بر یافته‌های جدید و مقایسه نتایج با پژوهش‌های قبلی انجام و در پایان نتیجه‌گیری و جمع‌بندی نهایی و توصیه‌های کاربردی آن‌ها خواهد آمد. اگر به جدول و یا شکل نیاز باشد بایستی هم جداول و هم‌شکل‌ها به فارسی آمده و همچنین در داخل متن به آن‌ها حتماً اشاره شود. (تذکر: سعی شود اعداد داخل آن‌ها برای همه جداول یک اندازه داشته باشد و ستون‌ها به ترتیب از سمت راست چیده شوند، همچنین همه خطوط عمودی ستون‌ها و تا حد امکان خطوط ردیف‌ها حذف شوند)

**رهیافت ترویجی**

مقالات ترویجی باید حاوی رهیافت ترویجی باشند که در رهیافت ترویجی تأکید بر انتقال دانش به کشاورزان، کارشناسان، مشاوران، مدیران، و حتی سیاست‌گذاران است. نویسنده باید یافته‌های خود که مبتنی بر نتایج پژوهش است را در غالب و ادبیات ترویجی و با رویکرد کاربردی به ذینفعان مرتبط منتقل کند. آنچه که در رهیافت ترویجی می‌بایستی مورد توجه نویسنده قرار گیرد ارتقای سطح دانش، مهارت و نگرش ذینفعان است. لازم است اثربخشی یافته بر بهبود شرایط موجود، در حد امکان به‌صورت کمی معرفی شود تا ذینفعان را در به‌کارگیری یافته در عرصه تشویق و ترغیب کند.

**تشکر و قدردانی**

مؤلف می‌تواند به پروژه تحقیقاتی که مقاله در قالب آن تهیه‌شده و افرادی که به او کمک کرده‌اند در این قسمت اشاره کند.

**پی‌نوشت‌ها**

کلیه پی‌نوشت‌ها با شماره‌ای که در متن استفاده شده است از شماره ۱ قبل از مراجع شماره‌گذاری شوند.

**منابع**

کلیه مراجع مورد استفاده از دیگر پژوهشگران، باید در متن مقاله با اسم مؤلف و همکاران به زبان فارسی بیاید. منابع فارسی مانند: علیزاده و همکاران (۱۳۹۳) و منابع غیرفارسی مانند: آلن و همکاران و در آخر جمله بدین صورت ارجاع شود: (Allen et al., 2013). فهرست منابع در انتهای مقاله به ترتیب حروف الفبا آورده شود (مراجع فارسی به فارسی و مراجع غیر فارسی به انگلیسی). از سوی دیگر لازم است کلیه مراجع داخل متن با مراجع داخل فهرست منابع مطابقت داشته و یکسان باشد.

منابع مورد استفاده در پایان متن (قبل از چکیده انگلیسی) به‌صورت پیوسته و به ترتیب منابع فارسی و انگلیسی ارائه شوند. منابع مورد استفاده به ترتیب حروف الفبای نام خانوادگی نگارنده زیر هم آورده شود. چنانچه از یک نگارنده چندین منبع ذکر شود، ترتیب درج آن‌ها برحسب سال انتشار، از قدیم به جدید است. اگر از نگارنده 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 شوند، نخست مقالات منفرد و سپس مقاله‌های مشترک به ترتیب حروف الفبای نام نگارندگان بعدی مرتب شوند. در مورد مرجعی که نویسنده آن مشخص نیست به‌جای نام نگارنده از "بی‌نام" برای منابع فارسی و "Anonymous" برای منابع لاتین استفاده شود. برای تنظیم منابع مطابق مثال‌های زیر برای منابع فارسی و لاتین اقدام شود.

**مقاله از مجله**

علیزاده، آ.، موسوی، ف و فیضی، م. سال. عنوان مقاله. عنوان مجله. شماره مجله. شماره صفحات.

**مقاله از کارگاه علمی**

نجفی، پ.، موسوی، ف. و فیضی، م. سال. عنوان مقاله. عنوان مجموعه مقالات. تعداد صفحات. ماه برگزاری. محل برگزاری.

**مطلب از کتاب**

علیزاده آ. سال. عنوان کتاب. شماره چاپ. عنوان فصل. ناشر. تعداد صفحات.

**ه–هزینه های داوری و چاپ مقالات:**

– پس از بررسی اولیه مقاله و پیش از ارسال به داوری، مبلغ یک میلیون ریال (یکصد هزار تومان) و در صورت پذیرش مقاله توسط نظر داوران نیز مبلغ یک میلیون ریال (یکصد هزار تومان) دیگر به منظور تأمین بخشی از هزینه های انتشار، از نویسندگان محترم دریافت خواهد شد.

Water Management in Agriculture
Vol. 7, No. 1, Spring and Summer 2020, 1-10

نشریه مدیریت آب در کشاورزی
جلد ۷، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۹، ص. ۱۰-۱

**مقاله علمی- پژوهشی**

# برآورد نیاز آبی و ضریب گیاهی گیاه همیشه‌بهار در فضای سبز

**زینب سجودی[1] و فرهاد میرزایی [2]***

## چکیده

برای جلوگیری از آلودگی هوا و ایجاد محیط‌زیست مناسب نیاز به توسعه فضای سبز در داخل و حومه شهرها وجود دارد، که این امر محل مصرف جدیدی برای آب به وجود می‌آورد. بنابراین برآورد تبخیر–تعرق گیاهان فضای سبز شهری برای مدیریت مصرف آب امری ضروری است. در این تحقیق، ضریب گیاهی و نیاز آبی گیاه همیشه‌بهار با استفاده از روش Wucols و روش بیلان آب برای دوره شش‌ماهه از فروردین تا شهریور ۱۳۹۸ در باغ گیاه‌شناسی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران برآورد گردید. در این دوره متوسط ضریب گیاهی برای کل دوره از روش بیلان آبی و روش Wucols به ترتیب ۰/۳۸ و ۰/۳۰ به دست آمد. تبخیر–تعرق برآورد شده به‌صورت میانگین مقدار ۷۷۶ میلی‌متر در روش بیلان آب و مقدار ۶۰۷ میلی‌متر در روش Wucols در کل دوره آزمایش برآورد شده است. در فضای سبز شهری شادابی، سلامت و جنبه‌های تزئینی گیاهان مهم است. با کاربرد روش Wucols برای تعیین نیاز آبی می‌توان با برآورد صحیح نیاز آبی گیاهان و اعمال عمق مناسب آب آبیاری از بیش‌آبیاری و یا کم‌آبیاری جلوگیری کرد و رشد کافی گیاهان را تأمین نمود.

**واژه‌های کلیدی:** بیلان آب، محیط‌زیست، Wucols

## مقدمه

رشد سریع جمعیت جهان و متناسب با آن افزایش نیاز آبی اعم از مصارف شرب، صنعت، کشاورزی و توسعه شهری، ضرورت برنامه‌ریزی در جهت استفاده بهینه از آن را ایجاب می‌کند. تأثیرات سازنده فضاهای سبز بر کیفیت زندگی در شهرها در بسیاری از مطالعات گزارش شده است (Petralli et al., 2014). برنامه‌ریزی صحیح مصرف آب در بخش فضای سبز بسیار حائز اهمیت است. احداث فضاهای سبز به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک که دارای مشکل کم‌آبی می‌باشند، تخصیص آب به این حوزه را در رقابت تنگاتنگی با سایر موارد مصرف آب مانند کشاورزی، صنعت و شرب قرار می‌دهد. بنابراین آبی که برای فضای سبز اختصاص داده می‌شود دارای ارزش زیادی است و باید با نهایت صرفه‌جویی و به‌صورت بهینه به مصرف برسد. (زهتابیان، ۱۳۷۵). هدف از عملیات آبیاری ایجاد شرایط مساعد رطوبتی برای گیاه است. آبیاری باید با تخمین درست از نیاز آبی گیاه اعمال شود. یکی از راهکارهای عملی برای بالا بردن راندمان مصرف آب، آگاهی از نیاز آبی گیاهان کشت‌شده است (Tyagi et al., 2000). نیاز آبی گیاهان فضای سبز کاملاً متفاوت از محصولات زراعی است (Costello et al., 2000). برخلاف محصولات کشاورزی فضاهای سبز ترکیبی از گونه‌های مختلف گیاهی هستند که هرکدام نیاز آبی متفاوتی دارند (Wolf et al., 2008). نیاز آبی گیاهان در مراحل مختلف رشد متفاوت است و تحت تأثیر مستقیم تبخیر–تعرق گیاه و تغییر در پوشش گیاهی و شرایط آب‌وهوایی

[1] کارشناسی ارشد علوم مهندسی آب، دانشگاه تهران، کرج، ایران
[2] دانشیار دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی دانشگاه تهران، کرج، ایران (*- نویسنده مسئول: Email: Fmirzaei@ut.ac.ir)
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۱/۰۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۰۶
DOR: 20.1001.1.24764531.1399.7.1.1.8

قرار دارد. یکی از فاکتورهای مهم برای مدیریت منابع آب تعیین تبخیر-تعرق گیاهان است. شجاعی و همکاران با استفاده از روش‌های Wucols[2] و Limp[3] نیاز آبی را برای گیاهان فضای سبز برآورد کردند. در این تحقیق تبخیر-تعرق سالانه از روش Wucols ۹۶۴ میلی‌متر و از روش Limp ۱۰۱۶ میلی‌متر برآورد شد. آن‌ها نتیجه گرفتند که روش Wucols نیاز آبی را به میزان ۵ درصد کمتر از روش PF تخمین زده است. سیمزو همکاران با توجه به گسترش فضاهای سبز شهری که با گونه‌های مختلط کاشته می‌شوند، راهکارهای مدیریت آب را در باغ گیاه‌شناسی ملبورن موردبررسی قراردادند. آنان با پایش رطوبت خاک و شناسایی عمق توسعه ریشه، به بررسی ویژگی‌های خاک و نفوذپذیری آب در خاک پرداختند. این گروه با تخمین نیاز آبی گیاهان فضای سبز با روش Wucols توانستند برنامه‌ریزی مناسبی برای آبیاری فضاهای سبز که با کشت‌های مختلط ایجاد می‌شوند را ارائه کنند و راهکارهای سیستم‌های آبیاری زیرسطحی، به کار بردن مالچ و ... برای مدیریت مصرف آب در فضاهای سبز را توصیه کردند. نوری و همکاران روش‌های مختلف تخمین نیاز آبی گیاهان فضای سبز ازجمله روش‌های بیلان آبی و Wucols را موردبررسی قراردادند. آنان از این پژوهش نتیجه گرفتند که روش Wucols یک روش کاربردی است و می‌تواند برای برآورد نیاز آبی گیاهان فضای سبز استفاده شود. سجودی (۱۳۹۸) با استفاده از دو روش بیلان آبی و Wucols تبخیر-تعرق چندگونه از گیاهان فضای سبز را برآورد کرد. نتایج تحقیق نشان داد که روش Wucols دارای دقت بیشتر است و در مصرف آب نیز صرفه‌جویی می‌کند. سعیدی‌نیا و همکاران (۱۳۹۷) تبخیر-تعرق و ضریب گیاهی دو گونه بابونه و زیره سبز را با استفاده از لایسیمتر برآورد کردند. تبخیر-تعرق برای بابونه ۶۱۰/۳ و برای گیاه زیره سبز ۴۱۶/۴ میلی‌متر به دست آمد. حقیقی و همکاران (۱۳۹۰) به بررسی بهبود روش‌های آبیاری و جایگزین کردن برخی از انواع چمن با گیاهانی که نیاز آبی کمتری دارند جهت کاهش مصرف آب در فضاهای سبز شهری پرداختند. با توجه به اینکه نیاز آبی اغلب گیاهان فضای سبز از چمن کمتر است جایگزینی چمن با سایر گونه‌های گیاهی ازجمله گل‌بوته‌های زینتی و درختچه‌ها پیشنهاد گردید. نوری و همکاران در پژوهش خود با عنوان آب مورد نیاز برای گیاهان فضای سبز و مقایسه سه روش IPOS، PF[4] و Wucols برآورد نیاز آبی گیاهان فضای سبز شهر آدلاید استرالیا را موردبررسی قراردادند. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق روش‌های مناسب برای تخمین نیاز آبی گیاهان فضای سبز، روش‌های Wucols سپس PF و در آخر روش Ipos[5] توصیه گردید. شکرالله زاده و همکاران (۱۳۹۵) نیاز آبی گونه‌های گیاهی خرزهره و نارون را با روش Wucols برآورد کردند و مشخص شد که بیشترین مقدار نیاز آبی خرزهره ۶/۳۱ میلی‌متر در روز و نارون ۶/۵۶ میلی‌متر در روز در ماه مرداد بوده است. درخشنده (۱۳۹۶) در تحقیقی نیاز آبی گونه‌های بنفشه و جعفری را با روش Wucols در کرج برآورد کرد. میزان تبخیر-تعرق برای این گیاهان به ترتیب ۴۴۵ و ۴۳۷ میلی‌متر در کل دوره آزمایش برآورد گردید. روش Wucols نیاز آبی گیاهان فضای سبز را با استفاده از سه فاکتور مربوط به نوع گیاه، تراکم گیاه و اقلیم منطقه‌ای که گیاه کشت شده است برآورد می‌کند. در ادامه به توضیح این موارد پرداخته شده است.

هدف از این تحقیق تخمین تبخیر-تعرق گیاه فضای سبز (همیشه‌بهار) و برآورد ضریب گیاهی با استفاده از روش Wucols و روش بیلان آب و بررسی مصرف بهینه آب در فضاهای سبز با استفاده از نتایج این پژوهش است. گل همیشه‌بهار *Calendula* متعلق به خانواده *Asteraseae* و قبیله *Calenduleae* است. این قبیله شامل ۸ جنس است. یکی از جنس‌ها *Calendula* است که در شمال آفریقا، شمال مدیترانه، اروپای مرکزی، شرق اروپا، ترکیه و ایران است. همیشه‌بهار گیاهی علفی و یک‌ساله است. این گیاه رشد و نمو سریعی دارد، گل‌دهی آن از اوایل خردادماه شروع و تا فصل سرما ادامه دارد (امید بیگی، ۱۳۹۳). طبق فلور ایرانیکا این جنس شامل ۸ گونه در جهان است که در ایران ۷ گونه آن وجود دارد (Nordensram, 1989). این گیاه غالباً به‌عنوان گیاه زینتی

[2] Water use classification of landscape species
[3] Landscape irrigation management program
[4] Plant factor method
[5] Irrigated Public Open Space

در فضای سبز استفاده می‌شود اما گونه‌هایی از آن یافت مـی‌شـود که مصرف دارویی دارند (مرادی ۱۳۸۹).

## مواد و روش‌ها

### مشخصات منطقه پژوهش

این پژوهش در محوطه و فضای سبز پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران واقع در شـهر کـرج انجـام شـد. مختصـات جغرافیائی شهر کرج عبارت است از طـول جغرافیـایی ۵۱ درجـه و صفر دقیقه و ۳۰ ثانیه شرقی و عرض جغرافیـایی ۳۵ درجـه و ۴۸ دقیقه و ۴۵ ثانیه شمالی. این شهر با ارتفاع متوسـط ۱۲۹۷ متـر از سطح دریا، در فاصله ۴۸ کیلومتری شمال غربی تهران واقـع شـده است. شهر کـرج دارای آب‌وهـوای خشـک و نیمـه‌خشـک اسـت (سبزی پرور و همکاران ۱۳۹۰).

### قاعده ضریب فضای سبز ($K_L$) در روش Wucols

دپارتمان منابع آب دانشگاه کالیفرنیـا (۲۰۰۰) بـرای بـرآورد آب موردنیاز برای گیاهان فضای سبز ضـریبی بـه نـام ضـریب منظـر ($K_L$) معرفی کرده است. ضریب فضای سبز از طریق سـه فـاکتور به نام‌های عامل ضریب گونه، عامل ضریب تراکم و عامل ضریب خرد اقلیم محاسبه می‌شود. رابطه ۱ نحوه محاسبه ایـن ضـریب را نشان می‌دهد. (Costello, et al., 2000).

### عامل گونه ($K_s$)

عامل گونه برای اعمال اختلاف نیاز آبی در گونه‌هـای مختلـف گیاهی استفاده مـی‌شـود. بـرخلاف محصـولات زراعـی و بـاغی، فضاهای سبز عمدتاً از گونه‌های مختلف گیاهی و نـه صـرفاً یـک نوع گیاه تشکیل شده‌اند. معمولاً مجموعه‌های فضـای سـبز دارای گونه‌های متفاوت می‌باشند که در داخل یک منطقـه و بـه‌صـورت مشترک آبیاری می‌شوند. این گونه‌های مختلف هرکدام دارای نیاز آبی متفاوتی هستند. حدود ضریب گونه از ۰/۱ تا ۰/۹ متغیر است و به‌صـورت جـدول ۱ طبقـه‌بنـدی مـی‌شـود. بـر اسـاس مطالعـات انجام‌شده برای ۱۸۰۰ گونه گیاهی عرصه‌های طبیعـی در آمریکـا، گونه همیشه‌بهار برای انواع مناطق ساحلی و شمالی بـا آب‌وهـوای معتدل و مرطوب، مناطق مرکـزی بـا آب‌وهـوای معتـدل، منـاطق ساحلی و جنوبی با رطوبت و میانگین دمای بالا در ردیف گیاهان با نیاز آبی متوسط (M) طبقه‌بندی‌شـده اسـت. از میـان ۱۸۰۰ گونـه فضـای سـبز کـه بـرآورد ضـرایب روش Wucols بـرای آن‌هـا انجام‌شده است، ۶ گونه به‌عنـوان نمونـه در جـدول ۴ آورده شـده است. در این جدول مناطق از نظر آب‌وهـوا بـه ۶ منطقـه تقسـیم می‌شوند. همچنین علائم نیاز آبی در این جدول به‌صورت H: نیـاز آبی بالا، M: متوسط، L: کم، /: نامناسب برای منطقـه مـوردنظر و Vl: بسیارکم طبقه‌بندی‌شده است. انواع گیاهان نیز به این صورت نشانه‌گذاری شـده‌انـد: T: درخـت، S: بوتـه، V: تـاک، Gc: گیـاه پوششی، P: چندساله، Bi: دوساله (Costello, et al., 2000).

### عامل تراکم ($K_d$)

عامل تراکم در رابطه ضریب فضای سبز با توجه بـه اختلافـات در تراکم پوشش گیاهی در گیاهان فضای سـبز مورداسـتفاده قـرار می‌گیرد. فضاهای سبز در مقایسه با یکدیگر دارای تـراکم پوشـش گوناگونی هستند. بعضی از کشت‌هـای فضـای سـبز سـطح بـرگ بیشتر دارند. افزایش تراکم و سطح برگ معمولاً به معنای افـزایش تبخیر–تعرق برای آن منطقه از کشت گیاهان فضـای سـبز اسـت. به‌طور خلاصه یک فضای سبز با الگوی کشت متراکم آب بیشتری از یک فضای سبز غیر متراکم مصـرف مـی‌کنـد. دامنـه‌ی عامـل تراکم در حد ۰/۵ تـا ۱/۳ اسـت و ایـن دامنـه طبـق جـدول ۲ در سه‌طبقه گروه‌بندی می‌شود (Castello, et al., 2000).

### عامل خرد اقلیم ($K_{mc}$)

خرد اقلیم‌ها در هر فضای سبزی وجود دارند و در برآورد مصرف آب گیاه باید موردتوجه قرار گیرند. ممکن است در یک فضای سبز قسمتی از گیاهـان در سـایه و قسـمتی در آفتـاب، قسـمتی دارای رطوبت هوای زیاد و گیاهانی در قسمت‌هـای بـادگیر باشـند. ایـن تنوع در خرد اقلیم روی نیاز آبی گیاهان تأثیرگذار است. عامل خرد اقلیم از ۰/۵ تـا ۱/۴ متغیـر بـوده و طبـق جـدول ۳ در سـه‌طبقـه گروه‌بندی می‌شود (Costello, et al., 2000). مناطقی که بیشـتر طول روز در معـرض تـابش نـور خورشـید و همچنـین وزش بـاد می‌باشند در طبقه خرد اقلیم بالا قرار مـی‌گیرنـد. منـاطقی کـه در سایه‌انداز گیاهان هستند و یا دارای رطوبت بیشتری هستند درطبقه

خرد اقلیم پایین قرار می‌گیرند. در این تحقیق با توجه به موارد گفته‌شده دو خرد اقلیم با حروف A و B مشخص‌شده‌اند. خرد اقلیم A دارای ضریب خرد اقلیم بالا و خرد اقلیم B دارای ضریب خرد اقلیم پایین است.

$$K_l = K_S \times K_d \times K_{mc} \quad (۱)$$

## میکرو لایسیمترهای زهکش‌دار

در این تحقیق از ۲ عدد میکرو لایسیمتر زهکش‌دار جهت کشت نمونه‌ها در دو محل جداگانه (خرد اقلیم‌ها) استفاده شد. لایسیمترها از جنس پلاستیک پروپیلن و به رنگ سفید، به جهت عدم جذب نور انتخاب شدند. سطح مقطع لایسیمترها دارای طول و عرض ۳۰ سانتی‌متر و ارتفاع آن‌ها ۶۰ سانتی‌متر انتخاب شد. در وسط هر میکرولایسیمتر یک زهکش (لوله) جهت تخلیه زه‌آب متصل گردید. در انتها هر زهکش به یک ظرف به حجم یک لیتر جهت بررسی میزان زه‌آب تخلیه‌شده متصل گردید. جهت جلوگیری از ورود احتمالی ذرات ریز خاک به داخل ظروف ذخیره زه‌آب، از بافت ژئوتکستایل استفاده شد. میکرولایسیمترها با نصب بر روی پایه‌هایی تا ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر از سطح زمین بالا آورده شدند. ظروف ذخیره زه‌آب در عمق ۱۵ سانتی‌متری سطح خاک در ترانشه حفرشده، قرار داده شدند.

## گونه گیاهی مورد آزمایش

در این تحقیق گونه گیاهی همیشه‌بهار با نام (*Calendula officinalis*) مورد آزمایش قرار گرفت.

## برآورد تبخیر-تعرق گیاهان فضای سبز با استفاده از روش Wucols

تفاوت اصلی رابطه‌ی برآورد نیاز آبی گیاهان فضای سبز با گیاهان زراعی و باغی در استفاده از پارامتر ضریب گیاهی است. رابطه ۲ محاسبه تبخیر-تعرق گیاهان فضای سبز را نشان می‌دهد (Costello, et al., 2000).

$$ET_L = K_L \times ET_0 \quad (۲)$$

در این رابطه $K_L$ ضریب گیاهی گیاهان فضای سبز، $ET_0$ تبخیر-تعرق مرجع و $ET_L$ تبخیر-تعرق گیاهان فضای سبز است.

## اندازه‌گیری نیاز آبی گونه‌های مورد آزمایش با روش بیلان آب

برای محاسبه‌ی آب موردنیاز گیاهان فضای سبز از روش بیلان آب باید آب کافی برای رشد مناسب و حفظ شادابی و سلامت گیاهان که هدف توسعه و نگهداری فضاهای سبز است در اختیار گیاهان قرار گیرد. آبیاری گیاهان کشت‌شده در لایسیمترها در این پژوهش به‌صورت مداوم در کل دوره آزمایشی و به‌صورت دو روز یک‌بار انجام پذیرفت. دور آبیاری با توجه به رطوبت در نقطه FC تعیین شد. برای تعیین نقطه FC و PWP خاک از دستگاه صفحه فشاری استفاده‌شده است. مقدار حجم آب استفاده‌شده در هر آبیاری بسته به زمان آزمایش متفاوت و بین ۸۰۰ تا ۱۵۰۰ میلی‌لیتر در هر آبیاری متغیر بود. این میزان با توجه به رطوبت در نقطه ظرفیت زراعی و پژمردگی، عمق ریشه و سطح مقطع لایسیمتر تعیین شد. در طول دوره آزمایشی و به‌صورت بازه‌های ده روزه، قبل از انجام آبیاری، نمونه‌گیری از خاک لایسیمترها انجام شد و به‌منظور تعیین رطوبت خاک به آزمایشگاه آبیاری پردیس کشاورزی و منابع طبیعی انتقال داده شد. اندازه‌گیری مقدار رطوبت خاک به روش وزنی بوده است. بافت خاک نیز با روش هیدرومتری کلی لوم به دست آمد. رابطه ۳ معادله بیلان آب در میکرولایسیمتر زهکش‌دار را نشان می‌دهد.

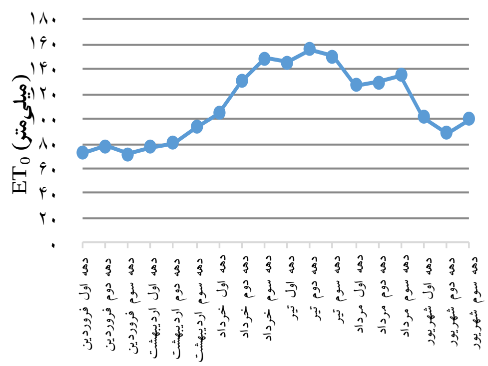
$$ET_c = P + I - D \pm \Delta sw \quad (۳)$$

که در آن $ET_C$ تبخیر-تعرق گیاه (میلی‌متر)، P مقدار بارندگی (میلی‌متر)، I مقدار آبیاری (میلی‌متر)، D مقدار آب زهکشی (میلی‌متر) و $\Delta sw$ تغییرات رطوبت ذخیره‌ای خاک هستند.

## نتایج و بحث

### تبخیر-تعرق مرجع ($ET_0$)

تبخیر–تعرق مرجع با استفاده از داده‌های روزانه هواشناسی (میانگین دمای حداکثر، میانگین دمای حداقل، درصد رطوبت نسبی، میانگین ساعات آفتابی و میانگین سرعت باد) و با روش فائو– پنمن– مانتیث با استفاده از نرم‌افزار Cropwat محاسبه شد و منحنی آن در شکل ۱ رسم شده است. برای محاسبه $ET_0$ از داده‌های روزانه ایستگاه هواشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران استفاده شد.




**شکل ۱- منحنی تبخیر–تعرق مرجع ($ET_0$)**

## تعیین ضرایب گیاهی $K_L$

ضریب گیاهی گیاهان فضای سبز از روش Wucols و با استفاده از رابطه ۱ محاسبه گردید (Costello et al, 2000). بیشترین مقدار ضریب گیاهی مربوط به دهه سوم تیرماه و دهه اول مرداد معادل ۰/۴ در خرد اقلیم A و کمترین مقدار مربوط به دهه اول فروردین در خرد اقلیم B و معادل ۰/۱۸ است. از ابتدای دوره داده‌برداری تا دهه سوم تیرماه ضریب گیاهی دارای یک‌روند صعودی و از دهه سوم تیرماه تا پایان آزمایش دارای یک‌روند نزولی است که این روند صعودی و نزولی به دلیل کاهش و افزایش رشد و تبخیر–تعرق گیاهان با توجه به شرایط اقلیمی است. در محاسبه ضریب گیاهی فضای سبز عامل خرد اقلیم و گونه ثابت هستند و عامل تراکم تغییر می‌کند. ضریب گیاهی در دو خرد اقلیم در جدول‌های ۵ و ۶ آورده شده است. از جدول ۴ مشخص می‌شود که گیاه در چه طبقه‌ای از نیاز آبی قرار دارد. بعد از آن با مراجعه به جدول ۱ ضریب گونه مناسب انتخاب می‌شود. از جدول ۳ با توجه به خرد اقلیم ضریب مناسب که در بخش عامل خرد اقلیم توضیح داده شد انتخاب می‌شود، و از جدول ۲ ضریب تراکم که بستگی به میزان رشد و تراکم گیاه دارد و در بخش عامل تراکم توضیح داده‌شده است انتخاب می‌شود. حاصل‌ضرب این سه فاکتور در هر دهه ضریب گیاهی را در آن دهه مشخص می‌کند.

**جدول ۱- مقادیر ضریب گونه $K_s$**

| نیاز آبی | حدود $K_s$ |
|---|---|
| خیلی کم | ۰/۱ ≥ |
| کم | ۰/۱ –۰/۳ |
| متوسط | ۰/۴ –۰/۶ |
| زیاد | ۰/۷ –۰/۹ |

**جدول ۲- مقادیر ضریب تراکم $K_d$**

| میزان تراکم | حدود $K_d$ |
|---|---|
| پایین | ۰/۵ –۰/۹ |
| متوسط | ۱ |
| زیاد | ۱/۱ –۱/۳ |

**جدول ۳- عامل خرد اقلیم ($K_{mc}$)**

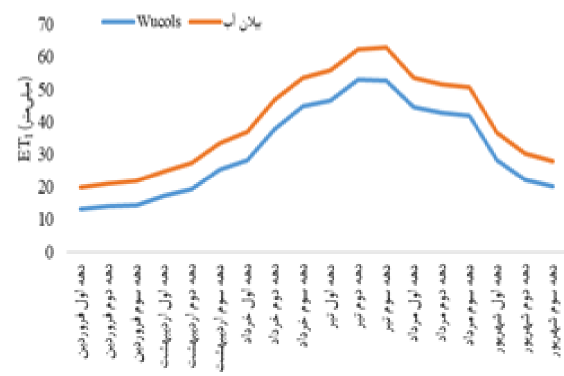
| طبقه‌بندی | حدود $K_{mc}$ |
|---|---|
| پایین | ۰/۵ –۰/۹ |
| متوسط | ۱ |
| زیاد | ۱/۱ –۱/۴ |

**جدول ٤- برآورد ضرایب گیاهی با روش Wucols**

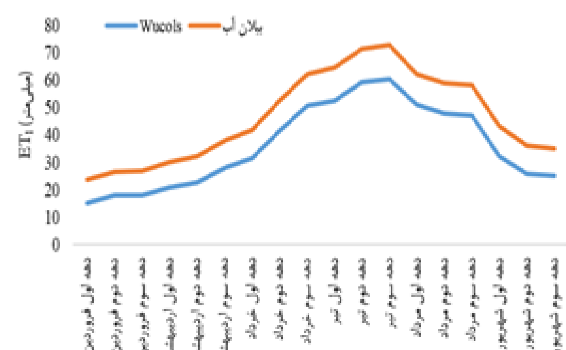
| نوع | نام متداول | منطقه اقلیمی | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ |
| SCG | زرشک زینتی | L | L | L | L | L | M |
| T | افرای سیاه | M | M | M | M | / | / |
| S | یاس زرد | L | L | M | M | M | M |
| S | شمشاد | M | M | M | M | M | M |
| P | میخک | M | M | M | M | M | M |
| P | همیشه‌بهار | M | M | M | M | M | M |

## برآورد تبخیر-تعرق $ET_L$ با روش Wucols

طبق توضیحات ارائه‌شده با استفاده از مقادیر تبخیر-تعرق مرجع و ضرایب فضای سبز به‌دست‌آمده، مقادیر تبخیر-تعرق فضای سبز برآورد شدند. بیشترین میزان تبخیر-تعرق ۶۰ میلی‌متر در دهه سوم تیر و کمترین میزان آن ۱۳ میلی‌متر در دهه اول فروردین است. در شکل‌های ۲ و ۳ نمودار تبخیر-تعرق گیاهان فضای سبز با استفاده از روش Wucols و روش بیلان آب مشاهده می‌شود. به‌طورکلی ضریب گیاهی و تبخیر-تعرق برآورد شده در خرد اقلیم A که در معرض تابش نور خورشید و وزش باد قرار دارد و در طبقه دارای ضرایب خرد اقلیم بالا است مقادیر بیشتری دارند.



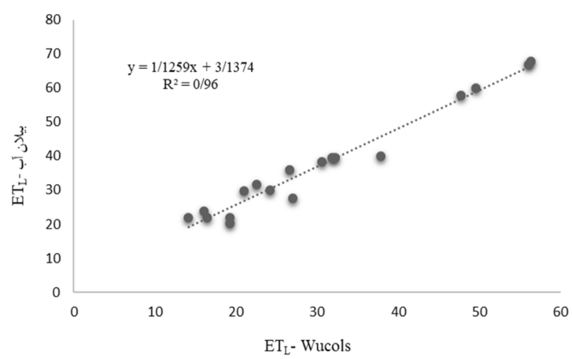

**شکل ۲- منحنی تبخیر - تعرق گیاه همیشه‌بهار از روش‌های Wucols و بیلان آب در خرد اقلیم B**




**شکل ۳- منحنی تبخیر - تعرق گیاه همیشه‌بهار از روش‌های Wucols و بیلان آب در خرد اقلیم A**

## برآورد تبخیر-تعرق با استفاده از روش بیلان آب

نتایج حاصل از برآورد تبخیر-تعرق با استفاده از روش بیلان آب نشان داد که بیشترین مقدار تبخیر-تعرق برآورد شده با این روش در خرد اقلیم A و در دهه سوم تیرماه به میزان ۷۳ میلی‌متر بوده است؛ و کمترین مقدار تبخیر-تعرق مربوط به دهه اول فروردین‌ماه در خرد اقلیم B به میزان ۲۰ میلی‌متر است. کل تبخیر-تعرق شش‌ماهه موردبررسی به ترتیب در خرد اقلیم‌های A و B معادل ۸۳۵/۶ و ۷۱۷/۵ میلی‌متر به دست آمد. در شکل ۴ تبخیر-تعرق از دو روش بیلان آب و Wucols باهم مقایسه شده‌اند و ضریب تبیین $R^2$ ۰/۹۶ به دست آمد.




**شکل ٤- بررسی تبخیر - تعرق گیاه همیشه‌بهار از روش‌های Wucols و بیلان آب (واحدها میلی‌متر هستند)**

## برآورد ضریب گیاهی با استفاده از روش بیلان آب

جهت برآورد ضریب گیاهی با استفاده از روش بیلان آب از رابطه $ET_c=K_c\times ET_0$ استفاده شد. در روش بیلان آب بیشترین مقدار ضریب گیاهی مربوط به دهه سوم تیرماه معادل ۰/۴۸ در خرداقلیم A و کمترین مقدار مربوط به دهه اول فروردین در خرداقلیم B و معادل ۰/۲۷ است.

## نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج این پژوهش روش Wucols یک روش مناسب جهت برآورد نیاز آبی گیاهان فضای سبز است. (روش Wucols تبخیر-تعرق گیاهان در فضای سبز را برآورد می‌کند). این روش نیاز آبی را به نحوی تخمین می‌زند که گیاهان فضای سبز شادابی خود را حفظ کرده و دچار تنش آبی نشوند و در مصرف

آب صرفه‌جویی می‌شود. سجودی و همکاران (۱۳۹۸) نیاز آبی سه گیاه سرو، زرشک زینتی و مَرغ را با استفاده از دو روش بیلان آبی و Wucols برآورد کردند. نتایج نشان داد که روش بیلان آب مقدار تبخیر–تعرق را بیشتر برآورد می‌کند. در این تحقیق تبخیر–تعرق در روش بیلان آب ۶۸۲ میلی‌متر و در روش Wucols ۶۲۶ میلی‌متر در کل دوره آزمایش برآورد شد. در تحقیق دیگری توسط پرهامی‌پویا و حسنلی (۱۳۹۳) با روش‌های Wucols و PF نیاز آبی گیاهان فضای سبز در بخشی از باغ ارم شیراز برآورد گردید. نتایج تحقیق نشان داد مقدار سالانه تبخیر–تعرق با روش Wucols ۶۵۷ میلی‌متر و با روش Pf ۷۸۵ میلی‌متر برآورد شد. شکرالله زاده و همکاران (۱۳۹۵) به تعیین نیاز آبی گونه‌های گیاهی شامل سروناز و چنار با روش Wucols در شیراز پرداختند. نتایج تحقیق نشان داد که میانگین کمترین نیاز آبی سروناز ۱/۵۴ میلی‌متر در روز و درخت چنار با میانگین ۱/۵۸ میلی‌متر در روز در بهمن‌ماه و بیشترین نیاز آبی سروناز با میانگین ۵/۷۴ میلی‌متر در روز و چنار با میانگین ۵/۹۰ میلی‌متر در روز مربوط به مردادماه است. از نتایج این پژوهش و مقایسه آن با مقدار آبی که درگذشته آبیاری فضای سبز شهر شیراز انجام‌شده است، مشخص شد که مقدار آب مصرفی زیاد بوده و در آینده باید بر اساس محاسبات Wucols در ماه‌های مختلف سال مقدار معینی آب جهت گونه‌های تک‌کاشت و یا گونه‌هایی که گروهی کشت‌شده‌اند به‌صورت جداگانه استفاده شود. تحقیقات پرهامی‌پویا (۱۳۹۲) برای برآورد ضریب گیاهی و نیاز آبی گیاهان فضای سبز با استفاده از روش‌های بیلان آبی، Wucols و Ipos به مدت یک سال در باغ ارم شیراز انجام شد نتایج نشان داد که روش بیلان آب مقدار سالانه تبخیر–تعرق و همچنین ضریب گیاهی بیشتری را برآورد کرده است.

نتایج تبخیر–تعرق برآورد شده برای گیاه همیشه‌بهار در این مطالعه به‌صورت میانگین مقدار ۷۷۶ میلی‌متر در روش بیلان آب و مقدار ۶۰۷ میلی‌متر در روش Wucols را در کل دوره آزمایش نشان می‌دهد. بیشترین مقدار تبخیر–تعرق به میزان ۷۳ و ۶۰ میلی‌متر به ترتیب از روش بیلان آب و روش Wucols است که متعلق به خرد اقلیم A است. روش Wucols تبخیر–تعرق را به میزان ۲۱ درصد کمتر از روش بیلان آب برآورد کرده است. ازآنجایی‌که در فضای سبز شهری تنها شادابی، سلامت و جنبه‌های تزئینی گیاهان مهم است با کاربرد روش Wucols برای تعیین نیاز آبی که با آن یک نوع کم‌آبیاری انجام می‌شود می‌توان در کاهش مصرف آب صرفه‌جویی به عمل آورد و درعین‌حال نگران آسیب جدی به گیاهان فضای سبز نبود.

**جدول ۵- ضریب گیاهی گیاه همیشه‌بهار از روش Wucols در خرد اقلیم‌های A و B**

| ضریب گیاهی | زمان |
|---|---|
| A: ۰/۲۱<br>B: ۰/۱۸ | دهه اول فروردین |
| A: ۰/۲۳<br>B: ۰/۱۹ | دهه دوم فروردین |
| A: ۰/۲۵<br>B: ۰/۲ | دهه سوم فروردین |
| A: ۰/۲۷<br>B: ۰/۲۲ | دهه اول اردیبهشت |
| A: ۰/۲۸<br>B: ۰/۲۴ | دهه دوم اردیبهشت |
| A: ۰/۳<br>B: ۰/۲۷ | دهه سوم اردیبهشت |
| A: ۰/۳<br>B: ۰/۲۷ | دهه اول خرداد |
| A: ۰/۳۲<br>B: ۰/۲۹ | دهه دوم خرداد |
| A: ۰/۳۴<br>B: ۰/۳ | دهه سوم خرداد |
| A: ۰/۳۶<br>B: ۰/۳۲ | دهه اول تیر |
| A: ۰/۳۸<br>B: ۰/۳۴ | دهه دوم تیر |
| A: ۰/۴<br>B: ۰/۳۵ | دهه سوم تیر |
| A: ۰/۴<br>B: ۰/۳۵ | دهه اول مرداد |
| A: ۰/۳۷<br>B: ۰/۳۳ | دهه دوم مرداد |
| A: ۰/۳۶<br>B: ۰/۳۱ | دهه سوم مرداد |
| A: ۰/۳۴<br>B: ۰/۲۸ | دهه اول شهریور |
| A: ۰/۳۲<br>B: ۰/۲۵ | دهه دوم شهریور |
| A: ۰/۲۹<br>B: ۰/۲ | دهه سوم شهریور |

**جدول ٦- ضریب گیاهی گیاه همیشه‌بهار از روش بیلان آب در خرد اقلیم‌های A و B**

| ضریب گیاهی | زمان |
|---|---|
| A: ۰/۳۲<br>B: ۰/۲۷ | دهه اول فروردین |
| A: ۰/۳۳<br>B:۰/۲۷ | دهه دوم فروردین |
| A: ۰/۳۵<br>B:۰/۲۹ | دهه سوم فروردین |
| A: ۰/۳۸<br>B:۰/۳۱ | دهه اول اردیبهشت |
| A: ۰/۳۹<br>B:۰/۳۳ | دهه دوم اردیبهشت |
| A: ۰/۴<br>B:۰/۳۵ | دهه سوم اردیبهشت |
| A: ۰/۴<br>B:۰/۳۵ | دهه اول خرداد |
| A:۰/۴۱<br>B:۰/۳۶ | دهه دوم خرداد |
| A: ۰/۴۲<br>B:۰/۳۶ | دهه سوم خرداد |
| A: ۰/۴۴<br>B:۰/۳۸ | دهه اول تیر |
| A: ۰/۴۶<br>B:۰/۳۸ | دهه دوم تیر |
| A: ۰/۴۸<br>B:۰/۴۲ | دهه سوم تیر |
| A: ۰/۴۸<br>B:۰/۴۲ | دهه اول مرداد |
| A: ۰/۴۶<br>B:۰/۳۹ | دهه دوم مرداد |
| A: ۰/۴۳<br>B:۰/۳۸ | دهه سوم مرداد |
| A:۰/۴۲<br>B:۰/۳۵ | دهه اول شهریور |
| A: ۰/۴<br>B:۰/۳۲ | دهه دوم شهریور |
| A: ۰/۳۶<br>B:۰/۲۹ | دهه سوم شهریور |

## مراجع


امید بیگی، ر. ۱۳۹۳. تولید و فرآوری گیاهان دارویی. فصل ۸. طبقه‌بندی گیاهان دارویی. طراحان نشر. ۳۴۸ صفحه.

پرهامی پویا، ف. ۱۳۹۲. برآورد نیاز آبی گیاهان غیر زراعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک (مطالعه موردی- باغ ارم شیراز). پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده کشاورزی. دانشگاه شیراز.

پرهامی‌پویا، ف.، حسنلی، ع. ۱۳۹۳. برآورد نیاز آبی گیاهان فضای سبز پارک‌ها با استفاده از روش‌های نوین در راستای توسعه پایدار. کنفرانس بین‌المللی توسعه پایدار، راهکارها و چالش‌ها با محوریت کشاورزی، منابع طبیعی، محیطزیست و گردشگری. ۱۱ صفحه. اسفند. تبریز.

حقیقی، ف.، ثقفیان، ب. ۱۳۹۰. ضرورت جایگزینی گیاه چمن در جهت کاهش نیاز آبی فضای سبز تهران. چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران. ۱۰ صفحه. اردیبهشت. تهران.

درخشنده، م. ۱۳۹۶. ارزیابی روش wucols در برآورد نیاز آبی گیاهان فضای سبز. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی. دانشگاه تهران.

زهتابیان، غ. ۱۳۷۵. بررسی چگونگی هدر رفتن آب و آبیاری در حاشیه بیابان ورامین. نشریه بیابان. ۱(۱): ۳۷-۱۹.

سبزی پرور، ع.، میرمسعودی، س. و ناظم السادات، م.ج. ۱۳۹۰. بررسی تغییرات درازمدت تبخیر تعرق گیاه مرجع در چند نمونه اقلیمی گرم کشور. نشریه پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. ۷۵ (۴۳): ۱۷-۱.

سجودی، ز. ۱۳۹۸. تعیین نیاز آبی گیاهان فضای سبز شهری. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی. دانشگاه تهران.

سجودی، ز.، میرزایی، ف. ۱۳۹۸. ارزیابی روش Wucols در برآورد نیاز آبی گیاهان فضای سبز. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. ۴ (۳۳): ۶۲۹-۶۴۳.

سعیدی‌نیا، م.، ترنیان، ف.، حسینیان، ح. و نصرالهی، ع. ۱۳۹۷. برآورد میزان تبخیر تعرق و ضریب گیاهی دو گونه بابونه و زیره سبز در خرم آباد. نشریه مدیریت آب و آبیاری. ۸ (۱): ۱۶۵-۱۷۵.

شکرالله زاده، م.، میری، ح. و عباسی زاده، م. ۱۳۹۵ a. تعیین نیاز آبی گونه نارون و خرزهره با استفاده از روش Wucols در فضای سبز شهر شیراز. همایش علمی پژوهشی کشاورزی، مهندسی ژنتیک و گیاه‌پزشکی ایران. ۱۵ صفحه. تهران.

شکرالله زاده، م.، میری، ح. و عباسی زاده، م. ۱۳۹۵ b. تعیین نیاز آب‌گونه‌ی سروناز و چنار در فضای سبز شهر شیراز با استفاده از روشWucols . اولین همایش ملی مدیریت آب با رویکرد مصرف بهینه آب در بخش کشاورزی. ۱۹ صفحه. مرداد. همدان.

مرادی، ر.، رضوانی مقدم، پ. ۱۳۸۹. بررسی تأثیر پیش تیمار بذر توسط سالیسیلیک اسید در شرایط تنش شوری بر جوانه‌زنی و خصوصیات رشد گیاهچه رازیانه. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران. ۳ (۸): ۴۸۹-۵۰۰.

Costello, LR., Matheny, NP., Clark, J.R. and Jones, K.S. 2000. A guide to estimating irrigation water needs of landscape plantings in California. The landscape coefficient method and WUCOLS III; University of California Cooperative Extension, California Department of Water Resources.

Nouri, H., Beecham, S., Kazemi, F. and Hassanli, A.M. 2013 a. A review of ET measurement techniques for estimating the water requirements of urban landscape vegetation. Urban Water Journal. 10 (4): 247-259

Nouri, H., Beecham, S., Hassanli, A.M. and Ingleton, G. 2013 b. Spatial and temporal distribution of drainage and solute leaching in heterogeneous urban vegetation environments. Hydrology and Earth System Sciences Discussions. 1 (10): 6695-6721

Nordensram, B. 1989. Flora Iranica, Fasc. 111–162 (1975–1987). Nordic Journal of Botany. 8 (6): 625-626.

Petralli, M., Massetti, L., Brandani, G. and Orlandini, S. 2014. Urban planning indicators: useful tools to measure the effect of urbanization and vegetation on summer air temperatures. International Journal of Climatology. 34 (4):.1236-1244

Shojaei, P., Gheysari, M., Nouri, H., Myers, B. and Esmaeili, H. 2018. Water requirements of urban landscape plants in an arid environment: The example of a botanic garden and a forest park. Ecological engineering. 1 (123): 43-53.

Symes, P., Connellan, G., Buss, P. and Dalton, M. 2008. Developing Water Management Strategy for Complex Landscapes. In Irrigation Australia 2008 Conference, Best Practice Open Space Irrigation Workshop.2 pages. May. Melbourne Exhibition Centre.

Tyagi, N.K., Sharma, D.K. and Luthra, S.K. 2000. Determination of evapotranspiration and crop coefficients of rice and sunflower with lysimeter. Agricultural water management. 45 (1): 41-54.

Wolf, D., Lundholm, J.T. 2008. Water uptake in green roof microcosms: Effects of plant species and water availability. Ecological Engineering. 33 (2): 179-186

**Water Management in Agriculture**
**Vol. 7, No. 1, Spring and Summer 2020, 1-10**

**نشریه مدیریت آب در کشاورزی**
**جلد ۷، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۹، ص. ۱۰-۱**

# Estimation of Water Requirement and Plant Coefficient of Calendula Officinalis in Landscape

**Z. Sojoodi[1] and F. Mirzaei*[2]**

## Abstract

There is a strong need to develop Landscape in and around cities to prevent air pollution and create a suitable environment. This will create a new place of consumption for water. Therefore, it is necessary to estimate the evapotranspiration of urban Landscape plants to manage water use. In this study, vegetative coefficient and water requirement of Calendula officinalis plant were estimated using Wucols method and water balance method for the period of six months from 21 March 2019 to 22 September 2019 in the Botanical Garden of Campus of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran. In this period, the average coefficient of vegetation for the whole period was 0.38 and 0.3, respectively, by the water balance method and the Wucols method. Evapotranspiration was estimated as an average of 776 mm in the water balance method and 607 mm in the Wucols method throughout the experiment. In the urban Landscape the vitality, health and decorative aspects of plants are important .

By using the Wucols method to determine the water requirement, it is possible to prevent over-irrigation or under-irrigation by correctly estimating the water requirement of the plants and applying the appropriate depth of irrigation water. And provided sufficient plants growth.

**Keywords**: Landscape, Water balance, Wucols

---

[1] Master of Science in Water Engineering, University of Tehran, Karaj, Iran
[2] Associate Professor, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University of Tehran, Karaj, Iran
(*. Corresponding Author Email: Fmirzaei@ut.ac.ir)
Received : 20 March 2020
Accepted: 26 May 2020

Water Management in Agriculture
Vol. 7, No. 1, Spring and Summer 2020, 11-22

نشریه مدیریت آب در کشاورزی
جلد ۷، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۹، ص. ۲۲-۱۱

مقاله علمی-پژوهشی

# شبیه‌سازی عملکرد و کارایی مصرف آب چغندرقند برای دورهای مختلف آبیاری*

حسن سیاحی[۱]، اصلان اگدرنژاد[۲]* و نیازعلی ابراهیمی پاک[۳]

## چکیده

با توجه به اهمیت چغندرقند در صنایع غذایی کشور، لازم است واکنش این گیاه زراعی نسبت به مقادیر مختلف آب آبیاری بررسی شود. با توجه به وقت‌گیر بودن و هزینه‌بر بودن انجام آزمایش‌های مختلف مزرعه‌ای، بهتر است یک مدل گیاهی مناسب بدین منظور انتخاب شود. برای دستیابی به این هدف، مدل‌های AquaCrop و CropSyst در شبیه سازی عملکرد و کارایی مصرف آب چغندرقند تحت تیمارهای مختلف آبیاری مورد ارزیابی قرار گرفتند. بدین منظور داده‌های برداشت شده از ایستگاه تحقیقاتی فیض آباد قزوین برای چهار دور آبیاری مختلف (I1:6، I2: 9، I3: 12 و I4: 15 روز) مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد دقت مدل AquaCrop بهتر از CropSyst بود. مدل AquaCrop به طور متوسط در برآورد عملکرد خطایی برابر با ۱/۷ تن در هکتار و مدل CropSyst خطایی برابر با ۴/۲ تن در هکتار داشتند. نتایج برای پارامتر کارایی مصرف آب برتری مدل AquaCrop بر CropSyst را نشان داد. کارایی هر دو مدل برای تعیین عملکرد و کارایی مصرف آب قابل قبول بود. خطای مدل AquaCrop در تعیین کارایی مصرف آب برابر با ۰/۲۱ کیلوگرم بر متر مکعب و خطای CropSyst برابر با ۰/۵ کیلوگرم بر مترمکعب بود. مقایسه آماره R2 بین مقادیر عملکرد و کارایی مصرف به دست آمده توسط دو مدل مورد نظر نشان داد که نتایج مدل AquaCrop همبستگی بیشتری با مقادیر مشاهداتی داشت. براساس کلیه نتایج، استفاده از مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی عملکرد چغندرقند پیشنهاد می‌شود.

**واژه های کلیدی:** کم‌آبیاری، مدل آب-محور، مدل تابش-محور، مدل‌سازی گیاهی

## مقدمه

چغندرقند یکی از گیاهان زراعی با ارزش است که سهم زیادی در صنایع غذایی دارد. با این وجود عملکرد این گیاه در کشور ما پایین‌تر از متوسط جهانی است و دلیل آن کمبود آب آبیاری در بسیاری از مزارع تحت کشت چغندرقند است (ابراهیمی‌پاک، ۱۳۸۹). به دلیل کاهش آب در دسترس (Ahmadee et al., 2014; Albaji et al., 2016)، این وضعیت در سال‌های آتی تشدید خواهد شد (Albaji et al., 2015). به همین دلیل نیاز است روش‌های مختلف کم‌آبیاری در شرایط مختلف زراعی آزمایش شود. تغییر دور آبیاری از جمله رایج‌ترین روش‌های کم‌آبیاری محسوب می‌شود که در بین کشاورزان بسیار رایج است. گرچه کم‌آبیاری اثر منفی بر عملکرد این گیاه زراعی دارد (Ebrahimipak et al., 2006)؛ لیکن در برخی مواقع سبب افزایش کارایی مصرف آب می‌شود. این موضوع با در نظر گرفتن مقدار آب آبیاری در کشاورزی قابل ملاحظه است (Blum, 2009؛ Farre & Faci, 2009؛ Geerts & Raes, 2009).

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.
[۲] استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران (* نویسنده مسئول: Email: a_eigder@ymail.com )
[۳] دانشیار، بخش آبیاری و فیزیک خاک، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
* مقاله مستخرج از پایان نامه کارشناسی ارشد رشته آبیاری و زهکشی - دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز
تاریخ دریافت: ۹۹/۱/۳
تاریخ پذیرش: ۹۹/۳/۶
DOR: 20.1001.1.24764531.1399.7.1.2.9

برای انجام آزمایش‌های متعدد جهت تعیین مقدار مناسب دور آبیاری در سطح مزارع چغندرقند در کشور، نیاز است آزمایش‌های متعدد انجام شود. اجرای این پایلوت‌ها بسیار هزینه‌بر بوده و مستلزم صرف وقت بسیاری است. از طرفی در زمان ثابت نمی‌توان سناریوهای مختلف دور آبیاری را در شرایط مختلف زراعی بررسی کرد. برای رفع این مشکلات، مدل‌های گیاهی مختلفی ارائه شده است که قابلیت شبیه‌سازی واکنش گیاهان مختلف زراعی را دارند (Geerts et al., 2009 ؛Boogaard et al., 1986). این مدل‌ها از دهه شصت میلادی ارائه شدند (Alishiri et al., 2014) و به مرور مورد توجه محققان قرار گرفتند. گرچه مدل‌های اولیه قابلیت کمتری نسبت به مدل‌های فعلی داشتند؛ لیکن در حال حاضر این مدل‌ها توانایی‌های قابل ملاحظه‌ای دارند.

مدل CropSyst یکی از مدل‌های گیاهی است که توسط بسیاری از محققان مورد استفاده قرار گرفته است. این مدل به عنوان یکی از مدل‌های تابش محور مطرح در شبیه‌سازی گیاهان زراعی است که توسط استوکل و نلسون ارائه گردیده است (Stockle & Nelson, 1996). مدل CropSyst برای شبیه‌سازی برخی محصولات کشاورزی مانند گندم (Moriondo et al., 2007) و یونجه (Confalonieri et al., 2009) مورد استفاده قرار گرفته است و دقت و کارایی آن گزارش شده است. Pala et al., (1996) در تحقیقی جهت تشخیص کارایی مدل CropSyst، به شبیه‌سازی عملکرد گندم تحت شرایط مختلف تأمین آب و نیتروژن پرداختند و نشان دادند که این مدل دقت خوبی برای شبیه‌سازی عملکرد گندم داشت. در تحقیقی دیگر که توسط سینگ و همکاران (Singh et al.,1999) برای شبیه‌سازی عملکرد گیاه گندم با استفاده از مدل CropSyst انجام شد، دقت بالا و کارایی مناسب این مدل تأیید شد. در تحقیقات انجام شده در منطقه کرخه توسط نظری‌فر و مومنی (۱۳۹۰) برای پهنه‌بندی بهره‌وری مصرف آب گندم با استفاده از مدل رشد گیاهی CropSyst در دوره‌های آبی متفاوت، عملکرد دانه شبیه‌سازی شده سازگاری مطلوبی با مقادیر واقعی داشته به طوری که ریشه میانگین مربعات خطای آن ۰/۰۳۹ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. در تحقیقی دیگر برای شبیه‌سازی اثر آب و نیتروژن بر عملکرد و بهره‌وری آب گندم عملکرد دانه‌ی شبیه‌سازی شده سازگاری مطلوبی با مقادیر واقعی داشته به طوری که ریشه میانگین مربعات خطا در طول سه فصل رشد معادل ۰/۴۱، ۰/۳۳، ۰/۳۴ تن در هکتار به دست آمد (محسنی و همکاران، ۱۳۸۸).

مدل AquaCrop یکی از مدل‌های آب-محور است که توسط سازمان خوار و بار کشاورزی (فائو) توسعه داده شده است. با توجه به قابلیت‌های این مدل از جمله دقت بالا و کاربر پسند بودن آن، تاکنون توسط بسیاری از محققان برای مدل‌سازی عملکرد و کارایی مصرف آب گیاهان زراعی استفاده شده است (Geert et al., 2009). از این مدل برای ارزیابی عملکرد گیاهان زراعی ذرت (Heng et al., 2009)، پنبه (Farahani et al., 2009)، آفتابگردان (Todorovic et al., 2009) و کینوآ (Geerts et al., 2009) اشاره کرد. نتایج کلیه این تحقیقات نشان داده است که کارایی مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی گیاهان زراعی مورد اشاره قابل قبول بوده است. تحقیقات محدودی نیز با استفاده از این مدل گیاهی برای شبیه‌سازی چغندرقند انجام شده است که از جمله آن‌های می‌توان به گزارش استریتویچ و همکاران (Stricevic et al., 2011) اشاره کرد. این محققان دقت این مدل را برای شبیه‌سازی عملکرد این محصول قابل قبول دانستند و حتی با شبیه‌سازی واکنش این محصول به مقادیر بارش و شبیه‌سازی عملکرد آن تحت سناریوی دیم نشان دادند که برای تولید این محصول حتی می‌توان آبیاری را در شمال صربستان حذف کرد. در تحقیقی دیگر، مالک و همکاران (Malik et al., 2017) از مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی عملکرد چغندرقند تحت سناریوهای مختلف آبیاری و استفاده از مالچ در پاکستان استفاده کردند و گزارش کردند که این مدل در شرایط آبیاری کامل و کم‌آبیاری ملایم دقت قابل قبولی داشت.

مطالعات متعددی روی دو مدل گیاهی AquaCrop و CropSyst انجام شده است ولی مقایسه آن‌ها در شرایط مختلف دور آبیاری گیاه چغندرقند تاکنون انجام نشده است؛ بنابراین، تحقیق حاضر به منظور دستیابی به این هدف انجام شد.

## مواد و روش‌ها

جهت انجام این پژوهش از داده‌های برداشت شده سه ساله (Y1 سال اول؛ Y2: سال دوم و Y3: سال سوم) در ایستگاه تحقیقاتی فیض آباد قزوین واقع در عرض جغرافیایی ۳۶° ۸' شمالی و طول جغرافیایی ۵۰° ۵' شرقی و ارتفاع ۱۲۴۰ متر از سطح دریا استفاده شد (ابراهیمی‌پاک و مستشاری، ۱۳۹۱ الف؛ ابراهیمی‌پاک و تافته، ۱۳۹۶). در این پژوهش، آماده‌سازی زمین و نمونه‌برداری از خاک مزرعه جهت انجام آزمایش خاک در اردیبهشت ماه هر سال انجام شد. بدین منظور نمونه خاک از دو عمق ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متر برداشت شد. نمونه‌های منتقل شده به آزمایشگاه بعد از خشک کردن و خرد کردن از الک دو میلی‌متری عبور داده شد و سپس توزیع اندازه ذرات با استفاده از روش هیدرومتری، جرم مخصوص ظاهری با استفاده از رینگ‌های فلزی به قطر شش و ارتفاع چهار سانتی‌متر و جرم مخصوص حقیقی با استفاده از پیکنومتر انجام شد (ابراهیمی‌پاک و مستشاری، ۱۳۹۱ الف). برای تعیین آب قابل استفاده، رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای و نقطه پژمردگی دائم به ترتیب در مکش ۰/۳ و ۱۵ بار توسط دستگاه صفحه فشاری اندازه‌گیری گردید. هدایت الکتریکی خاک در عصاره گل اشباع به وسیله دستگاه هدایت‌سنج الکتریکی و pH در حالت گل اشباع توسط دستگاه pH متر اندازه‌گیری شد. نتایج آنالیز خاک در جدول (۱) نشان داده شده است. کرت‌های زراعی مورد آزمایش در ابعاد ۱۰ متر مربع (۲/۵×۴) تهیه گردید. سپس بذر چغندرقند با تراکم ۹۵ هزار بوته در هکتار در عمق ۵ تا ۸ سانتی‌متری عمق خاک کاشته شد. براساس آنالیز خاک، ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم، ۳۴۵ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل قبل از کاشت مورد استفاده قرار گرفت. همچنین ۱۵۵ کیلوگرم در هکتار ازت خالص برای این آزمایش در نظر گرفت شد که نیمی از آن هنگام کاشت و مقدار باقیمانده در زمان شش تا هشت برگی شدن و بعد از تنک مردن مورد استفاده قرار گرفت. براساس دور آبیاری مرسوم برای مزارع چغندرقند در قزوین، چهار دور آبیاری I1:۶، I2: ۹، I3: ۱۲ و I4: ۱۵ روز در این آزمایش در نظر گرفته شد (ابراهیمی‌پاک و مستشاری، ۱۳۹۱ ب). میزان آب آبیاری با سنجش رطوبت در نقاط ظرفیت زراعی و پژمردگی دائم تعیین شد (رابطه ۱).

$$dn = \sum_{i=1}^{n} (FC - a_i) \times D \times \rho_b \qquad (۱)$$

که در این رابطه، dn مقدار آب مورد نیاز گیاه بر حسب میلی‌متر، FC ظرفیت زراعی مزرعه بر حسب درصد وزنی، a رطوبت قبل از آبیاری بر حسب درصد وزنی، D عمق لایه خاک بر حسب میلی‌متر، ρb جرم مخصوص ظاهری خاک بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب و n تعداد لایه‌های خاک است (ابراهیمی‌پاک و مستشاری، ۱۳۹۱ الف). پس از محاسبه dn، میزان آب آبیاری توسط کنتور با دقت بالا اندازه‌گیری شد. با توجه به مسدود بودن انتهای هر کرت، آب مورد نیاز کرت آزمایشی به وسیله لوله پلی‌اتیلن در ابتدای هر کرت بین ردیف‌های کاشت تقسیم شد تا به طور یکنواخت در اختیار گیاه قرار گیرد (ابراهیمی‌پاک و همکاران، ۱۳۸۷).

**جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی وشیمیایی خاک مزرعه مورد آزمایش**

| عمق | پتاسیم | فسفر | ازت کل | کربن آلی | درصد اشباع | EC | pH | رطوبت در ظرفیت زراعی | رطوبت در نقطه پژمردگی دائم | جرم مخصوص ظاهری | بافت خاک |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| سانتی‌متر | پی‌پی‌ام | پی‌پی‌ام | درصد | درصد | درصد | دسی‌زیمنس بر متر | – | سانتی‌متر مکعب بر سانتی‌متر مکعب | سانتی‌متر مکعب بر سانتی‌متر مکعب | گرم بر سانتی‌متر مکعب | |
| ۳۰-۰ | ۳۸۴ | ۸/۱۵ | ۷۰ | ۰/۵۵ | ۴۵ | ۰/۳۵ | ۸/۰۷ | ۰/۲۲ | ۰/۱۲ | ۱/۳۴ | سیلتی‌رسی |
| ۶۰-۳۰ | ۲۹۳ | ۷/۷ | ۷۲ | ۰/۴۸ | ۵۲ | ۰/۳۲ | ۸/۰۷ | ۰/۲۴ | ۰/۱۳ | ۱/۷۸ | لومی‌شنی |

مدل گیاهی CropSyst یک مدل شبیه‌سازی سیستم‌های کشت چند ساله، چند محصوله و با گام زمانی روزانه است که به عنوان ابزاری جهت تحلیل اثر اقلیم، خاک و مدیریت در بهره‌وری سیستم‌های کشت و محیط توسعه یافته‌است (Stockle & Nelson, 1996). در این مدل، رشد روزانه گیاه براساس دو روش تعیین می‌شود. روش اول براساس ارتباط افزایش ماده خشک و تشعشع است که در این روش ماده خشک تولید شده روزانه بوسیله رابطه (۲) شبیه‌سازی می‌شود.

$$G_R = 0.5 \times e \times f \times S_t \quad (۲)$$

که در این رابطه $G_R$ ماده خشک تولیدی روزانه (کیلوگرم بر متر مربع در روز)، e بازده تبدیل ماده خشک برای تابش خورشیدی[۲] (گرم بر مگاژول مربع)، f جزء تابش جذب شده توسط پوشش گیاهی و $S_t$ تابش خورشیدی روزانه (مگاژول برمتر مربع در روز) هستند. بازده تبدیل تابش خورشیدی (e)، به عنوان پارامتر مشخص کننده تولید ماده خشک به ازای هر واحد تابش جذب شده برای هر گیاه یا متغیر، جزء ورودی‌های مدل است. روش دوم ارتباط بین رشد ماده خشک و تعرق براساس نخمین تعرق پتانسیل گیاه است که در این روش ماده خشک تولید شده به وسیله معادله زیر شبیه‌سازی می‌شود.

$$AGB_{PT} = \frac{K_{BT} T_P}{VPD} \quad (۳)$$

که در این رابطه AGBPT رشد وابسته به تعرق (کیلوگرم بر متر در روز)، TP تعرق واقعی گیاه (کیلوگرم بر متر مربع در روز)، kBT نسبت ماده خشک-تعرق (کیلو پاسکال) و VPD میانگین روزانه کمبود فشار بخار (کیلو پاسکال) هستند.

مدل AquaCrop برای تعیین عملکرد، از تبخیر-تعرق (ET) محاسبه شده (رابطه ۴) با فرض تفکیک آن استفاده می‌کند. تفکیک این مولفه به دو جز تبخیر (E) و تعرق (Tr) سبب می‌شود تا مصرف غیر تولیدی آب از معادلات حذف شود (رابطه ۵).

$$\left(\frac{Y_x - Y_a}{Y_x}\right) = K_y \left(\frac{ET_x - ET_a}{ET_x}\right) \quad (۴)$$

$$T_r = K_s \times CC \times K_c \times ET_0 \quad (۵)$$

در رابطه‌های بالا $Y_x$ و $Y_a$ به ترتیب مقدار بیشینه و واقعی عملکرد محصول، $ET_x$ و $ET_a$ به ترتیب مقدار بیشینه و واقعی تبخیر-تعرق گیاه و $K_y$ ضریب نسبی میزان کاهش محصول نسبت به کاهش تبخیر-تعرق، $K_s$ و $K_c$ به ترتیب ضرایب تنش آبی و گیاهی و CC پوشش تاج در مرحله توسعه گیاه (درصد) که توسط رابطه (۶) محاسبه می‌شود.

$$CC = CC_0 \times e^{CGC.t} \quad (۶)$$

که در این رابطه $CC_0$ پوشش تاج اولیه (درصد)، CGC ضریب رشد پوشش تاج (عکس روز) و t زمان (روز) می‌باشد. با تعیین تعرق و تبخیر-تعرق، بیوماس خشک نیز طبق رابطه (۷) برآورد می‌گردد.

$$B = WP^* \left[\frac{Tr_i}{ET_{0,i}}\right] \quad (۷)$$

که در این رابطه Tr مقدار کل تعرق روزانه در طول فصل زراعی، WP بهره‌وری آب، $ET_o$ تبخیر-تعرق گیاه مرجع و B عملکرد بیوماس خشک است. مقدار عملکرد (Y) نیز با استفاده از ماده‌ی خشک تولید شده و شاخص برداشت (HI) طبق رابطه (۸) محاسبه می‌شود.

$$Y = B \times HI \quad (۸)$$

که در این رابطه Y عملکرد ریشه، HI شاخص برداشت و B بیوماس خشک است. داده‌های مورد استفاده در این مدل در چهار گروه داده‌های اقلیمی، گیاهی، خاک و مدیریت مزرعه دسته‌بندی می‌شوند. هر گروه از داده‌ها براساس آزمایش‌های مزرعه‌ای و یا داده‌های موجود به مدل معرفی شدند.

پیش از انجام واسنجی و صحت‌سنجی با AquaCrop و CropSyst ابتدا این مدل با استفاده از رابطه (۹) مورد تحلیل حساسیت قرار گرفت (Geerts & Raes, 2009).

[۲] Biomass conversion efficiency for solar radiation

$$Sc = \left| \frac{P_m - P_b}{P_b} \right| \times 100 \qquad (۹)$$

در این رابطه، Sc ضریب حساسیت بدون بعد، Pm مقدار برآورد شده عامل مورد نظر براساس داده‌های ورودی تعدیل شده و Pb مقدار برآورد عامل مورد نظر براساس داده ورودی پایه می باشد. به منظور تحلیل حساسیت هر عامل بر مقدار خروجی، آن عامل به میزان ۲۵ درصد مقدار آن افزایش و کاهش یافت. سپس مقدار ضریب حساسیت در سه کلاس، Sc>۱۵ حساسیت بالا، ۱۵>Sc>۲ حساسیت متوسط، Sc<۲ حساسیت پایین اندازه‌گیری شد (Geerts et al., 2009).

با استفاده از داده‌های سال زراعی اول واسنجی انجام شد. در مرحله واسنجی، پارامترهای با حساسیت متوسط و بالا آنقدر تغییر داده شدند تا مقادیر آماره‌های جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، جذر میانگین مربعات نرمال شده (NRMSE) و میانگین خطای اریب (MBE) به کمترین مقدار و کارایی مدل (EF)، شاخص توافق (d) و ضریب تبیین ($R^2$) به بیشترین مقدار ممکن رسیدند. سپس صحت‌سنجی با استفاده از داده‌های زراعی سال‌های دوم و سوم انجام شد و آماره‌های اشاره شده انجام شد. این آماره‌ها به ترتیب در روابط (۱۰) تا (۱۵) نشان داده شده‌اند.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{n}} \qquad (۱۰)$$

$$NRMSE = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{n}}}{\overline{O_i}} \qquad (۱۱)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i}^{n}(P_i - O_i)}{n} \qquad (۱۲)$$

$$EF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \overline{O})^2} \qquad (۱۳)$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(|P_i| + |O_i|)^2} \qquad (۱۴)$$

$$R^2 = \frac{\left(\sum (P_i - \overline{P})(O_i - \overline{O})\right)^2}{\sum (P_i - \overline{P})^2 \sum (O_i - \overline{O})^2} \qquad (۱۵)$$

در این روابط، $P_i$ مقدار شبیه‌سازی شده، $O_i$ مقدار اندازه‌گیری شده، $\overline{P}$ میانگین مقادیر شبیه‌سازی شده، $\overline{O}$ 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 نشان دهنده‌ی دقت عالی مدل است. هم چنین مقادیر این آماره در بازه‌های ۰/۱-۰/۲، ۰/۲-۰/۳ و بیشتر از ۰/۳ به ترتیب نشان دهنده‌ی دقت خوب، متوسط و ضعیف است. مقدار مثبت آماره MBE نشان‌دهنده این است که مدل‌های رشد گیاهی مقدار عامل مورد نظر را بیشتر از مقدار واقعی برآورد کرده است و مقادیر منفی بیانگر این است که مدل در برآورد عامل مورد نظر عدد کوچکتری به دست داده است. مقادیر آماره‌های EF و d نشان‌دهنده صحت برازش داده‌ها می‌باشد و از مقدار منفی بی‌نهایت در بدترین حالت تا یک در زمان برازش کامل داده‌ها متغیر است. مقدار R2 از صفر تا یک تغییر می‌کند و هر چه به یک نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده برازش بهتر داده‌ها می‌باشد.

## نتایج و بحث

نتایج تحلیل حساسیت نشان داد که مدل CropSyst نسبت به تغییرات اکثر پارامترهای ورودی حساسیت متوسط داشت (جدول ۲). البته برخی پارامترها مانند حداکثر عمق ریشه در حالتی که مقدار آن افزایش پیدا کرد حساسیتی بر نتایج مدل نداشت. کاهش اندازه ریشه حساسیت متوسطی بر خروجی این مدل داشت. به همین دلیل این موضوع در واسنجی مدل CropSyst مورد توجه قرار گرفت و مقادیر کاهشی برای ریشه جهت واسنجی مدل در نظر گرفته شد. براساس این روند، طول ریشه از مقدار پیش‌فرض مدل (۲ متر) به ۱/۵ متر کاهش یافت. این نتایج در جدول (۳) قابل مشاهده است. سایر پارامترهای ورودی مدل CropSyst نیز در این جدول نشان داده شده است. تحلیل حساسیت پارامترهای ورودی مدل AquaCrop پیش از واسنجی انجام شد و برخی نتایج آن در جدول

۲ نشان داده شده است. نتایج به‌دست آمده نشان داد که این مدل نسبت به تغییرات اکثر پارامترهای ورودی حساسیت متوسط داشت. تغییرات برخی پارامترها نیز مانند ضریب گیاهی برای تعرق بر خروجی این مدل حساسیت چندانی نداشت به همین دلیل در جدول واسنجی مقدار این پارامتر برابر با پیش‌فرض در نظر گرفته شد. پارامترهایی که دارای حساسیت متوسط بودند تحت واسنجی قرار گرفتند که نتایج آن در جدول ۳ نشان داده شده است.

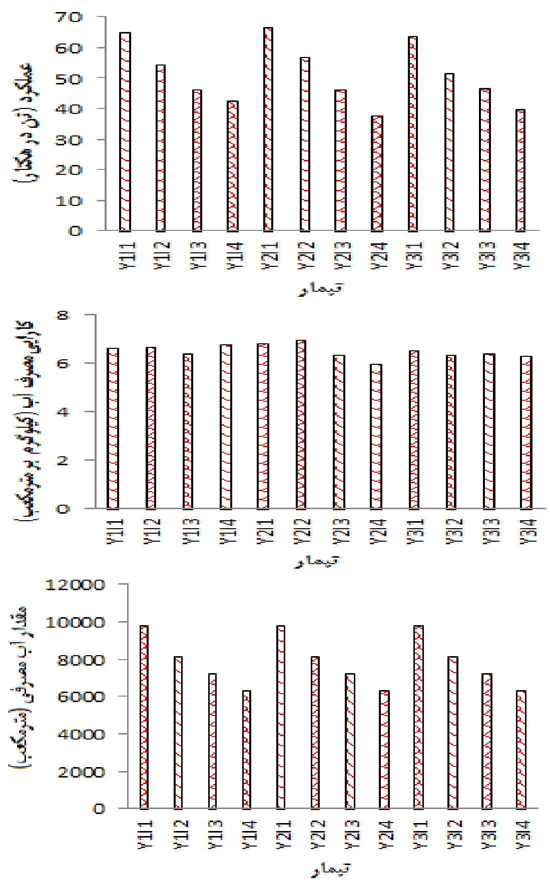
**جدول ۲- ضریب حساسیت برخی عوامل ورودی مدل‌های رشد گیاهی AquaCrop و CropSyst برای شبیه‌سازی عملکرد چغندرقند**

| پارامتر | مقدار Sc در حالت ۲۵٪+ | مقدار Sc در حالت ۲۵٪- | درجه حساسیت |
|---|---|---|---|
| مدل AquaCrop | | | |
| ضریب گیاهی برای تعرق | ۱/۴ | ۱/۱ | کم |
| عمق مؤثر ریشه | ۷/۷ | ۲/۵ | متوسط |
| مدت زمان کاشت تا جوانه‌زنی | ۲/۱ | ۴/۶ | متوسط |
| مدت زمان کاشت تا بیشینه رشد کانوپی | ۴/۷ | ۳/۹ | متوسط |
| مدت زمان کاشت تا برداشت محصول | ۶/۸ | ۱/۴ | متوسط |
| مدت زمان کاشت تا دوره پیری | ۳/۳ | ۱/۷ | متوسط-کم |
| حد آستانه بالای دما | ۲/۹ | ۵/۵ | متوسط |
| مدل CropSyst | | | |
| ضریب تبخیرتعرق گیاهی | ۵/۲ | ۳/۳ | متوسط |
| ضریب خاموشی نور | ۷/۵ | ۲/۱ | متوسط |
| دمای پایه | ۳/۱ | ۶/۷ | متوسط |
| ضریب جذب نیتروژن | ۱/۶ | ۴/۸ | متوسط |
| حداکثر عمق ریشه | ۱/۱ | ۲/۴ | کم-متوسط |

**جدول ۳- مقادیر عوامل گیاهی مورد استفاده در مدل‌های رشد گیاهی AquaCrop و CropSyst**

| توضیح عامل | مقدار | واحد | توضیح |
|---|---|---|---|
| مدل AquaCrop | | | |
| تراکم کشت | ۹۵۰۰۰ | گیاه در هکتار | اندازه‌گیری |
| ضریب رشد کانوپی | ۱۳/۶ | درصد روز | پیش‌فرض |
| پوشش گیاهی هر گیاهچه هنگام جوانه‌زنی | ۵ | سانتی‌متر مربع | پیش‌فرض |
| مدت زمان کاشت تا جوانه‌زنی | ۶ | روز | واسنجی |
| مدت زمان کاشت تا بیشینه رشد کانوپی | ۷۰ | روز | واسنجی |
| مدت زمان کاشت تا دوره پیری | ۱۴۵ | روز | واسنجی |
| مدت زمان کاشت تا برداشت محصول | ۱۱۳ | روز | واسنجی |
| عمق مؤثر ریشه | ۱/۴ | متر | واسنجی |
| بهره‌وری آب نرمال شده | ۱۶/۵ | گرم بر متر مربع | واسنجی |
| پوشش گیاهی اولیه | ۰/۱ | درصد | واسنجی |
| بیشینه رشد کانوپی | ۹۸ | درصد | واسنجی |
| مدل CropSyst | | | |
| ضریب تبدیل زیست‌توده-تعرق | ۷ | $KP.g.m^{-2}$ | پیش‌فرض |
| نرخ تبدیل نور به زیست‌توده | ۳/۵ | $Kg.MJ^{-1}$ | پیش‌فرض |
| نسبت تبخیرتعرق واقعی به پتانسیل که رشد شاخص سطح برگ را محدود می‌کند | ۰/۹۰ | - | واسنجی |
| نسبت تبخیرتعرق واقعی به پتانسیل که رشد ریش را محدود می‌کند | ۰/۵۵ | - | واسنجی |
| حداکثر جذب آب | ۸ | $mm.d^{-1}$ | واسنجی |
| ضریب تبخیرتعرق گیاهی | ۱/۰۵ | - | واسنجی |
| ضریب خاموشی نور | ۰/۵ | - | پیش‌فرض |
| دمای پایه | ۱ | °C | پیش‌فرض |
| حداکثر دما | ۲۵ | °C | پیش‌فرض |
| ضریب جذب نیتروژن | ۱/۳ | - | واسنجی |
| حداکثر عمق ریشه | ۱/۵ | M | واسنجی |

مقادیر عملکرد، کارایی مصرف آب مشاهداتی و مقدار آب مصرفی در هر چهار تیمار آبیاری (I1:۶، I2: ۹،I3: ۱۲ و I4: ۱۵ روز) و سه سال زراعی (Y1: سال اول، Y2: سال دوم و Y3: سال سوم) در شکل (۱) نشان داده شده است. مقایسه مقادیر عملکرد مشاهداتی و شبیه‌سازی شده با AquaCrop در شکل (۱) نشان داده شده است.



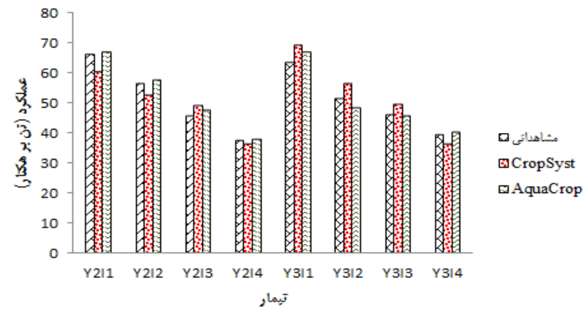

**شکل ۱- نتایج عملکرد و کارایی مصرف آب مشاهداتی و مقدار آب مصرفی چغندر برای تیمارهای مختلف (I1:6، I2: 9، I3: 12 و I4: 15 روز برای دور آبیاری و Y1: سال اول، Y2: سال دوم و Y3: سال سوم کاشت می‌باشد.)**

براساس این نتایج، بیشترین و کمترین اختلاف بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده به ترتیب برابر با ۰/۳۷ و ۳/۱۸ تن در هکتار بود. متوسط اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهداتی نیز برابر با ۱/۴۴ تن در هکتار بود. گرچه روند منظمی بین افزایش تنش آبی و مقادیر عملکرد شبیه‌سازی شده توسط این مدل مشاهده نشد لیکن در سال اول با افزایش دور آبیاری، خطای برآورد عملکرد در دو تیمار I2 و I3 افزایش یافت. متوسط اختلاف بین عملکرد مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در دورهای آبیاری I1، I2، I3 و I4 به ترتیب برابر با ۱/۹۲، ۲/۱۱، ۱/۱۵ و ۰/۵۸ تن در هکتار بود.

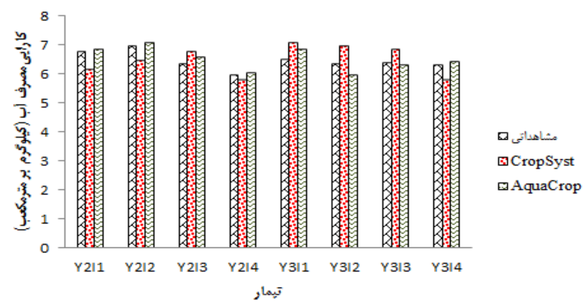
نتایج مقایسه عملکرد چغندرقند تحت شرایط مختلف دور آبیاری و مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل CropSyst در شکل (۲) نشان داده شده است. براساس این نتایج، حداقل و حداکثر اختلاف بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده به ترتیب برابر با ۵/۹۸ و ۱/۱۲ تن بر هکتار بود. این نتایج به ترتیب برای تیمارهای Y2I1 و Y2I4 مشاهده شد. تفکیک نتایج برای هر کدام از دورهای آبیاری I1، I2، I3 و I4 نشان داد که متوسط اختلاف عملکرد مشاهداتی و شبیه‌سازی شده برای چغندرقند به ترتیب برابر با ۵/۸، ۴/۵، ۳/۲ و ۲/۱ تن بر هکتار بود. این نتایج نشان داد که با افزایش تنش آبی، دقت مدل CropSyst افزایش یافت. این نتایج براساس ماهیت تشعشع-محور بودن این مدل قابل توجیه است. بر خلاف مدل‌های گیاهی دیگر، مدل CropSyst عملکرد را براساس نور دریافتی شبیه‌سازی می‌کند. البته در دور آبیاری I1، مقدار عملکرد برداشت شده در مزرعه به طور متوسط برابر با ۶۵/۱ تن در هکتار بود. در حالی که این مقدار برای دور آبیاری I4 برابر با ۳۸/۶ تن بر هکتار بود. با توجه به اینکه در دورهای آبیاری بالا مقدار عملکرد گیاه زراعی نیز به شدت کاهش می‌یابد؛ اختلاف بین مقدار شبیه‌سازی شده و مشاهداتی کمتر از زمانی است که آبیاری با دور زمانی کمتر صورت می‌گیرد. با این وجود، دقت این مدل برای دور آبیاری بالا از سایر مدل‌های زراعی آب-محور مانند AquaCrop بهتر بود. اکثر محققان مانند هنگ و همکاران (Heng et al., 2009) و اندرزیان و همکاران (Andarzian et al., 2011) کاهش دقت این گونه مدل‌ها را در شرایط کم‌آبیاری و یا افزایش دور آبیاری گزارش کرده‌اند.

نتایج مقایسه کارایی مصرف آب در دو حالت شبیه‌سازی شده و مشاهداتی برای هر دو مدل گیاهی در شکل (۳) نشان داده شده است. براساس این نتایج، بیشترین و کمترین مقدار این پارامتر به ترتیب برابر با ۶/۹ و ۵/۹ کیلوگرم بر مترمکعب بود. متوسط اختلاف نتایج مشاهداتی و شبیه‌سازی کارایی مصرف آب با مدل CropSyst برابر با ۰/۴۸ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمد. براساس نتایج شبیه‌سازی شده با مدل CropSyst، بیشترین و کمترین مقدار کارایی مصرف آب به ترتیب برابر با ۷/۱ و ۵/۸ کیلوگرم بر متر مکعب بود. این نتایج برای مدل AquaCrop به ترتیب برابر با ۷/۱ و ۵/۹ کیلوگرم بر متر مکعب تعیین

شد. متوسط اختلاف بین کارایی مصرف آب شبیه‌سازی شده با AquaCrop و مقادیر مشاهداتی نیز برابر با ۰/۱۷ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمد.




**شکل ۲- نتایج عملکرد مشاهداتی چغندر نسبت به مقادیر شبیه‌سازی شده با مدل‌های AquaCrop و CropSyst برای تیمارهای مختلف (I1:۶، I2: ۹،I3: ۱۲ و I4: ۱۵ روز برای دور آبیاری و Y2: سال دوم و Y3: سال سوم کاشت می‌باشد.)**

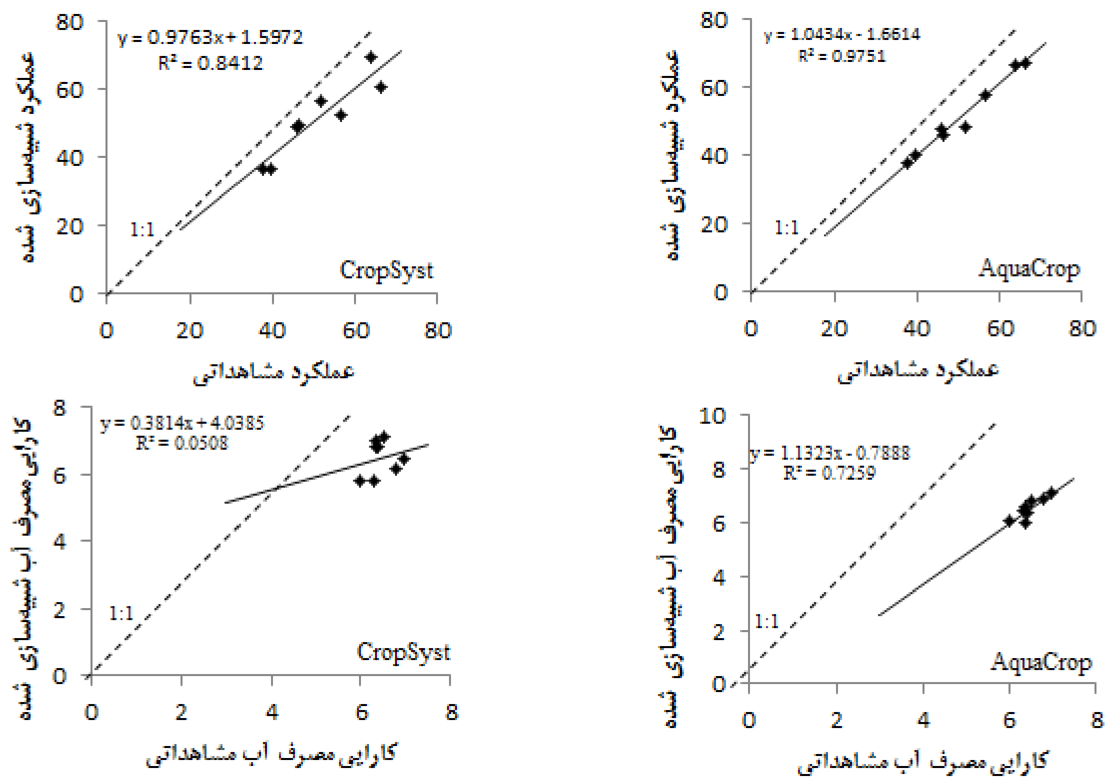



**شکل ۳- نتایج کارایی مصرف آب مشاهداتی چغندرقند نسبت به مقادیر شبیه‌سازی شده با مدل CropSyst برای تیمارهای مختلف (I1:۶، I2: ۹،I3: ۱۲ و I4: ۱۵ روز برای دور آبیاری و Y2: سال دوم و Y3: سال سوم کاشت می‌باشد.)**

مقادیر آماره MBE برای پارامتر عملکرد در مدل‌های AquaCrop و CropSyst نشان داد که هر دو مدل دچار خطای کم‌برآوردی شدند. مقایسه آماره RMSE برای هر دو مدل مورد استفاده شده نشان داد که دقت مدل AquaCrop بهتر از CropSyst بود. این نتایج با مقایسه آماره NRMSE برای این دو مدل نیز مشاهده شد. گرچه مقادیر NRMSE برای این دو مدل کمتر از ۰/۱ بود و نشان داد که دقت هر دو مدل در برآورد عملکرد چغندرقند عالی بود. کارایی هر دو مدل مورد استفاده نیز برای تعیین عملکرد چغندرقند عالی بود. نتایج به دست آمده برای کارایی مصرف آب نشان داد که هر دو مدل دچار خطای کم‌برآوردی شد. خطای به دست آمده از هر دو مدل در تعیین کارایی مصرف آب نشان داد که دقت مدل AquaCrop بهتر از CropSyst بود. کارایی دو مدل گیاهی مورد استفاده برای شبیه‌سازی کارایی مصرف آب عالی بود(جدول ۴). مقایسه آماره R2 برای عملکرد شبیه‌سازی شده توسط دو مدل AquaCrop و CropSyst نشان داد که همبستگی بین نتایج به دست آمده از مدل AquaCrop با مقادیر مشاهداتی بیشتر بود (شکل ۴). نتایج این آماره برای پارامتر کارایی مصرف آب شبیه‌سازی شده با مدل CropSyst بسیار ضعیف بود در حالی که همبستگی بین مقادیر شبیه‌سازی شده کارایی مصرف آب توسط مدل AquaCrop و مقادیر مشاهداتی قابل قبول بود.

**جدول ٤- مقادیر آماره‌های به دست آمده بین مقایسه مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده با مدل‌های رشد گیاهی AquaCrop و CropSyst**

| نام مدل گیاهی | پارامتر | MBE | RMSE | NRMSE | EF | d |
|---|---|---|---|---|---|---|
| AquaCrop | عملکرد (تن در هکتار) | -۰/۵۵ | ۱/۷۹ | ۰/۰۳ | ۰/۹۹ | ۰/۹۹ |
| | کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب) | -۰/۰۶ | ۰/۲۱ | ۰/۰۳ | ۰/۹۹ | ۰/۹۹ |
| CropSyst | عملکرد (تن در هکتار) | -۰/۳۸ | ۴/۲۳ | ۰/۰۸ | ۰/۹۹ | ۰/۹۹ |
| | کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب) | -۰/۰۴ | ۰/۵۰ | ۰/۰۷ | ۰/۹۹ | ۰/۹۹ |




**شکل ٤- نتایج همبستگی بین مقادیر عملکرد (تن بر هکتار) و کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب) مشاهداتی و شبیه‌سازی شده با مدل‌های گیاهی** AquaCrop **(سمت راست) و** CropSyst **(سمت چپ)**

## نتیجه‌گیری

نتایج به دست آمده برای عملکرد و کارایی مصرف آب شبیه‌سازی شده توسط دو مدل AquaCrop و CropSyst در دورهای آبیاری متفاوت در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که مدل AquaCrop در اکثر تیمارها دقت بهتری برای شبیه‌سازی عملکرد و کارایی مصرف آب داشت. مقایسه نتایج آماره‌های MBE، RMSE و NRMSE برای این دو مدل نشان داد که گرچه این دو مدل دچار خطای کم‌برآوردی شدند لیکن دقت مدل AquaCrop بهتر از CropSyst بود. به طوری که مدل AquaCrop به طور متوسط در برآورد عملکرد خطایی برابر با ۱/۷ تن در هکتار و مدل CropSyst خطایی برابر با ۴/۲ تن در هکتار داشتند. این نتایج برای پارامتر کارایی مصرف آب نیز به دست آمد و برتری مدل AquaCrop بر CropSyst را نشان داد. کارایی هر دو مدل برای تعیین عملکرد و کارایی مصرف آب قابل قبول بود. خطای مدل AquaCrop در تعیین کارایی مصرف آب برابر با ۰/۲۱ کیلوگرم بر متر مکعب و خطای CropSyst برابر با ۰/۵ کیلوگرم بر مترمکعب بود. مقایسه آماره R2 بین مقادیر عملکرد و کارایی مصرف به دست آمده توسط دو مدل مورد نظر نشان داد که نتایج مدل AquaCrop همبستگی بیشتری با مقادیر مشاهداتی داشت. براساس کلیه نتایج، استفاده از مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی عملکرد چغندرقند پیشنهاد می‌شود.

## مراجع

ابراهیمی‌پاک، ن. ع. ۱۳۸۹. تعیین واکنش عملکرد چغندرقند (Ky) به کم‌آبیاری در مراحل مختلف رشد. چغندرقند. ۲۶(۱): ۷۹-۶۷.

ابراهیمی‌پاک، ن. ع.، تافته، آ. ۱۳۹۶. تعیین تابع تولید محصول- آب مصرفی چغندرقند در قزوین، چغندرقند، ۳۳(۱): ۶۳-۴۷.

ابراهیمی‌پاک، ن. ع.، مستشاری، م. ۱۳۹۱ الف، ارزیابی مدیریت مصرف آب آبیاری و کود بور در جهت افزایش کارایی مصرف آب چغندرقند، مدیریت آب و آبیاری، ۲(۲): ۶۷-۵۳.

ابراهیمی‌پاک، ن. ع.، مستشاری، م. ۱۳۹۱ ب، برهمکنش تنش آبی و کودهای محتوی روی، منگنز و بور بر عملکرد و

کارایی مصرف آب چغندرقند، پژوهش آب در کشاورزی، ۲۶(۳): ۳۰۲-۲۸۹.

محسنی، م.، منتظر، ع. ا.، رحیمی‌خوب، ع. ۱۳۸۸. ارزیابی مدل گیاهی CropSyst در شبیه‌سازی اثر توامان آب و نیتروژن بر عملکرد و بهره‌وری آب گندم. آبیاری و زهکشی. ۳(۱): ۱۲۵-۱۱۳.

نظری‌فر، م. ه.، مومنی، ر. ۱۳۹۰. اعتباریابی و ارزیابی مدل رشد گیاهی CropSyst در تعیین الگوی کشت مناسب در شرایط کم‌آبیاری-مطالعه موردی شبکه آبیاری و زهکشی شهید چمران، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک. ۱۵(۵۶): ۶۱-۴۹.

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.

Albaji, M., Boroomand Nasab, S., Golabi, M., Ahmadee, M. 2015. Application Possibilities of Different Irrigation Methods in Hofel Plain, 25(1): 13-23.

Albaji, M., Golabi, M., Hooshmand, A. R., Ahmadee, M. 2016. Investigation of surface, sprinkler and drip irrigation methods using GIS, Jordan Journal of Agricultural Science, 12(1): 211-222.

Alishiri, R., Paknejad F. & Aghayari, F. 2014. Simulation of sugar beet growth under different water regimes and nitrogen levels by AquaCrop. Bioscience. 4(4): 1-9.

Andarziana B., Bannayanb M., Stedutoc P., Mazraeha H., Barati M. E., Barati, M. A. & Rahnama A. 2011. Validation, and testing of the AquaCrop model under full and deficit irrigated wheat production in Iran. Agricultural Water Management. 100:1-8.

Blum, F. A. 2009. Effective use of water (EUW) and not water-use efficiency (WUE) is the target of crop yield improvement under drought stress. Field Crops Research. 112: 119-123.

Boogaard, H. L., Van Diepen C. A., Rotter R. P., Cabrera J. M. C. A. & Van Laar H H. 1998. WOFOST 7.1; user's guide for the WOFOST 7.1 crop growth simulation model and WOFOST Control Center 1.5 (No. 52). SC-DLO.

Confalonieri, R., Acutis, M., Bellocchic, G. & Donatelli, M. 2009. Multi-metric evaluation of the models WARM, CropSyst, and WOFOST for rice. Ecological Modeling. 220: 1395-1410.

Farahani H. J., Izzi G., Steduto P. and Oweis T Y 2009. Parameterization and evaluation of AquaCrop for full and deficit irrigated cotton. Agronomy. 101: 469-476.

Farre, F., & Faci, J. M., 2009. Deficit irrigation in maize for reducing agricultural water use in a Mediterranean environment. Agricultural Water Management. 96: 384-394.

Geerts S., Raes D., Garcia, M., Miranda, R. & Cusicanqui, J. A. 2009. Simulating yield response to water of quinoa (Chenopodium quinoaWilld.) with FAO-AquaCrop. Agronomy. 101: 499-508.

Geerts, S., & Raes, D. 2009. Deficit irrigation as on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. Agricultural Water Management. 96: 1275-1284.

Heng, L. k., Hsiao, T. C., Evett, S., Howell, T. & Steduto, P. 2009. Validating the FAO AquaCrop model for Irrigated and Water Deficient field maize. Agronomy. 101(3): 488-498.

Malik A., Shakir A. S., Ajmal M., Jamal Khan M and Ali Kan T 2017. Canopy cover, biomass and root yield under different irrigation and field management practices in semi-arid regions of Pakistan. Water Resources Management. 31: 4275-4292.

Moriondo, M., Maselli, F. & Bindi, M. 2007. A Simple Model of Regional Wheat Yield Based on NDVI data. Europian Journal of Agronomy. 26: 266-274.

Pala, M., Stockle, C. O. & Harris, H. C. 1996. Simulation of durum wheat (Triticum turgidum ssp. durum) growth under different water and nitrogen regimes in a Mediterranean environment using CropSyst. Agricultural Systems. 51(2): 147-163.

Singh, A. K., Tripathy, R.& Chopra, U. K. 2008. Evaluation of CERES-Wheat and CropSyst models for water-nitrogen interactions in wheat crop. Agricultural Water Management. 95(7): 776-786.

Stockle, C. O. & Nelson, R. L. 1996. Cropsyst User’s manual (Version 2.0). Biological Systems Engineering Dept., Washington State University, Pullman, WA, USA.

Stricevic R., Cosic M., Djurovic N., Pejic B and Maksimovic L 2011. Assessment of the FAO AquaCrop model in the simulation of rainfed and supplementally irrigated maize, sugar beet and sunflower. Agricultural Water Management. 98: 1615-1621.

Todorovic M., Albrizio R., Zivotic L., Abisaab M and Stwckle C 2009. Assessment of AquaCrop, CropSyst and WOFOST models in the simulation of sunflower growth under different water regimes. Agronomy. 101: 509-521.

Water Management in Agriculture
Vol. 7, No. 1, Spring and Summer 2020, 11-22

نشریه مدیریت آب در کشاورزی
جلد ۷، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۹، ص. ۲۲-۱۱

# Simulation of Sugar Beet Yield and Water Use Efficiency under Different Irrigation Period

**H. Sayyahi**[1], **A. Egdernezhad**[2*] **and N.A. Ebrahimipak**[3]

## Abstract

Due to importance of sugar beet in food industry in Iran, it is necessary to study the reply of the crop to different irrigation water. Since applying farm studies need time and costs, it is important to use cropping model. To achieve the aim, AquaCrop and CropSyst models were evaluated for simulation of sugar beet yield under different irrigation scenarios. To do this end, data collected from Feiz Abad agricultural research station in Qazvin from four irrigation periods (I1: 6, I2: 9, I3: 12 and I4: 1 day) were used. Results showed that AquaCrop accuracy was better than CropSyst. In average, AquaCrop and CropSyst error for simulation of sugarbeet yield were 1.7 $ton.ha^{-1}$ and 4.2 $kg.ha^{-1}$, respectively. Results for water use efficiency showed the superiority of AquaCrop. Efficiencies of both crop models for yield and water use efficiency were acceptable. AquaCrop and Cropsyst error for simulation of water use efficiency were 0.21 $kg.m^{-3}$ and 0.50 $kg.m^{-3}$, respectively. Comparison of $R^2$ for both models revealed that AquaCrop results had better correlation with observed data compared to CropSyst ones. According to all results, it is proposed to use AquaCrop for simulation of sugarbeet.

**Keywords:** Crop Modeling, Deficit Irrigation, Radiation-driven Model, Water-driven Model.

[1] M.Sc. Student of Irrigation and drainage, Department of Water Sciences and Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.
[2] Assistant professor, Department of Water Sciences and Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.
(*Corresponding Author Email: a_eigder@ymail.com)
[3] Associated professor, Department of irrigation and soil physics, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.
Received: 22 March 2020
Accepted: 26 May 2020

Water Management in Agriculture
Vol. 7, No. 1, Spring and Summer 2020, 23-32

نشریه مدیریت آب در کشاورزی
جلد ۷، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۹، ص. ۳۲-۲۳

**مقاله علمی-ترویجی**

# پاسخ رشد نهال‌های صنوبر دلتوئیدس (*Populus deltoides* Bartr. ex Marsh) به رژیم‌های مختلف آبیاری در استان گیلان

**سارا معینی‌فر[1]*، علی صالحی[2]، مهرداد قدس‌خواه دریایی[3]* و ابوذر حیدری صفری کوچی[4]**

## چکیده

مطالعه حاضر با هدف بررسی اثر رژیم‌های مختلف رطوبتی بر برخی ویژگی‌های کمی نهال‌های گونه سریع‌الرشد صنوبر دلتوئیدس در استان گیلان انجام شد. کاشت قلمه‌ها در قالب طرح آماری کاملاً تصادفی با چهار تیمار و پنج تکرار انجام شد. سه سطح آبیاری شامل۲۰٪، ۴۰٪ و ۶۰٪ رطوبت اشباع خاک موجود در هر گلدان شامل ۱۸۷/۵، ۳۷۵ و ۵۷۰ میلی‌لیتر آب برای ۲/۵ کیلوگرم خاک و تیمار شاهد (بدون آبیاری دستی) با فواصل سه‌روزه از ابتدای بهار تا پایان تابستان بر روی نهال‌ها اعمال گردید. در انتهای دوره ارتفاع نهال‌ها با استفاده از خط‌کش، قطر یقه با استفاده از کولیس، وزن‌تر ساقه و ریشه به‌وسیله ترازو، زی‌توده ساقه و ریشه با خشک‌کردن در آون و توزین، طول ریشه‌ها به کمک کاغذ رسم و تعداد برگ‌ها با شمارش تعیین و با آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه مورد آزمون قرار گرفت. نتایج نشان داد که بیشترین میانگین ارتفاع با ۹۴/۲ و ۹۰ سانتی‌متر، بیشترین قطر یقه با ۸/۳ و ۷/۷۳ میلی‌متر، بیشترین طول ریشه با ۴۶۳ و ۴۲۵ سانتی‌متر، بیشترین تعداد برگ با ۱۲ و ۹ عدد، بیشترین وزن‌تر ساقه با ۳۷ و ۳۴ گرم و بیشترین زی‌توده ساقه نهال‌های مورد بررسی با ۱۸ و ۱۶ گرم مربوط به تیمار ۴۰ و ۶۰ درصد بوده است و بین این دو تیمار اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. همچنین بیشترین نسبت زی‌توده ساقه به ریشه به میزان ۳/۲ در مورد تیمار ۴۰ درصد به‌دست آمد. با توجه به نتایج مطالعه حاضر، حد بهینه آبیاری نهال‌های مورد مطالعه به میزان ۴۰ درصد رطوبت اشباع خاک تعیین شد.

**واژه‌های کلیدی:** دور آبیاری، طول ریشه، قطر یقه، قلمه، وزن ساقه.

## مقدمه

درختان صنوبر از دیرباز مورد توجه انسان بوده و منافع قابل‌توجهی نیز برای بشر داشته‌اند. دلایلی چون کاربرد پایه‌های صنوبر در امور ساختمان‌سازی و مناسب بودن الیاف صنوبر برای کاغذسازی، این درختان را در زمره‌ی درختان پراهمیت در جهان قرار داده است؛ به‌طوری‌که برای آن کمیسیون بین‌المللی[2] تشکیل شده است و ایران نیز از سال ۱۳۳۴ شمسی عضو این کمیسیون می‌باشد (کلاگری و همکاران، ۱۳۹۷؛ حیدری صفری کوچی و رستمی شاهراجی، ۱۳۹۷). صنوبر دلتوئیدس (Populus deltoides) یکی از گونه‌های مهم و پرمحصول بخش ایگروس[3] است که بومی آمریکا بوده و با توجه به سازگاری با شرایط محیطی، تجدید حیات آسان، امکان کشت مخلوط، قابلیت هرس طبیعی، سرعت رشد و سهولت ازدیاد به روش غیرجنسی به‌صورت گسترده در شمال ایران به‌ویژه استان

[1] دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران.
[2] دانشیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران.
[3] دانشیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران.
(*نویسنده مسئول: Email: mdaryaei9@gmail.com)
[4] دانش‌آموخته دکتری، جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران.

تاریخ دریافت: ۹۹/۱/۲۳
تاریخ پذیرش: ۹۹/۳/۱۲
DOR: 20.1001.1.24764531.1399.7.1.3.0

2. International Poplar *Commission* IPC
3. Aigeiros Duby (از بخش‌های پنجگانه صنوبر)

گیلان مورد کاشت است (ثقفی و همکاران، ۱۳۹۸). از طرفی آبیاری سطوح وسیع صنوبر در فصول خشک (انتهای بهار و تابستان) حتی در استان پرآبی چون گیلان اخیراً با مشکلاتی مواجه شده است (پیرو و همکاران، ۱۳۹۶). علاوه بر کمبود آب، گونه صنوبر به شرایط غرقابی حساس بوده و عدم زهکشی نیز رشد مطلوب آن را مختل می‌سازد (Nelson et al., 2019). بنابراین شناخت حد مطلوب نیاز رطوبتی گونه‌های صنوبر موجب دستیابی به عملکرد مناسب، ایجاد زی‌توده[1] قابل‌قبول و صرفه‌جویی در مصرف آب در آبیاری آن‌ها می‌شود. معمولاً برای اعمال رژیم آبیاری گیاهان، دو روش کلی شامل دور آبیاری ثابت با مقدار آب متغیر و تغییر دور آبیاری پیشنهاد می‌شود که انتخاب روش مربوطه به هدف کار بستگی دارد (محمدی و همکاران، ۱۳۹۸).

نظر به نگرانی‌های زیست‌محیطی و ضرورت دستیابی به بهترین رشد و عملکرد درختان، مطالعات عمده‌ای در مورد حد بهینه مصرف آب به‌ویژه در مورد گونه‌های آبدوست در جهان به انجام رسیده است. ازجمله بررسی رشد و عملکرد صنوبر اورآمریکن[2] در کشور چین نشان داده است که بین تیمارهای مختلف، آبیاری به میزان ۵۰ درصد رطوبت اشباع خاک بهترین عملکرد نهال‌های این‌گونه را در پی داشته است (Yan et al., 2018). در مطالعه‌ای دیگر پایش سه‌ساله حجم و زی‌توده ۵۶ هیبرید از کلن‌های مختلف صنوبر در ایالت ایندیانا کشور آمریکا تحت تیمارهای مختلف نشان داد که تیمار آبیاری همراه با کوددهی، بیشترین زی‌توده را در بین تیمارهای صرفاً کوددهی، صرفاً آبیاری، کوددهی و آبیاری و کنترل (بدون دخالت) حاصل نموده است (Nelson et al., 2019). همچنین مدل‌سازی تغییرات زی‌توده چهار هیبرید صنوبر با تغییرات ظرفیت زراعی مزرعه در کشور اسپانیا نشان داد حد بهینه عملکرد گونه‌های موردمطالعه در ۶۵ درصد ظرفیت مزرعه است (González-González et al., 2017). باوجود اهمیت موضوع، سابقه مطالعاتی در این زمینه در ایران ضعیف است. از مطالعات مشابه می‌توان به مطالعه یوسفی و مدیر رحمتی (۱۳۹۷) اشاره نمود که با بررسی ۱۴ کلن تاج بسته تبریزی، کلن‌های ۵۶/۵۲ و ۵۶/۵۷ را مقاوم‌ترین کلن‌ها به کاهش رطوبت خاک معرفی نمودند. همچنین نتایج مطالعه پیرو و همکاران (۱۳۹۶) نشان داد که حجم تولید صنوبر دلتوئیدس در روش آبیاری قطره‌ای نسبت به آبیاری کرتی به‌طور معنی‌داری بیشتر است.

با توجه به شرایط اقلیمی و محدودیت منابع آبی کشور و حساس بودن صنوبرها به عامل آبیاری و رطوبت خاک در مراحل ابتدایی رشد هدف از پژوهش حاضر، بررسی اثر سطوح مختلف رطوبتی بر روی خصوصیات کمی نهال‌های کلن ۶۹/۷۵ صنوبر دلتوئیدس در استان گیلان می‌باشد. بنابراین ارائه میزان بهینه آب موردنیاز نهال‌های صنوبر در این مطالعه می‌تواند موجب صرفه‌جویی در آب مصرفی و بهبود عملکرد و زی‌توده این‌گونه پرمصرف در یکی حساس‌ترین مرحله رشد آن شود.

## مواد و روش‌ها

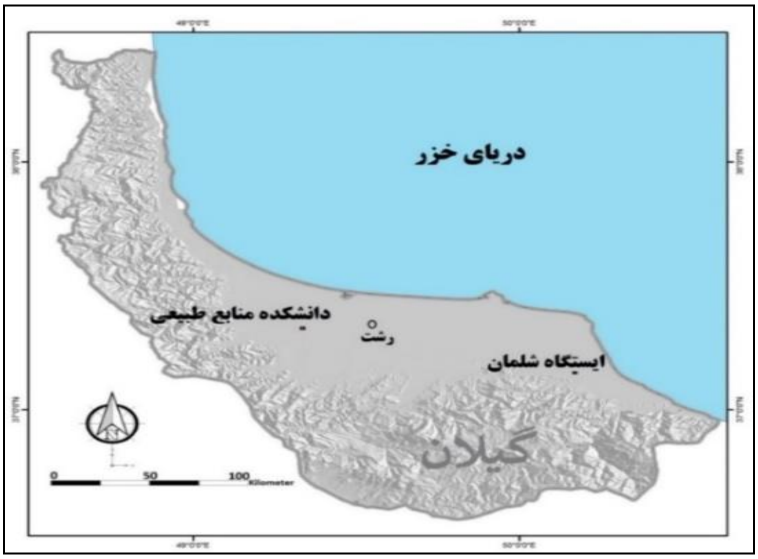
### منطقه تهیه قلمه و محل انجام مطالعه

خاک و قلمه‌های پژوهش حاضر از ایستگاه تحقیقاتی بذر و نهال گونه‌های جنگلی شلمان واقع در شرق شهرستان لنگرود استان گیلان تهیه شد. ایستگاه مذکور با مساحت تقریبی چهار هکتار (با مختصات جغرافیایی: N ′۹ °۳۷ و E ′۱۳ °۵۰) در ارتفاع ۱۶ متر زیر سطح دریای خزر قرار دارد (آتش نما و همکاران، ۱۳۹۶). میانگین بارش سالانه ایستگاه ۱۱۸۰ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه آن ۱۷/۵ درجه سانتی‌گراد است. کاشت قلمه‌ها و انجام پژوهش در گلخانه تحقیقاتی دانشکده منابع طبیعی دانشگاه گیلان واقع در شهرستان صومعه‌سرا (با مختصات: N ′۱۸°۳۷ و E ′۱۸°۴۹) انجام شد (شکل۱). ارتفاع منطقه از سطح دریا صومعه‌سرا ۶ متر، میانگین بارش سالانه شهرستان ۹۷۲/۳ میلی‌متر، میانگین دمای سالانه آن ۱۶/۶ درجه سانتی گراد و میانگین رطوبت نسبی آن ۸۹ درصد می‌باشد (علیزاده و همکاران، ۱۳۹۱).

### قلمه‌گیری و برداشت خاک

قلمه‌گیری از کلن P.d. 69/75 صنوبر دلتوئیدس (Populus deltoides Bartr. ex Marsh) بومی آمریکای شمالی کاشته شده در ایستگاه شلمان به‌عمل آمد و خاک زیر تاج پوشش کلن مربوطه نیز از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری جمع‌آوری و به محل انجام پژوهش منتقل شد. قطر قلمه‌های منتخب ۲ سانتی‌متر و طول آن‌ها قلمه‌ها نیز ۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد.

1. Biomass
2. *Populus* × *euramericana* “Guariento”




**شکل ۱- موقعیت دانشکده منابع طبیعی دانشگاه گیلان بر روی نقشه**

## تعیین برخی مشخصات خاک

در این مطالعه درصد ذرات خاک مورد استفاده در پژوهش به روش هیدرومتری بایکوس تعیین و برای تعیین بافت خاک از سیستم سازمان کشاورزی ایالات‌متحده (USDA) استفاده شد که در کلاسه لومی (Loam) قرار گرفت (ساسانی‌فر و همکاران، ۱۳۹۷). همچنین جرم مخصوص حقیقی خاک به روش پیکنومتر به میزان ۲/۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب، جرم مخصوص ظاهری خاک به روش کلوخه به میزان ۱/۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب، درصد کربن آلی به روش والکی‌بلک به میزان ۲/۹۲ درصد، فسفر قابل‌جذب به روش السون به میزان ۴/۹۲ پی‌پی‌ام، پتاسیم به روش عصاره‌گیری با استات آمونیوم نرمال و با استفاده از فیلم‌فتومتر به میزان ۹۳/۶ پی‌پی‌ام و نیتروژن کل خاک به روش کجلدال به میزان ۲/۵۱ درصد محاسبه گردید (Olsen et al., 1954 ؛ محمدی و همکاران، ۱۳۹۸).

## کاشت قلمه

برای جلوگیری از وقوع عفونت قارچی قلمه‌ها از محلول بنومیل (Benomyl) یک در هزار استفاده شد. قلمه‌های تهیه‌شده در نیمه اسفندماه در گلدان‌هایی به ارتفاع ۲۲ سانتی-متر و قطر ۱۷ سانتی‌متر کاشته و در گلخانه رو باز دانشکده منابع طبیعی قرار گرفتند (شکل ۲). برای کاشت هر قلمه از ۲/۵ کیلوگرم خاک مبدأ استفاده و تا ارتفاع دو سانتی‌متری بالای طوقه هر قلمه در گلدان خاک ریخته شد. تا روز اول بهار به تمام تیمارها روزانه ۲۰۰ سی‌سی آب داده شد. قبل از اعمال تیمار، قطر یقه، ارتفاع و تعداد برگ تمام نهال‌ها مورداندازه‌گیری قرار گرفت (اگوان و همکاران، ۱۳۹۷).

**شکل ۲- قلمه‌های در حال رشد اواخر اردیبهشت ماه**

## طرح آزمایش و اعمال تیمار

پس از اطمینان از استقرار و زنده‌مانی قلمه‌ها، انجام پژوهش در قالب طرح آماری کاملاً تصادفی با چهار تیمار و پنج تکرار به انجام رسید. تیمار آبیاری در نظر گرفته‌شده در این مطالعه شامل سه سطح رطوبتی با آبیاری ۲۰٪، ۴۰٪ و ۶۰٪ رطوبت اشباع خاک موجود در هر گلدان و تیمار بدون آبیاری دستی به‌عنوان شاهد (به ترتیب T1، T2، T3 و C) است. قابل‌ذکر است که ظرفیت زراعی خاک موردمطالعه ۰/۶ رطوبت اشباع خاک محاسبه شد. رطوبت اشباع یک کیلوگرم خاک

مورداستفاده در این پژوهش، برابر با ۳۸۰ میلی‌لیتر محاسبه شد. بنابراین ۲۰٪، ۴۰٪ و ۶۰٪ رطوبت اشباع خاک موردبررسی به ترتیب برابر با ۷۵، ۱۵۰ و ۲۲۸ میلی‌لیتر برای هر کیلوگرم خاک خواهد بود. این میزان برای ۲/۵ کیلوگرم خاک مورداستفاده در هر گلدان به ترتیب ۱۸۷/۵، ۳۷۵ و ۵۷۰ میلی‌لیتر آب است که از ابتدای بهار تا انتهای تابستان در فواصل ۳ روزه به‌صورت افشانه به نهال‌ها داده شد.

## برداشت داده‌ها

در انتهای آزمایش تمامی نهال‌ها از سلامت کامل برخوردار بودند. ارتفاع نهال و قطر یقه نهال‌ها با کولیس با دقت یک میلی‌متر اندازه‌گیری شد. تعداد برگ‌ها شمارش شد. ریشه نهال‌ها نیز بعد از خارج شدن از گلدان، ابتدا برای مدتی داخل ظرف آب قرار داده شد تا خاک‌های چسبیده به ریشه از نهال‌ها جدا شود و سپس به‌آرامی شسته شدند. در مرحله بعد ریشه‌ها از ساقه جداسازی و وزن تر آن‌ها توسط ترازوی دیجیتالی با دقت گرم اندازه‌گیری و پس از ثبت وزن تر، نمونه‌ها برای اندازه‌گیری زی‌توده در آون با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شد (Iranmanesh et al., 2019).

برای اندازه‌گیری طول ریشه، ابتدا ریشه‌های مویین و ضخیم به‌وسیله انبر نوک‌تیز تفکیک‌شده و به قطعات یک سانتی‌متری برش داده شد. قطعات حاصله در یک پتری‌دیش حاوی آب بر روی یک کاغذ رسم به ابعاد ۴×۴ سانتی‌متر ریخته شد. سپس با شمارش محل تلاقی ریشه‌ها با خطوط افقی و عمودی شبکه و با استفاده از رابطه (۱) طول ریشه محاسبه شد (شکل۳).

$$R = \frac{\pi N A}{2H} \qquad (۱)$$

که در آن R طول ریشه، N تعداد تلاقی ریشه‌ها با خطوط شبکه کاغذ گراف، A مساحت ظرفی که ریشه‌ها به‌صورت تصادفی در سطح آن پخش‌شده‌اند و H مجموعه طول اضلاع تشکیل‌دهنده شبکه کاغذ گراف می‌باشد (علیزاده، ۱۳۷۸).


**شکل۳- اندازه‌گیری طول ریشه با استفاده از کاغذ گراف (الف) ریشه‌های جداشده (ب)**

## محاسبات آماری و نرم‌افزارهای مورد استفاده

نرمال بودن داده‌های پژوهش با آزمون کلموگروف-اسمیرنف و همگنی واریانس‌ها با آزمون لون بررسی شد و با توجه به حصول نرمالیته و همگنی واریانس‌ها خصوصیات کمی نهال‌ها در تیمارهای مختلف مورد تجزیه واریانس قرار گرفتند. مقایسه میانگین‌ها با آزمون توکی انجام شد. برای برآورد همبستگی بین صفات موردبررسی نیز از همبستگی پیرسون استفاده شد. تجزیه¬های آماری مربوط، به کمک نرم‌افزار SAS و رسم شکل‌ها در محیط نرم‌افزار (Excel 2010) به انجام رسید. تعیین بافت خاک نیز با استفاده از نرم‌افزار TAL (Texture Auto Lookup) انجام شد.

## نتایج و بحث

تجزیه واریانس اثر تیمارها بر پارامترهای موردبررسی آنالیز تجزیه واریانس، اثر تیمارهای مختلف آبیاری را بر تمامی خصوصیات ریخت‌شناسی و زی‌توده نهارهای صنوبر دلتوئیدس در سطح آماری یک درصد معنی‌دار نشان داد (جدول۱).

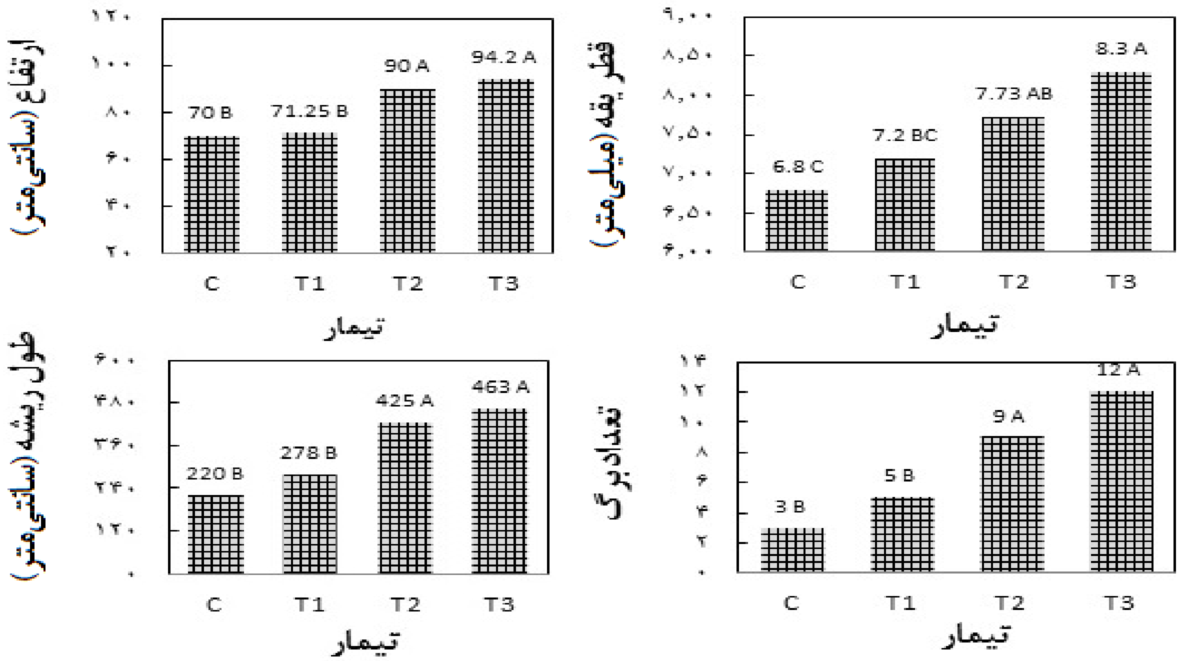
جدول۱- نتایج تجزیه واریانس خصوصیات رویشی نهال‌ها در سطوح مختلف تیمار آبیاری

| منبع تغییرات | درجه آزادی | ارتفاع | قطر یقه | وزن تر ساقه | وزن خشک ساقه | وزن تر ریشه | وزن خشک ریشه | طول ریشه |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| تیمار | ۳ | **۸۳/۱۵ | **۱/۸۶ | **۱۵۴/۹۸ | **۲۹/۸۰ | **۹/۵۲ | **۱/۵۴ | **۵۹۷۹۸/۴۶ |
| خطای آزمایش | ۱۶ | ۴۵/۷۸ | ۰/۳۳ | ۱۸/۶۸ | ۵/۵۷ | ۰/۲۲ | ۰/۰۵ | ۳۴۸۸/۶۳ |
| ضریب تغییرات | | ۷/۳۰ | ۷/۶۵ | ۱۴/۳۰ | ۱۷/۲۲ | ۱۵/۴۷ | ۲۰/۴۷ | ۱۷/۴ |

****معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۱**

## مقایسه میانگین‌ها

مقایسه میانگین قطر، ارتفاع، طول ریشه و تعداد برگ نهال‌های موردبررسی نشان‌دهنده عملکرد بهتر نهال‌ها در تیمارهای رطوبتی ۴۰ و ۶۰ درصد است. بر اساس نتایج، بیشترین میانگین ارتفاع با ۹۴/۲ و ۹۰ سانتیمتر، بیشترین قطر یقه با ۸/۳ و ۷/۷۳ میلی‌متر، بیشترین طول ریشه با ۴۶۳ و ۴۲۵ سانتیمتر، بیشترین تعداد برگ با ۱۲ و ۹ عدد مربوط به تیمارهای T2 و T3 می‌باشد، اما بین دو تیمار برتر اختلاف معنی‌داری وجود ندارد (شکل ۴). این موضوع نشان‌دهنده رشد بهینه نهال‌های موردبررسی در تیمار آبیاری ۴۰ درصد می‌باشد. تیمارهای ۴۰ درصد و کنترل (بدون آبیاری) ضعیف‌ترین نتایج را ارائه نمودند.

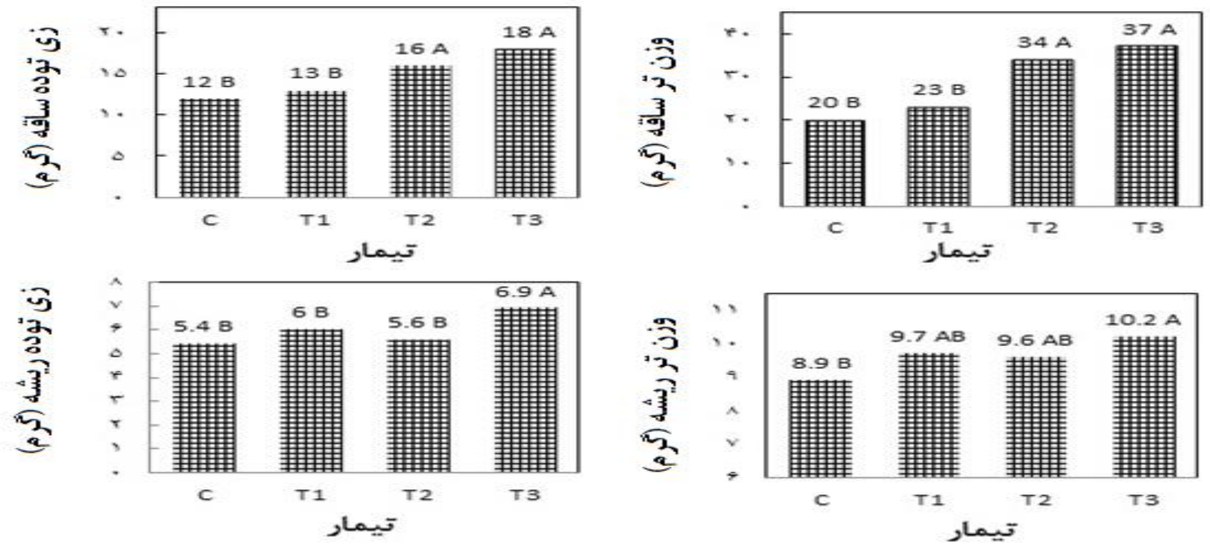



**شکل٤- مقایسه میانگین ارتفاع، قطر یقه، طول ریشه و تعداد برگ نهال‌ها در تیمارهای مختلف آبیاری (T1، T2، T3، T4 و C: به ترتیب تیمارهای ۲۰، ٤۰، ٦۰ درصد رطوبت اشباع و کنترل)**

دسترسی به عناصر غذایی و رطوبت کافی لازمه رشد مطلوب گیاهان است. با توجه به یکسان بودن وضعیت خاک و شرایط محیطی، رشد قلمه‌های پژوهش مستقیماً متأثر از رطوبت دریافتی است. از طرفی رشد گیاهان در حد ظرفیت زراعی معمولاً حداکثر است. چرا که با خروج آب ثقلی، خاک از حالت غرقابی خارج‌شده اما رطوبت لازم برای رشد به میزان کافی در اختیار گیاه قرار دارد (González-González et al., 2017). اما این رشد تا حد خاصی از کاهش رطوبت پایدار خواهد بود. با توجه به اینکه تیمار T3 معادل

رطوبت در حد ظرفیت زراعی (۲۲۸ میلی‌لیتر برای هر کیلوگرم خـاک) است؛ حداکثر رشد گیاه نیز در این تیمار مشاهده می‌شود. اما تیمار ۴۰ درصد یعنی حد متوسط رطوبت نیز اختلاف معنـی‌داری بـا تیمـار ۶۰ درصد نشان نمی‌دهد که نشان‌دهنده حد رطوبتی است که نهـال‌هـای صـنوبر در آن حـد بهینـه رشـد را داشـته‌انـد. ایـن نتیجـه بـا نتـایج مطالعه Yan و همکاران در مورد نهال‌های صنوبر اورآمرکین مطابقت دارد. در مطالعه ایشان، آبیاری به میزان ۵۰ درصد رطوبت اشباع خاک بیشترین رشد این‌گونه را در پی داشت (Yan et al., 2018).

نتایج مشابهی نیز در مورد وزن تـر و زی‌تـوده سـاقه نهـال‌هـای موردبررسی در تیمارهای مختلف آزمایش به دست آمد. بیشترین وزن تـر سـاقه بـا ۳۷ و ۳۴ گـرم و بیشـترین زی‌تـوده سـاقه نهـال‌هـای موردبررسی با ۱۸ و ۱۶ گرم مربوط به تیمارهای T2 و T3 می‌باشد و بین این دو تیمار اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. بیشـترین وزن تـر ریشه و زی‌توده ریشه به ترتیب با ۱۰/۲ و ۶/۲ گرم مربوط بـه تیمـار T3 مشاهده شد اما اختلاف معنی‌داری با تیمار T1 و T2 نشان نـداد. بیشترین زی‌توده ریشه نیز در تیمار ۶۰ درصد مشاهده شد (شکل ۵).




**شکل۵- مقایسه میانگین وزن تر و زی‌توده ساقه و ریشه در تیمارهای مختلف**

به‌عنوان گونه‌ای آبدوست، وزن تر صنوبرها به‌طور مستقیم و زی‌توده گیاه (به خاطر نقش آب در فرآیند فتوسنتز) به‌طور غیرمستقیم، تحت تأثیر رطوبت دریافتی از خاک قرار دارد ( Heidari Safari Kouchi et al., 2017). در مطالعه حاضر ۴۰ درصد رطوبت اشباع خاک، حد بهینه رطوبت برای دستیابی به تولید مطلوب اندام هوایی این‌گونه به دست آمد. مطالعات متعددی نقش رطوبت کافی بر تولید و زی‌توده صنوبر را اثبات نموده‌اند. ازجمله نتایج مطالعه Song و همکاران نشان داد که زی‌توده ساقه، ارتفاع و شاخص سطح برگ هیبرید P. alba × P. glandulosa در شرایط آبیاری در حد ۴۰ تا ۶۰ درصد رطوبت اشباع خاک، اختلاف معنی‌داری با شاخص‌های رویشی این‌گونه در شرایط تنش آبی دارد و در صورت آبیاری مناسب زی‌توده این همچنین نتایج مطالعه کانته سالینس و همکاران بر روی رشد قطری و تغییرات فیزیولوژیک دو کلن از هیبرید Populus × canadensis (نیگرا و دلتوئیدس) در کشور شیلی نشان داد که رشد قطری و زی-توده هر دو کلن بافاصله گرفتن رطوبت خاک از ۵۰ درصد ظرفیت زراعی کاهش محسوسی یافته است (Canete Salinas et al., 2019). که مقایسه نتایج مطالعه حاضر با سوابق مطالعاتی موجود نشان‌دهنده مؤید این موضوع است که آبیاری به میزان ۴۰ درصد رطوبت اشباع خاک برای این‌گونه در نهالستان‌ها کافی بوده و نیاز به آبیاری با حجم بیشتر وجود ندارد.

از سوی دیگر باوجوداینکه زی‌توده ریشه گیاه در تیمار ۶۰ درصد بیشتر از سایر تیمارهای موردبررسی است اما در امر زراعت چوب، حجم بیشتر ریشه را نمی‌توان به‌عنوان موفقیت یک نهال دانست. بنابراین باید نسبت ساقه به ریشه را برای آن محاسبه نمود. نسبت بیشتر ساقه به ریشه نشان‌دهنده تمرکز تولید گیاه در بخش هوایی و مصرفی گیاه است.

### نسبت زی‌توده ساقه به ریشه

نسبت زی‌توده ساقه به ریشه نهال‌های موردبررسی در تیمارهای رطوبتی مختلف نشان داد که تیمار T2 که معرف آبیاری به میزان ۴۰ درصد رطوبت اشباع خاک می‌باشد، بیشترین نسبت را به خود اختصاص داده است (۳/۱) (شکل ۶). بنابراین این تیمار، بیشترین تولید ساقه را با ایجاد کمترین حجم ریشه حاصل نموده است که خصوصیت مثبتی در صنوبرکاری است (حیدری صفری کوچی و تیمور رستمی شاهراجی، ۱۳۹۷).


**شکل ٦- نسبت زی‌توده ساقه به ریشه نهال‌های مورد مطالعه در تیمارهای مختلف**

اساساً تعداد برگ با زی‌توده گیاه رابطه مستقیم داشته و افزایش آن موجب افزایش زی‌توده گیاه می‌شود چرا تشکیل زی‌توده گیاه بر مبنای فتوسنتز و جذب کربن توسط برگ گیاه است؛ که در مورد تیمارهای ۴۰ و ۶۰ درصد رطوبت اشباع اتفاق افتاده است (Iranmanes et al., 2019). از سوی دیگر گسترش سطح ریشه در گیاه رابطه مستقیمی با وضعیت خاک از نظر تأمین رطوبت دارد. با کاهش منابع رطوبتی خاک، گسترش ریشه به‌منظور دستیابی به رطوبت در منافذ اشغال نشده خاک اتفاق می‌افتد و زی‌توده ریشه را افزایش می‌دهد (Paul et al., 2018). این موضوع باعث گسترش ریشه در تیمارهای کنترل و ۲۰ درصد و کاهش نسبت زی‌توده ساقه به ریشه گیاه در این تیمار شده است. بنابراین تیمار ۴۰ درصد از این نظر نیز به‌عنوان تیمار برتر مورد توجه خواهد بود که با نتایج مطالعه سونگ و همکاران مطابقت دارد (Song et al., 2019). در تیمار ۶۰ درصد نیز ریشه گسترش زیادی داشته است که دلیل آن را می‌توان به دومین وظیفه اساسی آن یعنی حفظ استحکام گیاه مربوط دانست. با افزایش وزن اندام‌های هوایی گیاه و سست شدن خاک بر اثر سطح آبیاری بالا، بر حجم ریشه برای افزایش استحکام گیاه در خاک افزوده شده است و زی‌توده ریشه را افزایش داده است.

## رهیافت ترویجی

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که خصوصیات ریخت‌شناختی نهال‌های صنوبر گونه دلتوئیدس در تیمارهای مختلف رطوبتی دارای تفاوت معنی‌داری با یکدیگر هستند. رطوبت بهینه برای حصول بهترین رشد اندام‌های هوایی و ریشه این گیاه ۴۰ درصد رطوبت اشباع یا ۱۵۰ میلی‌لیتر آب برای هر کیلوگرم خاک می‌باشد و با افزایش رطوبت از این میزان تغییر قابل‌توجهی در رشد این گیاه مشاهده نمی‌شود. با توجه به نتایج این مطالعه برای آبیاری صنوبر گونه دلتوئیدس در مراحل ابتدایی رشد آبیاری به میزان ۴۰ درصد رطوبت اشباع خاک قابل توصیه است که در سطح وسیع صرفه‌جویی قابل‌توجهی در مصرف آب نهالستان‌ها و صنوبرکاری‌ها خواهد داشت. این صرفه‌جویی در فصل خشک که بارندگی محدود و پراکنده‌ای را شاهد هستیم و رقابت همیشگی بین صنوبرکاران و برنج‌کاران از نظر تقاضای آب وجود دارد حائز اهمیت زیادی است. از سوی دیگر عدم آبیاری گونه موردمطالعه و اکتفا به بارش‌های جوی باعث دست‌یابی نهال‌های اقتصادی و شاداب نخواهد شد و عملاً قابل توصیه نیست چرا که نهال‌های تیمارهای کنترل در انتهای آزمایش شادابی اندکی داشتند و در معرض خشک‌شدن قرار گرفته بودند. در نهایت لازم به ذکر است که این مطالعه به‌صورت موردی

انجام‌شده است و می‌توان آن را مقدمه‌ای برای پژوهش‌های گسترده‌تر ازنظر زمانی و مکانی دانست و قطعاً نیازمند پژوهش-های گسترده‌تری در این مورد خواهیم بود.

## مراجع

آتش نما، ک.، گلچین، ا. و موسوی کوپر، ع.ا. ۱۳۹۶. اندازه-گیری تغییرات مخازن فعال کربن آلی و برخی از خصوصیات خاک درختان جنگلی شمال ایران (پژوهش موردی: ایستگاه تحقیقات بذر و نهال گونه‌های جنگلی شلمان، استان گیلان. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۲۴ (۱): ۱۱۹-۱۰۳.

اگوان، ف.، بصیری، ر.، اعتماد، و. و قاسم‌پور ق.ا. ۱۳۹۷. اثر زمان قلمه‌گیری، طول قلمه و هورمون بر ریشه‌زایی و جوانه‌زنی قلمه‌های بنگرو (*Vitex pseudo*-negundo). تحقیقات جنگل و صنوبر ایران. ۲۶ (۱): ۴۷-۳۶.

پیرو، ص.، سوسنی، ج.، جلیلوند، ح. و پیری کیا، م. ۱۳۹۶. ارزیابی رشد درختان با استفاده از دو روش آبیاری قطره ای و کرتی. مجله پژوهش‌های گیاهی. ۳۰ (۲):۲۹۰-۲۸۰.

ثقفی، ف.، طاهری، ک. و قربان زاده، ن. ۱۳۹۸. بررسی تأثیر گونه‌ها و کلن‌های مختلف صنوبر بر شاخص‌های زیستی خاک در شمال ایران. جنگل و فرآورده های چوب. ۷۲ (۳): ۲۳۵-۲۲۷.

حیدری صفری کوچی، ا. و رستمی‌شاهراجی ت. ۱۳۹۷. صنوبرکاری و نقش آن در ترسیب کربن. انتشارات سپید رود، رشت، ایران، ۱۸۰ص.

ساسانی‌فر، س.، علیجانپور، ا.، بانج شفیعی، ع.، اسحاقی راد، ج. و مولایی، م. ۱۳۹۷. تأثیر مدیریت مبتنی بر حفاظت بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک جنگل‌های ارسباران. تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۲۶ (۱): ۱۱۷-۱۰۴.

علیزاده، ا. ۱۳۷۸. رابطه بین آب، خاک و گیاه. ترجمه، انتشارات مشهد، ایران، ۷۴۴ ص.

علیزاده انارکی، ک.، لشگرآرا، ف. و کیادلیری، ه. ۱۳۹۱. عوامل اقتصادی-اجتماعی مؤثر بر توسعه صنوبرکاری در استان گیلان (مطالعه موردی: شهرستان صومعه‌سرا). تحقیقات جنگل و صنوبر ایران. ۲۰ (۲): ۳۵۶-۳۴۶.

کلاگری، م.، قاسمی، ر.ا.، اسدی، ف.، باقری، ر. ۱۳۹۷. بهبود عملکرد چوب برخی ارقام صنوبر از طریق جست‌گزینی در دورهٔ دوم برداشت در کرج. جنگل ایران. ۱۰ (۱): ۸۸-۷۹.

محمدی، ز.، آزادی، پ.، قنبری جهرمی، م.، غالبی، س. ۱۳۹۸. ارزیابی مقاومت به تنش کم آبی در گل ماهور (*Verbascum thapsus*) و معرفی آن به‌عنوان یک گیاه زینتی در فضای سبز شهری. نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی، ۲۰ (۶): ۲۴۳-۲۲۷.

یوسفی، ب. و مدیر رحمتی، ع. ۱۳۹۷. ارزیابی رشد و تولید ارقام صنوبر (*Populus nigra*) تاج‌بسته تحت یک دوره تنش شدید خشکی در پوپولتوم مقایسه‌ای سنندج .تحقیقات جنگل و صنوبر ایران. ۲۶ (۲): ۲۹۰-۲۷۶.

Cañete-Salinas, F., Zamudio, M., Yañez, J., Gyenge, H., Valdé, C., Espinosa Jara-Rojasf ,F., Venegasg, J., Retamalg, L. and Acevedo-Opazoa, C. 2019. Responses in growth and physiological traits in two Populus × canadensis clones (‘I-214’ and ‘I-488’) submitted to different irrigation frequencies in central Chile. Forest Ecology and Management. 449: 1-7.

González-González, BD., Oliveira, N., González, I., Cañellas, I. and Sixto, H. 2017. Poplar biomass production in short rotation under irrigation: A case study in the Mediterranean. Biomass and Bioenergy. 107: 198-206.

Heidari Safari Kouchi, A., Moradian Fard, F., Rostami Shahraji, T. and Iranmanesh, Y. 2017. Biomass and carbon allocation of 10-years-old poplar (*Populous alba* L.) plantations of west Iran. Forest Research. 6(2):1-13.

Iranmanes, Y., Sohrabi, H., Sagheb-Talebi, KH., Hosseini, S.M. and Heidari Safari Kouchi, A. 2019. Biomass, Biomass Expansion Factor (BEF) and Carbon Stock for Brant's Oak (Quercus brantii Lindl.) Forests in West-Iran. Annals of Silvicultural Research. 43(1): 15-22.

Nelson, N.D., Meilan, R., Berguson, W.E., McMahon, B.G., Cai, M. and Buchman D. 2019. Growth performance of hybrid poplar clones on two agricultural sites with and without early irrigation and fertilization. Silvae Genet. 68: 58-66.

Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanabe, F.S. and Dean, L.A. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. U.S. Department of Agriculture. Circular, 939p.

Paul, S., Wildhagen, H., Janz, D. and Polle, A. 2018. Drought effects on the tissue- and cell-specific cytokinin activity in poplar. Aob Plants. 10(1): 1-18.

Song, J., Wang, Y., Pan, Y., Pang, J., Zhang, X., Fan, J. and Zhang, Y. 2019. The influence of nitrogen availability on anatomical and physiological responses of Populus alba x P-glandulosa to drought stress. BMC Plant Biology. 19(1): 1-12.

Yan, XL., Dai, TF. and Jia, LM. 2018. Evaluation of the cumulative effect of drip irrigation and fertigation on productivity in a poplar plantation. Annals of Forest Science. 75(5): 1-12.

Water Management in Agriculture
Vol. 7, No. 1, Spring and Summer 2020, 23-32

نشریه مدیریت آب در کشاورزی
جلد ۷، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۹، ص. ۳۲-۲۳

# Respond of *Populus deltoides* Bartr. ex Marsh Seedlings to Various Soil Moisture Regimes in Guilan Province

**S. Moeinifar[1], A. Salehi[2], M. Ghodskhah Daryaei[3]* and A. Heidari Safari Kouchi[4]**

## Abstract

Current study was carried out by the aim of investigating the effect of different degrees of irrigation on some quantitative characteristics of eastern cottonwood (*Populus deltoides* Bartr. ex Marsh) seedlings in Guilan province. The cuttings were planted in a completely randomized design with four treatments and five replications. Three irrigation levels including 20%, 40% and 60% of soil saturated moisture content in each pot including 187.5, 375 and 570 ml water for 2.5 kg soil and control treatment (without manual irrigation) every three days applied on seedlings form the beginning of spring to end of summer. At the end of the period, height of seedlings using ruler, collar diameter using caliper, stem and root fresh weight by scale, stem and root biomass by drying in oven, root length using graph paper, the number of leaves by counting were measured for all treatments and examined by one-way analysis of variance (ANOVA) test. The results showed that the highest average of seedlings height with 94.2 and 90 cm, the highest collar diameter with 8.3 and 7.73 mm, the highest root length with 463 and 425 cm, the highest number of leaves with 12 and 9 The highest weight of the stem with 37 and 34 grams and the highest yield of the stem of the studied seedlings with 18 and 16 grams was related to 40 and 60 percent treatments and there was no significant difference between the two treatments. Also, the highest stem to root biomass ratio of 3.2 was obtained in the treatment of 40%. According to the results of the present study, the optimal irrigation limit for the studied seedlings was determined as 40% of the soil saturation moisture.

**Keywords:** Collar diameter, cutting, irrigation interval, root length, and stem weight.

[1] M.Sc. graduate, Silviculture and Forest Ecology, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowme`eh Sara, I.R. Iran.
[2] Associate Professor, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowme`eh Sara, I.R. Iran.
[3] Associate Professor., Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowme`eh Sara, I.R. Iran. (*Corresponding Author, mdaryaei9@gmail.com).
[4] Ph.D graduate, Silviculture and Forest Ecology, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowme`eh Sara, I.R. Iran.
Received: 11 April 2020
Accepted: 1 June 2020

Water Management in Agriculture
Vol. 7, No. 1, Spring and Summer 2020, 33-44

نشریه مدیریت آب در کشاورزی
جلد ۷، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۹، ص. ۴۴-۳۳

**مقاله علمی-ترویجی**

# کشت نشایی و خشکه‌کاری برنج، راهکاری فنی و اقتصادی برای تولید برنج در شرایط استان گلستان

**محمدحسین رزاقی*[۱] ، علیرضا کیانی[۲] و نورمحمد آبیار[۳]**

## چکیده

تغییر شیوه کشت برنج از مرسوم به خشکه‌کاری به دلیل مصرف آب و تخریب ساختمان خاک در شیوه مرسوم مورد توجه کشاورزان قرارگرفته است. این پژوهش به‌منظور بررسی فنی و اقتصادی تغییر شیوه کاشت برنج از نشایی (مرسوم) به خشکه‌کاری درمزارع کشاورزان استان گلستان اجرا شد. نتایج نشان داد که میزان آب مصرفی در خشکه‌کاری بذر با سامانه آبیاری بارانی از ۵۷۰۰ تا ۱۴۱۰۰ و در روش نشایی از ۸۵۰۰ تا ۱۵۲۰۰ مترمکعب در هکتار بود. بهره‌وری فیزیکی آب مزارع خشکه‌کاری در رقم فجر ۳۵ درصد و در رقم طارم بی‌نام ۱۷ درصد بیشتر از بهره‌وری آب مزارع نشایی این ارقام بود. میانگین بهره‌وری آب در خشکه‌کاری رقم ندا، در مقایسه با کشت نشایی آن، دو درصد کم‌تر بود. بهره‌وری فیزیکی نهاده‌ها مشخص ساخت که با تخصیص هر کیلوگرم کود و بذر، روز نفر کار و مترمکعب آب در روش خشکه‌کاری به‌ترتیب ۱۸/۳، ۲۴۳/۶، ۷۷/۸ و ۰/۵۷ و در روش مرسوم به‌ترتیب ۱۶/۱، ۱۱۰/۶، ۵۷/۴ و ۰/۴۵ کیلوگرم شلتوک تولید می‌شود. خشکه‌کاری برنج نسبت به کشت مرسوم آن می‌تواند موجب کاهش مصرف نهاده‌ها و هزینه‌های تولید شود. در شیوه خشکه‌کاری برنج نسبت به روش مرسوم عملکرد کمتر می‌شود، اما با مدیریت صحیح سودآوری می‌تواند بیشتر گردد.

**واژه‌های کلیدی:** آب مصرفی، برنج، بهره‌وری مصرف آب، بهره‌وری ارزشی

## مقدمه

روش مرسوم تولید برنج در بسیاری از مناطق جهان ازجمله ایران نشایی است. افزایش دسترسی به مواد مغذی (به‌عنوان‌مثال آهن، روی و فسفر) و مهار علف‌های هرز از مزایای این شیوه کشت (Surendra et al., 2001) و تلفات زیاد آب، تبخیر سطحی، نفوذ عمقی آب، نیاز فراوان به نیروی انسانی و درنتیجه کاهش حاشیه سود از معایب آن است (Pandey and Velasco, 1999)، ضمن آن‌که با ایجاد لایه سخت (hard pan) در زیر منطقه شخم علاوه بر کاهش نفوذپذیری خاک موجب از بین رفتن ساختمان خاک و محدودیت‌های فراوان درکشت پس‌ازآن می‌گردد. ازآنجاکه منابع آب‌های سطحی و زیرسطحی رو به کاهش بوده که به یک عامل محدودکننده کشت و تولید برنج تبدیل‌شده (Farooq et al., 2009) ازاین‌رو تغییر شیوه سنتی کاشت اهمیت دارد.

خشکه‌کاری یا کشت مستقیم، فرآیند تولید برنج به شیوه کاشت بذر در مزرعه به‌جای انتقال نشاء از خزانه است. کاشت بذر در بستر خشک[۲]، کاشت بذر در بستر مرطوب و کاشت بذر در بستر اشباع[۳] سه روش اصلی کاشت مستقیم بذر هستند. در ایالات‌متحده، استرالیا و اروپا، زراعت برنج به‌صورت کشت بذر

[۱] کارشناس بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران. (*- نویسنده مسئول Email: Razzaghi_mh@yahoo.com)

[۲] استاد پژوهش بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران.

[۳] استادیار پژوهش گروه تحقیقات اقتصادی و اجتماعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران.

تاریخ دریافت: ۹۹/۱/۲۳
تاریخ پذیرش: ۹۹/۵/۱۵
DOR: 20.1001.1.24764531.1399.7.1.4.1

[2] dry-seeded
[3] water-seeded

خشک یا کشت بذر در آب صورت می‌گیرد (Gianessi et al., 2002; Ntanos, 2001; Pratley et al., 2004). از سال ۱۹۵۰ میلادی، تغییر شیوه کاشت برنج از مرسوم به خشکه‌کاری در کشورهای درحال‌توسعه ازجمله کشورهای جنوب شرقی آسیا رخ داده است (Pandey and Velasco, 2002; Pandey and Velasco, 2005). به‌طورکلی در سال ۲۰۰۷ حدود ۲۳ درصد برنج در سطح جهان به‌صورت کاشت مستقیم بذر تولید شده است (Rao et al., 2007).

از مزایای خشکه‌کاری نسبت به روش مرسوم نشایی می‌توان به مواردی مانند بازده اقتصادی بیشتر، سریع‌تر و آسان‌تر بودن کاشت، نیاز به نیروی انسانی و آب کمتر (Bhushan et al., 2007; Jehangir et al., 2005)، سهولت مکانیزه سازی (Khade et al., 1993)؛ گل‌دهی زودتر (Farooq et al., 2006; Santhi et al., 1998) و ۷-۱۰ روز بلوغ زودتر و انتشار کمتر گاز متان (Balasubramanian and Hill, 2002; Pandey and Velasco, 1999) اشاره نمود. این شیوه کشت گزینه‌ای برای حل تعارض‌های مرتبط با خاک (بین برنج و محصول غیر برنج بعدی) است و ضمن تقویت پایداری سیستم برنج-گندم، موفقیت محصولات زراعی زمستانه (پس از برنج)، به‌ویژه گندم‌های زودرس کاشته شده را فراهم می‌کند (Farooq et al., 2008; Ladha et al., 2003; Singh et al., 2005). تحقیقات صورت گرفته در ایران نیز اغلب به بررسی یکی از مزیت‌های روش خشکه‌کاری در مقایسه با روش مرسوم یا چگونگی اجرای بهتر کشت به روش خشکه‌کاری پرداخته‌اند (عرب زاده و توکلی، ۱۳۸۶؛ قربان کلاهی و همکاران، ۱۳۸۹؛ دهقان و الماسی، ۱۳۸۵؛ حبیبی اصل و همکاران، ۱۳۸۸).

کاهش عملکرد به دلیل استقرار ضعیف‌تر بوته‌ها و علف هرز بیشتر (Singh et al., 2005)؛ فزونی هزینه مهار علف‌های هرز (Rao et al., 2007)؛ کمبود عناصر ریزمغذی مانند روی و آهن به دلیل نبود تعادل نیتروژن و نفوذپذیری آن (Gao et al., 2006, Saleque and Kirk, 1995) از کاستی‌های خشکه‌کاری در مقایسه با روش مرسوم است. گرچه نتایج تعدادی از مقالات در برخی از صفات متناقض است. برای مثال سینگ و همکاران و عرب زاده و توکلی (۱۳۸۶) عملکرد در روش خشکه‌کاری را کمتر از مرسوم، کوکال و اگاروال بدون تفاوت و قربانی کلاهی و همکاران (۱۳۸۹) بیشتر بیان نموده‌اند. (Singh et al., 2005; Kukal and Aggarwal, 2002)

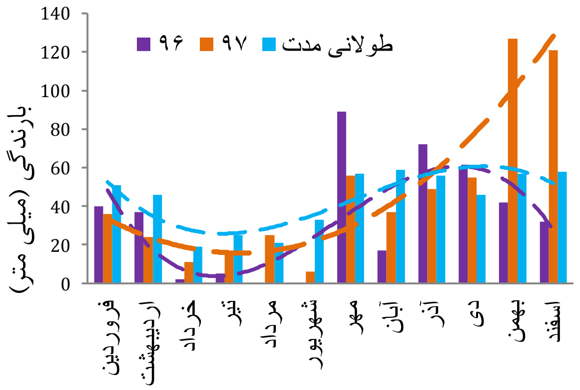
علل اصلی تغییر شیوه کاشت از مرسوم به خشکه‌کاری در مناطق مختلف متفاوت بوده و شامل کمبود نیروی انسانی و بالا بودن هزینه آن (Chan and Nor, 1993)، کاهش مصرف آب و افزایش درآمد (Pandey and Velasco, 2005) می‌باشد. گزارش شده است که خشکه‌کاری یک فرصت برای تغییر شیوه‌های تولید به‌منظور بهره‌وری بیشتر آب در مناطق مواجه با محدودیت منابع محسوب می‌شود (Farooq et al., 2011).

باوجود تأکید بسیاری از مقالات بر مزایای خشکه‌کاری برنج در مناطق مختلف دنیا، این روش هنوز چندان مورد اقبال کشاورزان قرار نگرفته است (Farooq et al., 2008; Bhushan et al., 2007; Jehangir et al., 2005; Singh et al., 2005). بر اساس یافته‌های سینگ در ارزیابی عملکرد روش‌های خشکه‌کاری و مرسوم برنج در منطقه هشیارپور هند، خشکه‌کاری با کاهش فرسایش و افزایش فواصل آبیاری، حدود ۲۵ درصد در مصرف آب صرفه‌جویی نموده و در مقایسه با روش مرسوم، هزینه تولید را ۱۳۰۰۰ روپیه کاهش می‌دهد (Singh, 2014). ویناى و همکاران محدودیت‌های منابع، زیست‌محیطی و هزینه تولید برنج را در شیوه‌های کشت مرسوم و خشکه‌کاری بررسی نمودند تا گزینه‌های مناسب توسعه کشت مستقیم را در هند پیشنهاد کنند (Vinay et al., 2016). نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد سود خالص کشت مستقیم (۶۰۱۰۵ روپیه) نسبت به روش مرسوم (۵۷۵۳۲ روپیه) بیشتر بود. نسبت فایده به هزینه در کشت مستقیم ۲/۱۳ و در کشت مرسوم ۱/۹۴ محاسبه شد. به‌عبارت‌دیگر به ازای هر یک واحد پولی هزینه شده در خشکه‌کاری ، ۲/۱۳ واحد پولی بازده اقتصادی ایجاد شده است. حال‌آنکه این بازده در شیوه مرسوم ۱/۹۴ واحد پولی بوده است. هزینه تولید در روش مستقیم حدود ۱۵ درصد کمتر بود. افزون بر این، کارایی فنی روش مستقیم ۹۲ درصد و روش مرسوم ۸۷ درصد برآورد شده است. کارایی فنی به معنای توانایی کشاورز در دستیابی به بیشینه تولید ممکن با مصرف مقادیر معین نهاده می‌باشد. در خشکه‌کاری برنج، ضریب بهره‌وری ارزشی یا اقتصادی ۰/۵۲ و در شیوه مرسوم ۰/۳۲ بود. بهره‌وری ارزشی یا اقتصادی بیانگر ارزش تولید یک واحد نهاده مصرفی می‌باشد. کشاورزان می‌توانند با پذیرش کشت مستقیم در مقایسه با کشت

مرسوم، ۵۵ درصد در نیروی کار، ۱۰ درصد در کار ماشینی و ۳۳ درصد در مصرف آب صرفه‌جویی نمایند. آن‌ها بیان نمودند خشکه‌کاری برنج نسبت به شیوه مرسوم ازلحاظ اقتصادی موجه و سودآورتر است. بر پایه نتایج مطالعه چاندراسخارارائو کشت مستقیم بذر برنج، هزینه تولید را تا ۹۱۶۶ روپیه در هکتار و طول دوره زراعی آن را ۸ تا ۱۰ روز کاهش می‌دهد (Chandrasekhararao et al., 2013). عملکرد در کشت‌های تابستانه و بهاره به ترتیب ۸/۳ و ۱۱ درصد افزایش و هزینه نیروی کار ۱۵۰۰ روپیه در هکتار کاهش می‌یابد. ازاین‌رو بررسی آثار این تغییر شیوه کشت در مزارع برنج همراه با ارائه مزایا و یا معایب آن نه‌تنها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است بلکه ضروری نیز می‌باشد. به همین دلیل، این پژوهش با اهداف تعیین میزان آب مصرفی و ارزیابی اقتصادی دو شیوه خشکه‌کاری (کشت مستقیم) و مرسوم (گل‌خرابی) برنج در استان گلستان انجام گردید. کاربست نتایج و یافته‌های این تحقیق می‌تواند مدیران و برنامه‌ریزان بخش کشاورزی را در شناسایی و اتخاذ راهکارهایی به‌منظور حفاظت از منابع آب زیرزمینی استان با حفظ درآمد کشاورزان یاری نماید.

## مواد و روش‌ها

این پژوهش باهدف دستیابی به حجم آب مصرفی برای کشت شالی، بهره‌وری آب و مقایسه اقتصادی دو شیوه مختلف کشت برنج در سال زراعی ۱۳۹۷ در استان گلستان اجرا شد. کاشت برنج در استان به دو شیوه نشایی (مرسوم) و خشکه‌کاری انجام می‌شود. درروش مرسوم بذر در خزانه کاشته شده و پس از گل‌خرابی زمین اصلی، نشاءها در زمان چهار برگی به آن انتقال داده می‌شود، زمین تا زمان رسیدن محصول در حالت غرقاب دائم نگه‌داشته می‌شود. در روش خشکه‌کاری که شامل دو شیوه کاشت مستقیم بذر یا مستقیم نشاء در زمین خشک (تهیه بستر لازم شامل شخم و دیسک انجام شده است) می‌باشد، آبیاری زمین پس از کاشت بذر یا نشاء و به شیوه غرقابی یا تحت‌فشار (بارانی یا قطره‌ای) صورت می‌گیرد. در هر دو روش مرسوم و خشکه‌کاری، آبیاری مزرعه یک تا دو هفته قبل از برداشت قطع می‌شود. توزیع ماهانه بارندگی در سال ۹۷ در مقایسه با سال قبل و طولانی‌مدت در حوزه شهرستان گرگان در شکل ۱ ارائه شده است. بررسی این نمودار نشان می‌دهد کمترین میزان بارندگی طی ماه‌های خرداد تا شهریور بوده است.




**شکل ۱- تغییرات بارندگی گرگان در مهروموم‌های ۹۶ و ۹۷ در مقایسه با میانگین طولانی‌مدت**

برای تعیین آب مصرفی در مزارع شالی‌کاری استان گلستان، ۱۰ مزرعه شالی‌کاری در سطح شهرستان‌های گرگان و کردکوی، توسط مروجان پهنه شناسایی و معرفی گردیدند که شامل هفت کشاورز پیشرو که اقدام به کشت برنج به روش خشکه‌کاری نموده بودند و سه کشاورز باتجربه برنج‌کار سنتی بود (جدول ۱). به دلیل کمبود اطلاعات کشاورزان خود از طریق سعی و خطا به دنبال بهترین ارقام و شیوه کشت بودند به‌نحوی‌که یک کشاورز در زمین خود اقدام به کاشت چهار رقم برنج نموده بود. دو کشاورز دیگر در زمین خود دو شیوه کاشت را مورد مقایسه قرار داده بودند. یک کشاورز نیز در سه تاریخ مختلف مزرعه خود را کاشته بود. ازاین‌رو تعداد مزارع موردبررسی به ۱۷ مزرعه رسید. کلیه عملیات زراعی این مزارع طبق نظر کشاورز و بدون دخالت کارشناسان صورت گرفت.

**جدول ۱- مشخصات جغرافیایی مزارع، سیستم کاشت و نوع سامانه آبیاری**

| مزرعه | موقعیت | | شیوه | شیوه |
|---|---|---|---|---|
| | شهرستان | روستا | کاشت | آبیاری |
| ۱ | گرگان | سرخنکلاته | خشکه‌کاری | بارانی |
| ۲ | گرگان | علی‌آبادکنارشهر | خشکه‌کاری | بارانی |
| ۳ | گرگان | للدوین | خشکه‌کاری | بارانی |
| ۴ | گرگان | کلاجان‌قاجار | خشکه‌کاری | بارانی |
| ۵ | گرگان | یساقی | خشکه‌کاری | تیپ |
| ۶ | کردکوی | بالاجاده | خشکه‌کاری | تیپ |
| ۷ | کردکوی | ایلوار | مرسوم | غرقابی |
| ۸ | کردکوی | مهترکلاته | خشکه‌کاری | بارانی |
| ۹ | کردکوی | مهترکلاته | مرسوم | غرقابی |
| ۱۰ | کردکوی | گرجی محله | مرسوم | غرقاب |

در این پروژه چهار رقم برنج پر محصول شامل فجر (در میان کشاورزان خود دارای سه نوع فجر معمولی، فجر سوزنی و فجر حاج حیدری است)، ندا، گرمه، کوهسار و سه رقم کم محصول از خانواده طارم امرالهی، هاشمی و بی‌نام کشت شد. در میان ارقام کشت‌شده رقم فجر، ندا، طارم هاشمی جزو ارقام مرسوم در مناطق مختلف استان گلستان هستند. ویژگی‌های این ارقام در جدول ۲ آمده است.

**جدول ۲- ویژگی ارقام کاشته شده (علی‌نیا و همکاران، ۱۳۹٤)**

| نام رقم | طول دوره رشد (از بذرپاشی تا رسیدن) | میانگین عملکرد (ton/ha) | توضیحات |
|---|---|---|---|
| کوهسار | ۱۰۵ | ۵ | زودرسی و مقاوم به سرما، متحمل به آفات و بیماری‌ها |
| گرده | ۱۲۲ | ۶/۵ | متوسط رس، متحمل به آفات و بیماری‌ها |
| فجر | ۱۳۰ | ۶/۵ | دیررس، نیمه حساس آفات و متحمل به بیماری‌ها |
| ندا | ۱۳۵ | ۷/۵ | دیررس، متحمل به آفات و بیماری‌ها |

میزان آب مصرفی برنج در طول فصل با استفاده از ابزارهای اندازه‌گیری آب تعیین گردید. حجم آب مصرفی در روش آبیاری مرسوم با نصب فلوم (WSC)، قرائت ارتفاع فلوم و مدت‌زمان آبیاری، در روش آبیاری بارانی با استفاده از اندازه‌گیری دبی، فشار و فواصل جابه‌جایی آبپاش‌های در حال کار و در روش آبیاری قطره‌ای با نصب کنتور و ثبت مشخصات سیستم مانند فاصله خطوط و غیره تعیین و برآورد گردید.

در روش آبیاری بارانی با استفاده از پارامترهای اندازه‌گیری شده شدت پاشش آبپاش از رابطه ۱ برآورد و سپس با توجه به مدت استقرار آبپاش‌ها، میزان آب مصرفی، به دست آمد.

$$\mathrm{I} = \frac{3600 \times q}{S_l \times S_m} \quad (۱)$$

که در آن $I$ شدت پخش آبپاش بر حسب میلی‌متر بر ساعت، $q$ دبی آبپاش بر حسب لیتر در ثانیه، $S_l$ و $S_m$ به ترتیب فواصل آبپاش‌ها روی لوله فرعی و فواصل لوله‌های فرعی روی لوله اصلی بر حسب متر.

به استناد میزان آب مصرفی و عملکرد شلتوک (بر اساس میزان تحویلی به کارخانه‌های شالی‌کوبی)، بهره‌وری آب در هر مزرعه در شرایط زارعین برآورد شد. بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب) از تقسیم عملکرد (کیلوگرم در هکتار) بر آب مصرفی (مترمکعب در هکتار) محاسبه گردید. اندازه‌گیری منابع مصرف‌شده (کود، بذر و سم) و نیروی انسانی به‌صورت پرسشگری از کشاورزان مشخص گردید.

در این پژوهش اطلاعات لازم برای مقایسه اقتصادی از طریق پرسش‌نامه توزیع‌شده در کلیه مراکز خدمات کشاورزی استان که هم دارای کشت سنتی و هم خشکه‌کاری برنج بودند، جمع‌آوری گردید. به‌منظور مقایسه اقتصادی دو شیوه کشت موردبررسی از روش بودجه‌بندی جزئی استفاده گردید. قاعده بودجه‌بندی جزئی برای مقایسه اقتصادی و تصمیم‌گیری در خصوص جایگزینی روش خشکه‌کاری برنج با کشت مرسوم، بدین گونه است که چنانچه با این تغییر در برنامه کشت و تولید برنج، مجموع افزایش درآمد و کاهش مخارج مزرعه از مجموع افزایش مخارج و کاهش درآمد آن بیشتر باشد، خشکه‌کاری برنج به لحاظ اقتصادی توجیه‌پذیر بوده و موجب افزایش درآمد و سودآوری مزرعه خواهد شد. کاربست بودجه‌بندی جزئی برای اتخاذ تصمیم در مورد جایگزینی کشت مستقیم برنج با کشت مرسوم نیازمند محاسبات افزایش درآمد احتمالی مزرعه با جایگزینی کشت مستقیم برنج، کاهش مخارج تولید مزرعه با جایگزینی کشت مستقیم برنج، افزایش مخارج تولید مزرعه با جایگزینی کشت مستقیم برنج و کاهش درآمد مزرعه با جایگزینی کشت مستقیم برنج می‌باشد. پس از سنجش و اندازه‌گیری اقلام چهارگانه مذکور، با کاربست رابطه زیر تغییر در درآمد مزرعه محاسبه گردید. چنانچه این تغییر مثبت باشد، جایگزینی کشت و تولید برنج به شیوه مستقیم به لحاظ اقتصادی و سودآوری موجه بوده و موجب افزایش درآمد مزرعه خواهد شد.

تغییر درآمد مزرعه = [افزایش درآمد +کاهش مخارج] – [کاهش درآمد + افزایش مخارج] (۲)

بهره‌وری نسبت ستاده یا خروجی سیستم به نهاده‌ها یا ورودی آن است. در این مطالعه برای اندازه‌گیری و مقایسه بهره‌وری عوامل تولید در دو شیوه کشت مرسوم و خشکه‌کاری، سنجه‌های بهره‌وری جزئی شامل بهره‌وری ارزشی و فنی نهاده‌های مصرفی محاسبه گردید. بهره‌وری فیزیکی بیانگر مقدار محصول حاصل از یک واحد نهاده مصرفی و بهره‌وری ارزشی بیانگر ارزش محصول حاصل از یک واحد نهاده مصرفی است.

## نتایج

### عملکرد شلتوک در دو شیوه کشت خشکه‌کاری و مرسوم

عملکرد شلتوک رقم ندا درروش خشکه‌کاری از ۴/۲ تا ۸ تن و درروش مرسوم ۹/۲ تن بوده است (جدول ۳). این نشان‌دهنده آن است که اگرچه عملکرد این رقم درروش خشکه‌کاری نسبت به مرسوم کاهش‌یافته اما با مدیریت مناسب مزرعه شامل مدیریت علف‌های هرز و تأمین به‌موقع نیاز آبی و تغذیه گیاه می‌توان درروش خشکه‌کاری عملکردها را تا حد روش مرسوم افزایش داد. مؤمنی رقم ندا را متحمل به خشکی و مناسب جهت کشت در شرایط کم آبیاری یا بی‌هوازی دانسته است (مؤمنی، ۱۳۹۲).

عملکرد محصول شلتوک رقم ندا در خشکه‌کاری در یک مزرعه با عقب افتادن تاریخ کاشت روندی کاهشی داشته به‌نحوی‌که در تاریخ‌های کاشت ۳۰ اردیبهشت و یکم تیرماه نسبت به ۱۵ اردیبهشت به میزان ۲/۵ و ۶/۳ درصد کاهش‌یافته است (جدول ۳). این تغییرات در حالی است که مدیریت این مزرعه ازنظر مبارزه با علف‌های هرز و کود یکسان اما میزان مصرف آب آن به دلیل تغییرات جوی متغیر بوده است.

میانگین عملکرد شلتوک رقم فجر در روش مرسوم هفت تن و در روش خشکه‌کاری ۶/۷ تن بود (جدول ۳). نتایج قربانی کلاهی و همکاران (۱۳۸۹) نیز نشان داده که پذیرندگان روش خشکه‌کاری در استان خوزستان موفق به تولید شلتوک بیشتری نسبت به غیرپذیرندگان شده‌اند.

نتایج نشان داد که عملکرد دو رقم کوهسار و گرده کمتر از پتانسیل مورد انتظار بوده است (جدول ۳). دلیل کاهش عملکرد این دو رقم را می‌توان مدیریت مزرعه دانست، زیرا کشاورز صاحب آن زمین هیچ‌گونه تجربه قبلی از کشت برنج نداشته و سال ۱۳۹۷ اولین سالی است که اقدام به کشت آزمایشی برنج آن هم به روش خشکه‌کاری در قسمتی از مزرعه خود نموده است. این کشاورز دارای سیستم آبیاری بارانی ثابت بوده و بیشتر سطح زیر کشت خود را به سویا اختصاص داده به همین دلیل مدیریت آبیاری برنج را نیز مطابق با برنامه آبیاری سویا تنظیم نموده است. به نظر می‌رسد که این امر از دلایل کاهش عملکرد کلیه ارقام کشت‌شده در این مزرعه بوده است. این کشاورز با حذف کشت سویا در سال زراعی ۱۳۹۸ موفق به اخذ عملکرد بیش از ۵ تن شلتوک در هر هکتار شده که موئد این مطلب است که عملکرد پایین دو رقم کوهسار و گرده مرتبط با مدیریت و عدم تجربه کشاورز در خصوص مدیریت مزرعه خشکه‌کاری بوده باشد. با بررسی میانگین عملکرد روش خشکه‌کاری می‌توان بیان نمود که تجربه کشت به روش خشکه‌کاری، مدیریت مزرعه و سطح دانش کشاورز نقش مهمی در میزان محصول تولیدی دارد.

### آب مصرفی در دو شیوه کشت خشکه‌کاری و مرسوم

میزان آب مصرفی در روش خشکه‌کاری بذر با سامانه آبیاری بارانی از ۵۶۸۴ تا ۱۴۱۱۹ مترمکعب، در روش خشکه‌کاری نشاء با سامانه تیپ از ۱۰۵۴۰ تا ۱۴۸۵۰ مترمکعب در روش خشکه‌کاری بذر با سامانه آبیاری تیپ ۱۴۸۵۰ مترمکعب و در روش مرسوم از ۸۵۳۴ تا ۱۵۲۱۵ مترمکعب به دست آمد (جدول ۳). نتایج امیر نژاد و همکاران (۱۳۹۷) نیز مشخص می‌سازد که در دشت بهشهر برای تولید برنج پر محصول از ۱۰۴۱۲ تا ۱۴۳۹۰ مترمکعب آب و برای تولید برنج مرغوب از ۷۸۶۷ تا ۹۰۸۴ مترمکعب آب مصرف‌شده است.

تفاوت زیادی از نظر آب مصرفی در سیستم‌ها و روش‌های کاشت مشابه تحقیق حاضر وجود دارد که می‌توان آن را منتج از مدیریت مزرعه، همچنین تاریخ کاشت دانست (جدول ۳). تاریخ‌های کاشت زودهنگام موجب ایجاد سایه‌انداز (آسمانه) مناسب و کاهش تبخیر از سطح خاک می‌گردد که این موضوع در تاریخ‌های کاشت دیرتر کم‌تر رخ می‌دهد، ضمن آن‌که مدیریت کشاورز در استفاده یکسان از منابع آبی در اختیار برای

تمام کشت‌ها بدون در نظر گرفتن نیاز گیاه بـر اسـاس رشـد و نمو آن می‌تواند دلیل دیگری بر این امر باشد. میانگین حسابی آب مصرفی در روش خشـکه‌کـاری ۸۶۶۳ و در روش مرسـوم ۱۲۶۴۰ مترمکعب بوده و میانگین وزنی آب مصرفی بر اسـاس وزن مساحت‌های تحت کشت در روش خشکه‌کاری ۱۱۶۴۲ و در روش مرسـوم ۱۴۳۹۲ مترمکعـب اسـت کـه هـر دو روش میانگین‌گیری نشان‌دهنده‌ی مصرف بیشتر آب در روش سـنتی است. مصرف آب در روش خشکه‌کاری بـا اسـتفاده از سـامانه تیپ برخلاف انتظار بیشتر از سامانه بارانی بود که اجـرای ایـن پروژه در مزرعه نامناسب (با خاک گراویل) و همچنـین اجـرای اشتباه سامانه (قرار دادن انشعاب اصلی در گودی زمین و انتقال آب ازآنجا به قسمت‌های مرتفع توسط لوله‌های تیپ) سبب‌ساز این موضوع بوده‌اند. همان‌گونه کـه نتـایج نشـان داد مـدیریت آبیاری نقش مهمی در میزان مصرف آب دارد. ویال نیـز آب را یکی از منابع مهم محدودکننده در تولیـد بـرنج دانسـته اسـت (Vial, L.K. 2007). بررسی پایداری تولید برنج در شهرستان رضوان‌شهر نیز مشخص نمود که منابع از نظـر کمـی و کیفـی تهدیدی برای پایداری کشـاورزی منطقـه بـه‌ویـژه زراعـت بـرنج نیستند بلکه آنچه ممکن است کشاورزی منطقـه را به سمت ناپایداری پیش ببرد مدیریت این منابع است (امینـی و همکاران، ۱۳۹۴).  نتایج این تحقیق نیز مؤید تأثیر مدیریت آب بر میزان مصرف و بهره‌وری آن است.

## بهره‌وری آب در دو شیوه کشـت خشـکه‌کـاری و مرسوم

بهره‌وری آب در کاشت برنج به روش خشکه‌کاری از ۰/۲۲ تـا ۰/۷ و در روش مرسـوم از ۰/۴۶ تـا ۰/۵۹ کیلـوگرم بـر مترمکعـب بدسـت آمـد. دامنـه بیشـتر بهـره‌وری آب در روش خشکه‌کاری را می‌توان به تعداد بیشتر مزارع موردبررسی، تنوع بیشتر ارقام، تفاوت بیشـتر تـاریخ کاشـت نسـبت داد. در روش خشکه‌کاری از نهم اردیبهشت کشت آغازشده و تـا ۲۹ تیرمـاه ادامه داشته است که این موضوع سبب شـده برداشـت نیـز در دامنه‌ی ۲۲ شـهریورماه تـا هشـتم آبـان مـاه صـورت پـذیرد، درحالی‌که انتقال نشاء به زمین اصلی در مزارع موردبررسـی در ششم خرداد تا ۲۱ تیرماه و برداشت آن‌ها از ۱۰ شهریور تا نهم مهرماه صورت پذیرفته است. در روش خشکه‌کاری ارقام فجـر حاج حیدری، ندا، طارم هاشمی، طارم امرالهی، گرمه، کوهسـار، طارم بـی‌نـام و در روش مرسـوم ارقـام فجـر و طـارم بـی‌نـام کشت‌شده که در روش سـنتی نسـبت بـه روش مرسـوم تنـوع بیشتر ارقام قابل‌مشاهده است.

مقایسه دو روش مرسوم و خشـکه‌کـاری در شـرایط نسـبتاً مشابه از نظر رقم و تاریخ کاشت مشخص نمـود بهـره‌وری آب رقم فجر به‌صورت خشکه‌کاری ( ردیف ۱ جدول ۳) بـه میـزان ۳۵ درصد بیشتر از بهـره‌وری آب مـزارع مرسـوم کشـت بـرنج (ردیف‌های ۱۵ و ۱۶ جدول ۳) است. در رقم طارم بـی‌نـام نیـز بهره‌وری آب در روش خشکه‌کاری ۱۷ درصـد بیشـتر از روش مرسوم گردیده است (ردیف‌های ۱۰ و ۱۱ جدول ۳)، درحالی‌که میانگین بهره‌وری آب مزارعی که اقدام به کشت بذر رقـم نـدا به‌صورت خشکه‌کاری نموده‌اند (ردیف‌های ۷، ۸ و ۶ جـدول ۳) ۰/۵۸ کیلوگرم بر مترمکعب بدسـت آمـده، کـه در مقایسـه بـا بهره‌وری آب این رقم در کشت مرسوم (ردیف ۱۷ جدول۳) بـه میزان ۰/۵۹ کیلوگرم بر مترمکعب، دو درصد کم‌تر بوده اسـت. تفاوت بهره‌وری آب در یک رقم کشت‌شده، تحـت تـأثیر یـک روش مدیریتی، ولی با تاریخ‌های مختلف کاشت (ردیف‌هـای ۷ الی ۹ جدول ۳) قابل‌مشاهده است ضـمن آن‌کـه تفـاوت بـین ارقام مختلف در یک تاریخ کاشت (ردیف‌های ۲ الـی ۵ جـدول ۳) نیز مشهود است. بر اسـاس داده‌هـای منـدرج در جـدول ۴ عملکرد در هکتار شلتوک در روش خشکه‌کاری به‌طـور نسـبی کمتر از عملکرد در هکتـار شـیوه مرسـوم مـی‌باشـد. میـانگین عملکرد در هکتار کشت مرسوم و خشکه‌کاری به ترتیب ۵۶۶۰ و ۴۸۹۸ کیلوگرم می‌باشد. درآمد ناخالص محصول شـلتوک در شـیوه مرسـوم ۲۶۳۰۱۰۰۰ تومـان و در شـیوه خشـکه‌کـاری ۲۴۰۴۱۰۰۰ تومان در هر هکتار محاسبه شده است، اما با توجه به هزینه تولید کمتر شیوه کشت مستقیم، درآمد خـالص (سـود ناخالص) آن بیشتر از درآمد خالص (سود ناخالص) شیوه مرسوم می‌باشد. هزینه تولید خشکه‌کاری بـرنج در هـر هکتـار حـدود ۲۹۲۵۰۰۰ تومان کمتر از هزینه تولید کشت مرسـوم محاسـبه شده است. برتری شیوه کشت خشکه‌کـاری در کـاهش هزینـه تولید، فزونی درآمـد خـالص (سـود ناخـالص) حـدود ۶۶۵۰۰۰ تومان در هکتار را موجب شده است. به‌عبارت‌دیگر با جایگزینی کشت مستقیم برنج، تغییر درآمد و سودآوری مزرعه مثبت بوده و ازاین‌رو می‌توان خشکه‌کاری برنج را در مزارع استان گلستان

به‌عنوان یک جایگزین مناسب کشت مرسوم توصیه نمود. هرچند این نتایج مقدماتی است و نیازمند تکرار مطالعه با حجم نمونه بیشتر از هر دو گروه مزارع است.

**جدول ۳- اطلاعات میزان آب مصرفی و بهره‌وری آب مزارع بررسی‌شده**

| ردیف | نوع رقم | تاریخ کاشت | تاریخ برداشت | طول دوره رشد (روز) | شیوه کشت | روش آبیاری | تعداد آبیاری | حجم آب آبیاری (مترمکعب در هکتار) | باران (میلی‌متر) | عملکرد (تن در هکتار) | بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | فجر حاج حیدری | ۹۷/۰۲/۲۸ | ۱۳۹۷/۶/۲۸ | ۱۲۵ | مستقیم بذر | بارانی+۴ بار غرقاب | ۳۱ | ۹۴۹۵ | ۵۷ | ۶/۷ | ۰/۷ |
| ۲ | طارم امرالهی | ۹۷/۰۴/۵ | ۱۳۹۷/۷/۲۶ | ۱۱۵* | مستقیم بذر | بارانی+ ۱ بار غرقاب | ۱۸ | ۵۶۸۴ | ۱۰۸ | ۲/۴ | ۰/۴۱ |
| ۳ | طارم هاشمی | ۹۷/۰۴/۵ | ۱۳۹۷/۸/۳ | ۱۲۳** | مستقیم بذر | بارانی+ ۱ بار غرقاب | ۱۸ | ۵۶۸۴ | ۱۰۸ | ۱/۸ | ۰/۳۰ |
| ۴ | گرده | ۹۷/۰۴/۵ | ۱۳۹۷/۷/۲۶ | ۱۱۵*** | مستقیم بذر | بارانی+ ۱ بار غرقاب | ۱۸ | ۵۶۸۴ | ۱۰۸ | ۱/۶ | ۰/۲۸ |
| ۵ | کوهسار | ۹۷/۰۴/۵ | ۱۳۹۷/۷/۲۶ | ۱۱۵ | مستقیم بذر | بارانی+ ۱ بار غرقاب | ۱۸ | ۵۶۸۴ | ۱۰۸ | ۱/۳ | ۰/۲۲ |
| ۶ | ندا | ۹۷/۲/۹ | ۱۳۹۷/۶/۱۴ | ۱۳۰ | مستقیم بذر | بارانی | ۲۶ | ۷۰۶۸/۶ | ۶۱ | ۴/۲ | ۰/۵۹ |
| ۷ | ندا | ۹۷/۲/۱۵ | ۱۳۹۷/۶/۲۰ | ۱۳۰ | مستقیم بذر | بارانی | ۲۳ | ۱۲۹۹۰ | ۵۵ | ۸/۰ | ۰/۶۱ |
| ۸ | ندا | ۹۷/۲/۳۰ | ۱۳۹۷/۷/۱ | ۱۲۷ | مستقیم بذر | بارانی | ۲۳ | ۱۳۵۰۰ | ۶۰ | ۷/۸ | ۰/۵۸ |
| ۹ | ندا | ۹۷/۴/۱ | ۱۳۹۷/۷/۲۵ | ۱۱۸ | مستقیم بذر | بارانی | ۲۲ | ۱۴۱۱۹ | ۱۰۴ | ۷/۵ | ۰/۵۳ |
| ۱۰ | طارم بی‌نام | ۹۷/۴/۲۱ | ۱۳۹۷/۷/۲۳ | ۹۶ | مستقیم بذر | بارانی | ۱۱ | ۶۷۲۱ | ۹۷ | ۳/۷ | ۰/۵۴ |
| ۱۱ | طارم بی‌نام | ۹۷/۴/۲۱ | ۱۳۹۷/۷/۹ | ۸۲ | نشایی | غرقاب | ۲۰ | ۸۵۳۴ | ۴۳ | ۳/۹ | ۰/۴۶ |
| ۱۲ | طارم هاشمی | ۹۷/۳/۲۷ | ۱۳۹۷/۶/۲۲ | ۸۹ | مستقیم نشا | تیپ | – | ۱۰۵۴۰ | ۴۰ | ۴/۱ | ۰/۳۸ |
| ۱۳ | ندا | ۹۷/۳/۲۷ | ۱۳۹۷/۷/۳ | ۱۰۱ | مستقیم نشا | تیپ | – | ۱۱۹۶۰ | ۴۶ | ۶/۸ | ۰/۵۶ |
| ۱۴ | طارم هاشمی | ۹۷/۴/۲۹ | ۱۳۹۷/۸/۸ | ۱۰۴ | مستقیم بذر | تیپ | – | ۱۴۸۵۰ | ۹۵ | ۳/۸ | ۰/۲۵ |
| ۱۵ | فجر | ۱۳۹۷/۳/۶ | ۱۳۹۷/۶/۱۰ | ۹۸ | نشایی | غرقاب | روزانه | ۱۱۵۹۰ | ۵۰ | ۶/۰ | ۰/۵۲ |
| ۱۶ | فجر | ۹۷/۳/۱۷ | ۹۷/۶/۱۵ | ۹۲ | نشایی | غرقاب | ۱۵ | ۱۵۲۱۵ | ۴۶ | ۸/۱ | ۰/۵۳ |
| ۱۷ | ندا | ۹۷/۳/۱۴ | ۹۷/۶/۱۳ | ۹۳ | نشایی | غرقاب | ۱۵ | ۱۵۲۱۵ | ۴۶ | ۹/۲ | ۰/۶۰ |

* در زمان برداشت حداقل ۳۰ درصد دانه‌ها سبز (مرحله خمیری) بود.
** حداقل ۱۵ درصد دانه‌ها در زمان برداشت سبز (مرحله خمیری) بود.
*** به دلیل این‌که زودتر از سایر ارقام رسیده بود دچار خوابیدگی شده بود.
****در زمان برداشت حداقل ۴۰ درصد دانه‌ها سبز (مرحله خمیری) بود

**جدول ٤- برخی نتایج مقدماتی شیوه‌های کشت خشکه‌کاری و مرسوم برنج در استان گلستان**

| عنوان | واحد | مرسوم | مستقیم |
|---|---|---|---|
| نیروی کار | روز نفر در هکتار | ۶۰/۷ | ۳۴ |
| بذر مصرفی | کیلوگرم در هکتار | ۱۱۱/۴ | ۷۴/۴ |
| کود شیمیایی مصرفی | کیلوگرم در هکتار | ۴۱۷/۶ | ۳۱۰ |
| آب | مترمکعب در هکتار | ۱۲۶۴۰ | ۸۶۶۳ |
| عملکرد شلتوک | کیلوگرم در هکتار | ۵۶۶۰ | ۴۸۹۷ |
| درآمد ناخالص | تومان در هکتار | ۲۶۳۰۱۰۰۰ | ۲۴۰۴۱۰۰۰ |
| هزینه تولید | تومان در هکتار | ۹۶۸۴۷۰۰ | ۶۷۵۹۷۰۰ |
| درآمد خالص | تومان در هکتار | ۱۶۶۱۶۰۰۰ | ۱۷۲۸۱۰۰۰ |
| نسبت فایده به هزینه | | ۲/۷ | ۳/۶ |
| افزایش سودآوری مزرعه با جایگزینی کشت مستقیم (تومان در هکتار) | | | ۶۶۵۰۰۰ |

## بهره‌وری عوامل در دو شیوه کشت خشکه‌کاری و مرسوم

سنجه‌های بهره‌وری جزئی شامل بهره‌وری ارزشی و فیزیکی نهاده‌های مصرفی در شیوه‌های کشت مستقیم و مرسوم برنج در استان گلستان در جدول ۵ ارائه‌شده‌اند. همان‌طور که ملاحظه می‌شود بهره‌وری ارزشی و فیزیکی کلیه نهاده‌ها در شیوه خشکه‌کاری فراتر از شیوه کشت مرسوم می‌باشد. مقادیر بهره‌وری فیزیکی نهاده‌های کود شیمیایی، نیروی کار، بذر و آب در زراعت برنج به شیوه مستقیم به ترتیب۱۸/۳، ۲۴۳/۶، ۷۷/۸ و ۰/۵۷ است. اما این سنجه‌ها در شیوه مرسوم به ترتیب ۱۶/۱، ۱۱۰/۶، ۵۷/۴ و ۰/۴۵ است که از این منظر تفاوت نسبتاً قابل‌توجه بین بهره‌وری فیزیکی نهاده‌های تولید در دو شیوه

موردبررسی مشاهده می‌شود. به همین ترتیب بهره‌وری ارزشی کود شیمیایی، نیروی کار، بذر و آب در خشکه‌کاری به ترتیب ۹۵۶۸۴، ۱۱۹۲۰۰، ۳۶۷۸۰۰ و ۵۱۷۳ و در شیوه مرسوم به ترتیب ۷۴۳۷۵، ۵۱۱۹۰۰، ۲۶۱۲۳۰ و ۴۶۴۷ است که حاکی از برتری شیوه خشکه‌کاری در مصرف مطلوب و کارآمدتر نهاده‌ها نسبت به شیوه مرسوم است (جدول ۵).

میزان سنجه‌های بهره‌وری فیزیکی در خشکه‌کاری برنج بیانگر آن است که با تخصیص هر یک کیلوگرم کود و بذر، یک روز نفر کار و یک مترمکعب آب به‌ترتیب ۱۸/۳ ، ۲۴۳/۶ ، ۷۷/۸ و ۰/۵۷ کیلوگرم شلتوک و به شیوه مرسوم به‌ترتیب ۱۶/۱، ۱۱۰/۶ ، ۵۷/۴ و ۰/۴۵ کیلوگرم شلتوک تولید می‌شود. به همین ترتیب مقادیر سنجه‌های بهره‌وری ارزشی حاکی از آن است که در خشکه‌کاری ارزش محصول تولیدی منسوب به نهاده‌های کود، بذر، نیروی کار و آب به ترتیب ۹۵۶۸۴، ۱۱۹۲۰۰، ۳۶۷۸۰۰ و ۵۱۷۳ تومان و در شیوه مرسوم به ترتیب ۷۴۳۷۵، ۵۱۱۹۰۰، ۲۶۱۲۳۰ و ۴۶۴۷ تومان می‌باشد (جدول ۵). این یافته‌ها بر بهره‌وری و کارایی افزون‌تر نهاده‌ها در خشکه‌کاری برنج دلالت دارند.

**جدول ۵ ، بهره‌وری ارزشی و فیزیکی نهاده‌ها در دو شیوه کشت مستقیم و مرسوم**

| نهاده | بهره‌وری ارزشی | | بهره‌وری فیزیکی | |
|---|---|---|---|---|
| | کشت مستقیم | کشت مرسوم | کشت مستقیم | کشت مرسوم |
| کودهای شیمیایی | ۹۵۶۸۴ | ۷۴۳۷۵ | ۱۸/۳ | ۱۶/۱ |
| بذر | ۳۶۷۸۰۰ | ۲۶۱۲۳۰ | ۷۷/۸ | ۵۷/۴ |
| نیروی کار | ۹۵۶۸۴ | ۵۱۱۹۰۰ | ۲۴۳/۶ | ۱۱۰/۶ |
| آب | ۵۱۷۳ | ۴۶۴۷ | ۰/۵۷ | ۰/۴۵ |

## اثربخشی نهاده‌ها در دو شیوه کشت مرسوم و خشکه‌کاری

نتایج بررسی اثربخشی نهاده‌های مصرفی در دو شیوه خشکه‌کاری و مرسوم در مزارع برنج‌کاری منتخب استان گلستان در سال ۱۳۹۷، بیانگر آن است که باوجود کاهش ۷۶۳ کیلوگرم یا ۱۳ درصد عملکرد در هکتار، خشکه‌کاری برنج می‌تواند موجب کاهش مصرف نیروی کار، بذر و کودهای شیمیایی شود (جدول۶). برتری روش خشکه‌کاری در کاهش حدود ۳۰ درصدی هزینه تولید، افزایش درآمد خالص حدود ۶۶۵۰۰۰ تومان در هکتار را موجب شده است. نتایج تحلیل بهره‌وری نهاده‌ها، نشان می‌دهد که مقدار و ارزش تولید منسوب به هر واحد کودهای شیمیایی، بذر و نیروی کار مصرفی درروش خشکه‌کاری برنج بیشتر از شیوه کشت مرسوم می‌باشد (جدول۷). این یافته‌ها به‌روشنی بر اثربخشی و بهره‌وری بیشتر نهاده‌ها در روش خشکه‌کاری برنج در استان گلستان دلالت دارند.

**جدول٦- کاهش مصرف نهاده‌ها در شیوه خشکه‌کاری برنج نسبت به کشت مرسوم در استان گلستان**

| نهاده مصرفی | کاهش مصرف در هکتار(درصد) |
|---|---|
| کودهای شیمیایی | ۴۴ |
| بذر | ۳۵ |
| نیروی کار | ۲۶ |

**جدول۷- تولید و ارزش محصول منسوب به هر واحد نهاده‌ها در دو روش کشت مستقیم و مرسوم برنج**

| نهاده مصرفی | تولید محصول (کیلوگرم) منسوب به هر واحد نهاده مصرفی در روش کشت | | ارزش محصول (تومان) منسوب به هر واحد نهاده مصرفی در روش کشت | |
|---|---|---|---|---|
| | خشکه‌کاری | مرسوم | خشکه‌کاری | مرسوم |
| کودهای شیمیایی | ۱۸ | ۱۶ | ۹۵۶۸۴ | ۷۴۳۷۵ |
| بذر | ۲۴۳ | ۱۱۰ | ۱۱۹۲۰۰ | ۵۱۹۰۰ |
| نیروی کار | ۷۸ | ۵۷ | ۳۶۷۸۰۰ | ۲۶۱۲۳۰ |

## رهیافت ترویجی

نتایج این پژوهش در سطح مزارع کشاورزان دو شهرستان استان نشان‌دهنده کاهش ۱۹ درصدی میانگین مصرف آب، کاهش حدود ۳۰ درصدی هزینه تولید، کاهش مصرف نهاده‌ها به‌ویژه نیروی کار، بذر و کودهای شیمیایی و افزایش چهار درصدی درآمد خالص کشاورزان در شیوه خشکه‌کاری نسبت به شیوه مرسوم است اگرچه عملکرد در شیوه خشکه‌کاری برنج نسبت به روش مرسوم کمتر شده است. این پژوهش در حد امکان به تعیین شاخص‌های فنی و اقتصادی مرتبط با تغییر شیوه کاشت برنج در سطح مزارع استان گلستان پرداخته، بااین‌حال استنباط نتایج قطعی نیازمند تکرار این آزمایش در چند سال است. می‌توان به این پژوهش به‌عنوان پنجره‌ای که نیازهای تحقیقاتی در این خصوص را مشخص ساخته، نیز نگریست، این نیازها شامل تعیین ارقام مناسب، تاریخ مناسب کاشت هر رقم، میزان بذر موردنیاز در واحد سطح، تعیین نیازهای تغذیه‌ای، تعیین آب مصرفی و بهره‌وری آب و ارزیابی اقتصادی در شرایط خشکه‌کاری است که می‌توان بیان نمود که همه موارد بیان‌شده به نحوی بر تغییرات ایجادشده در بهره‌وری آب مؤثر بوده‌اند.

## مراجع


امیرنژاد، ح.، فاضلیان، س. و حسینی یکانی، س.ع. ۱۳۹۷. تعیین ارزش اقتصادی آب در تولید برنج مرغوب و پر محصول (مطالعه موردی دشت بهشهر استان مازندران). تحقیقات اقتصاد کشاورزی. ۱۰ (۳): ۲۶۰-۲۴۱.

امینی، ع.، نوری، س.ه. و اصلانی سنگده، ب. ۱۳۹۴. ارزیابی و سنجش پایداری زراعت برنج با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (موردمطالعه: شهرستان رضوانشهر). علوم ترویج و آموزش کشاورزی ایران. ۱۱ (۱): ۱۲۶-۱۰۱.

حبیبی اصل، ج.، لویمی، ن. و گیلانی، ع. ۱۳۸۸. بررسی و مقایسه سه روش خشکه‌کاری مکانیزه ارقام مختلف برنج در خوزستان. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی. ۱۰ (۱): ۹۶-۸۱.

دهقان، ا. و الماسی، م. ۱۳۸۵. اثر روش‌های مختلف خاک‌ورزی بر عملکرد و اجزای عملکرد دو رقم برنج به روش خشکه‌کاری در منطقه شاور خوزستان. مجله تحقیقات مهندسی کشاورز. ۷ (۲۹): ۱۰۰-۸۹.

قربانی کلاهی، م.، رضائی مقدم، ک. و آجیلی، ع. ۱۳۸۹. پذیرش خشکه‌کاری در زراعت برنج: موردمطالعه استان خوزستان. علوم ترویج و آموزش کشاورزی ایران. ۶ (۱): ۶۹-۵۹.

عرب زاده، ب. و توکلی، ع. ر. ۱۳۸۵. تحلیل اقتصادی مدیریت کم آبیاری درکشت خشکه‌کاری برنج. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی. ۷ (۲۶): ۱۱۰-۹۹.

مؤمنی، ع. ۱۳۹۲. مطالعه امکان تغییر الگوی کشت برنج از شرایط غرقابی به هوازی در مازندران. نشریه تولید گیاهان زراعی. ۶ (۴): ۲۲۸-۲۱۵.

Balasubramanian, V. and Hill, J.E. 2002. Direct seeding of rice in Asia: emerging issues and strategic research needs for the 21st century. In: Pandey, S., Mortimer, M., Wade, L., Tuong, T.P., Lopez, K., Hardy, B. (Eds.), Direct Seeding: Research Strategies and Opportunities. Inter. Rice Res. Inst., Los Ban˜os, Philippines, pp. 15–42.

Bhushan, L., Ladha, J.K., Gupta, R.K., Singh, S., Tirol-Padre, A., Saharawat, Y.S., Gathala, M. and Pathak, H. 2007. Saving of water and labor in a rice–wheat system with no-tillage and direct seeding technologies. Agron. J. 99: 1288–1296.

Chan, C.C. and Nor, M.A.M. 1993. Impacts and implications of direct seeding on irrigation requirement and systems management. In: Paper Presented at the Workshop on Water and Direct Seeding for Rice, 14–16 June 1993, Muda Agricultural Development Authority, Ampang Jajar, Alor Setar, Malaysia.

Chandrasekhararao, C., Jitendranath, S and Murthy, T.GK. 2013. Resource Optimisation in Rice through Direct Seeding by Drum Seeder. International Journal of Agriculture and Food Science Technology. 4 (3): 239-246

Farooq, M., Siddique, KHM., Rehman, H., Aziz, T., Lee, DJ. and Wahid A. 2011. Rice direct seeding: experiences, challenges and opportunities. Soil TillRes111:87–98. doi:10.1016/j.still.2010.10.008

Farooq, M., Basra, S.M.A. and Asad, S.A. 2008. Comparison of conventional puddling and dry tillage in rice–wheat system. Paddy Water Environ. 6: 397–404.

Farooq, M., Basra, S.M.A. and Wahid, A. 2006. Priming of field-sown rice seed enhances germination, seedling establishment, allometry and yield. Plant Growth Regul. 49: 285–294.

Farooq, M., Wahid, A., Lee, D.J., Ito, O. and Siddique, K.H.M. 2009. Advances in drought resistance of rice. Crit. Rev. Plant Sci. 28: 199–217.

Gao, X.P., Zou, C.Q., Fan, X.Y., Zhang, F.S. and Hoffland, E. 2006. From flooded to aerobic zinc conditions in rice cultivation: consequences for uptake. Plant Soil 280:41–47

Gianessi, L., Silvers, C., Sankula, S. and Carpenter, J. 2002. Plant Biotechnology: Current and Potential Impact for Improving Pest Management in U.S. Agriculture: Case Study 27, Herbicide Tolerant Rice. National Centre for Food and Agricultural Policy, Washington, DC.

Jehangir, W.A., Masih, I., Ahmed, S., Gill, M.A., Ahmad, M., Mann, R.A., Chaudhary, M.R. and Turral, H. 2005. Sustaining crop water productivity in rice–wheat systems of South Asia: a case study from Punjab Pakistan. In: Draft Working Paper, Inter. Water Managmt. Institute, Lahore, Pakistan.

Khade, V.N., Patil, B.D., Khanvilkar, S.A. and Chavan, L.S. 1993. Effect of seeding rates and level of N on yield of direct-seeded (Rahu) summer rice in Konkan. J. Maharash. Agric. Univ. 18: 32–35.

Kukal, S.S. and Aggarwal, G.C. 2002. Percolation losses of water in relation to puddling intensity and depth in a sandy loam rice (Oryza sativa) field. Agric. Water Manag. 57: 49–59.

Ladha, J.K., Pathak, H., Padre, A.T., Dawe, D. and Gupta, R.K. 2003. Productivity trends in intensive rice–wheat cropping systems in Asia. In: Ladha, K., Hill, J.E., Buresh, R.J., Duxbury, J., Gupta, R.K. (Eds.), Improving the Productivity and Sustainability of Rice–Wheat Systems: Issues and Impacts. JASA Special Publication No. 65. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI, pp. 45–76.

Ntanos, D. 2001. Strategies for rice production and research in Greece. In: Chataigner, J. (Ed.), Research Strategies for Rice Development in Transition Economies. CIHEAM-IAMM, Montpellier, France, pp. 115–122.

Pandey, S. and Velasco, L. 2002. Economics of direct seeding in Asia: patterns of adoption and research priorities. In: Pandey, S., Mortimer, M., Wade, L., Tuong, T.P., Lopes, K., Hardy, B. (Eds.), Direct Seeding: Research Strategies and Opportunities. International Rice Research Institute, Los Ban˜os, Philippines.

Pandey, S. and Velasco, L. 2005. Trends in crop establishment methods in Asia and research issues. In: Rice is Life: Scientific Perspectives for the 21st Century, Proceedings of the World Rice Research Conference, 4–7 November 2004, Tsukuba, Japan, pp. 178–181.

Pandey, S. and Velasco, L.E. 1999. Economics of alternative rice establishment methods in Asia: a strategic analysis. In: Social Sciences Division Discussion Paper, International Rice Research Institute, Los Bano˜s, Philippines.

Pratley, J.E., Flower, R., Heylin, E. and Sivapalan, S. 2004. Integrated weed management strategies for the rice weeds Cyperus difformis and Alisma plantagoaquatica. A report for the Rural Industries Research and Development Corporation (RIRDC) Project No USC 20A.

Rao, A.N., Johnson, D.E., Sivaprasad, B., Ladha, J.K. and Mortimer, A.M. 2007. Weed management in direct-seeded rice. Adv. Agron. 93: 153–255.

Saleque, M.A. and Kirk, G.J.D. 1995. Root induced solubilization of phosphate in the rhizosphere of lowland rice. New Phytol. 129: 325–336.

Santhi, P., Ponnuswamy, K. and Cheety, N.K. 1998. Effect of seeding methods and efficient nitrogen management practices on the growth of lowland rice. J. Ecobiol. 10: 123–132.

Singh, Y., Singh, G., Johnson, D. and Mortimer, M. 2005. Changing from transplanted rice to direct seeding in the rice–wheat cropping system in India. In: Rice is Life: Scientific Perspectives for the 21st Century, Tsukuba, Japan: Proceedings of the World Rice Research Conference, 4–7 November 2004, pp. 198–201.

Surendra, S., Sharma, S.N., Rajendra, P., Singh, S. and Prasad, R. 2001. The effect of seeding and tillage methods on productivity of rice–wheat cropping system. Soil Till. Res. 61: 125–131.

Vial, L.K. 2007. Aerobic and Alternate-wet-and-dry (AWD) Rice Systems. Nuffield Australia publishing. Griffith NSW 2680. Australia.

Vinay, M., Umesh Kumar., Parkash, V.L. and Kumari, S. 2016. Impact of direct seeded rice on economics of paddy crop in Haryana. International Journal of Agricultural Sciences. 8 (62):3525-3528.

**Water Management in Agriculture**
**Vol. 7, No. 1, Spring and Summer 2020, 33-44**

**نشریه مدیریت آب در کشاورزی**
**جلد ۷، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۸، ص. ۴۴-۳۳**

# Rice Transplanting and Direct Seeding Cultivation, Technical and Economic Solution for Rice Production in Golestan Province (on Farm)

**M.H. Razzaghi*[1], A. kiani [2] and N.M. Abyar[۳]**

## Abstract

Changing the cultivation method of rice from transplanting to direct seeding due to water consumption and destruction of soil structure in the transplanting has been considered by farmers. This study was carried out to evaluate the technical and economic changes of rice cultivation from transplanting to direct seeding in Golestan province in 2018. For this purpose, 10 rice farmers were selected, of which 7 farmers had their rice cultivation done by direct seeding method. The results showed that the amount of water used in direct seeding method with sprinkler irrigation system was from 5700 to 14100 and in the transplanting method was from 8500 to 15200 cubic meters per hectare. Water productivity in direct seeding farm with Fajr Cultivar was 35% and with Tarom Binam Cultivar was 17% higher than Transplanting of theirs. The average water productivity of Neda cultivar direct seeded was two percent lower than transplanting. The physical productivity of inputs indicated that by allocating per kg of fertilizer and seed, working day and cubic meter of water in the direct seeding method, 18.3, 243.6, 77.8 and 0.57 and 16.1, 6, and in transplanting method 16.1, 110.6, 57.4 and 0.45 kg of rice are produced, respectively. Direct seeding compared to transplanting can reduce the consumption of inputs and production costs. In the direct seeding, rice yields less than the transplanting, but with proper management, profitability can be increased.

**Keywords:** Rice, Water Consumption, Water Productivity, Value Productivity.

[1] Expert at Agricultural Engineering Research Department, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Gorgan, Iran. (*Corresponding Author Email: Razzaghi_mh@yahoo.com)
[2] Professor at Agricultural Engineering Research Department, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Gorgan, Iran.
[3] Assistant Professor at Socio-Economic Research Ggroup of Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Gorgan, Iran.
Received: 11 April 2020
Accepted: 5 August 2020

Water Management in Agriculture
Vol. 7, No. 1, Spring and Summer 2020, 45-52

نشریه مدیریت آب در کشاورزی
جلد ۷، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۹، ص. ۵۲-۴۵

**مقاله علمی-پژوهشی**

# بررسی و مقایسه عملکرد سامانه‌های آبیاری بارانی ویل موو و کلاسیک ثابت در استان سمنان

**نادر نادری[۱*] و مهدی اکبری[۲]**

## چکیده

با توجه به بحران منابع آب در استان سمنان استفاده از سامانه‌های آبیاری بارانی موردتوجه قرار گرفته است. ارزیابی سامانه‌های آبیاری بارانی برای شناخت اشکالات موجود و افزایش کارایی آن‌ها ضروری است. این پژوهش باهدف بررسی و مقایسه عملکرد سامانه‌های آبیاری ویل موو و کلاسیک ثابت در استان سمنان در سال ۱۳۹۶ انجام شد. برای این منظور ضریب یکنواختی (CU)، یکنواختی توزیع (DU)، راندمان پتانسیل کاربرد (PELQ)، تلفات تبخیر و باد و حجم آب مصرفی تعیین شد. اجرای سامانه‌های آبیاری بارانی به‌طور متوسط ۴۲ درصد مصرف آب را کاهش داده بود لکن سطح زیرکشت به‌طور متوسط ۲۲ درصد افزایش یافته بود. نتایج مقادیر راندمان پتانسیل کاربرد آب، ضریب یکنواختی و یکنواختی توزیع در سامانه‌های ویل‌موو به ترتیب برابر ۵۳/۸، ۷۰/۵، ۶۵/۵ و درصد و در سامانه‌های کلاسیک ثابت ۴۸/۸، ۶۶/۷ و ۶۰/۷ درصد به دست آمد. تعویض آبپاش‌های فرسوده و استفاده مناسب از سامانه ویل موو در شرایط باد در مزرعه ۹ از عوامل عملکرد بهتر این سامانه بود. در سیستم کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک فاصله نامناسب آبپاش‌ها، فشار پایین و کار کردن تعداد آبپاش‌های بیشتر از حد مجاز طراحی بر روی لترال باعث کاهش کارایی این سامانه شده بود که با رفع آن‌ها می‌توان کارایی آن را ارتقا بخشید. همچنین نتایج نشان داد جلوگیری از نشت آب در سامانه‌ها، آموزش مناسب بهره‌برداران و استفاده از جدول برنامه‌ریزی آبیاری باعث بهبود عملکرد سامانه‌های آبیاری بارانی موردمطالعه خواهند شد.

**واژه‌های کلیدی:** آبپاش، حجم آب مصرفی، راندمان، یکنواختی

## مقدمه

راندمان سامانه آبیاری بارانی در شرایط مناسب آب، هوا و خاک می‌تواند در حد بالا و مناسبی باشد، لکن این امر مستلزم طراحی، اجرا و بهره‌برداری صحیح می‌باشد. نقص در هر یک از این مراحل باعث می‌شود سامانه کارایی مناسبی نداشته باشد. لذا بررسی عملکرد و اثربخشی سامانه آبیاری هنگام کار در سطح مزرعه ضروری است. ضریب یکنواختی شاخص مناسبی برای نشان دادن یکنواختی توزیع آب در سامانه آبیاری می‌باشد. یکنواختی پایین در سیستم آبیاری بارانی به عوامل متعددی بستگی دارد نظیر: انتخاب قطرهای ناکافی و نامناسب برای لوله‌های آبرسان، فشار خیلی پایین یا خیلی بالا، انتخاب نازل‌ها و آبپاش‌های ناکافی و نامناسب که بیشتر مربوط به طراحی است و اثرات باد روی توزیع آب، تغییرات در اجزای سیستم به‌مرورزمان مانند تغییرات در راندمان پمپ، تنظیم فشار یا اندازه نازل و گرفتگی نازل که بیشتر هنگام بهره‌برداری به وجود می‌آید. آبیاری زمانی به‌طور یکنواخت صورت می‌گیرد که مقدار آب داده‌شده به خاک در قسمت‌های مختلف مزرعه بیش از ۲۰ درصد اختلاف نداشته باشد. به‌منظور استفاده بهینه از آب

[۱] استادیار پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان (شاهرود)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شاهرود، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: Naderi7367@yahoo.com)
[۲] دانشیار پژوهش موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
تاریخ دریافت: ۹۹/۴/۲۱
تاریخ پذیرش: ۹۹/۵/۱۷
DOR: 20.1001.1.24764531.1399.7.1.5.2

قابل‌دسترس، توزیع یکنواخت‌تر آب ضروری است (Haman and Yeagar,2005; Ley, 2003). راندمان پتانسیل کاربرد بیانگر عملکرد سامانه آبیاری در شرایط بهره‌برداری مناسب است. طراحی و اجرای نادرست و مدیریت بهره‌برداری غیر صحیح از سامانه باعث افت عملکرد سامانه می‌شود. به‌عنوان‌مثال افت فشار و کاهش دبی خروجی از نازل‌ها باعث کاهش راندمان و یکنواختی می‌شود (Keller and Bliesner, 1990). برادران هزاوه و همکاران (۱۳۸۵) با بررسی تعداد ۹ سیستم آبیاری بارانی (کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک و ویل موو) در شهرستان اراک نتیجه گرفتند که مشکلات اصلی طرح-های آبیاری بارانی عدم دقت در طراحی و اجرای آن‌ها بوده است که ازجمله می‌توان به پایین بودن یکنواختی توزیع آبپاش-ها، نامناسب بودن فشار و توزیع غیریکنواخت آن، فواصل نامناسب آبپاش‌ها، طول نامناسب لوله‌های جانبی اشاره نمود. همچنین عدم مدیریت و نگهداری صحیح از سامانه‌ها و به کار بردن وسایل باکیفیت نامناسب از مشکلات موجود در این سامانه‌ها بوده است. سی‌وسه مرده و بایزیدی (۱۳۹۰) سامانه-های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت اجراشده در منطقه مهاباد را ارزیابی نمودند. ملاحظه شد یکی از دلایل اصلی پایین بودن یکنواختی توزیع و بازده آبیاری در این سامانه‌ها سرعت باد بالا در منطقه و عدم یکنواختی فشار در سامانه بوده است. سالمی و رضوانی (۱۳۹۵) با انجام پژوهشی در استان‌های اصفهان و همدان نتیجه گرفتند کمبود فشار و دبی آبپاش‌ها علت پائین بودن DU و CU در مزارع موردبررسی بودند. بهرامی و همکاران (۱۳۹۶) نتیجه گرفتند فرونشست عمقی، قدیمی بودن سامانه‌ها و کمبود فشار از علل اصلی کاهش یکنواختی توزیع در سامانه‌های آبیاری بارانی در استان فارس بود. طی پژوهشی در استان گلستان ملاحظه شد مهم‌ترین مشکلات سامانه‌های آبیاری بارانی ازنظر مدیریت و بهره‌برداری آگاهی ناکافی استفاده‌کنندگان از سامانه و برنامه‌ریزی آبیاری بود. برای مدیریت و راهبری صحیح از سامانه آبیاری بارانی، نیاز به آموزش مبانی جهت کسب آگاهی کلی از برنامه آبیاری در این سامانه است که در این زمینه متولیان امور باید گام‌های مؤثری بردارند (کیانی و همکاران، ۱۳۹۶).

کاظمی و همکاران (۱۳۹۸) سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک در شهرستان اقلید را مورد ارزیابی قراردادند. نتایج نشان داد با کاهش فواصل آبپاش‌ها و تنظیم فشار می‌توان یکنواختی توزیع را افزایش داد. میر بلوچ و همکاران (۱۳۹۹) پس از ارزیابی عملکرد سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت در خاش نتیجه گرفتند برای رفع مشکلات موجود بایستی لوازم و لوله‌های کهنه و خراب و آبپاش‌های معیوب از سامانه‌ها حذف گردد و به کشاورزان استفاده صحیح از سامانه‌ها آموزش داده شود. پژوهش حاضر برای شناخت مشکلات طراحی و بهره‌برداری از سامانه‌های آبیاری بارانی ویل موو و کلاسیک ثابت در تعدادی از مزارع استان سمنان و ارائه راهکارهای عملی برای بهبود عملکرد این سامانه‌ها صورت گرفت.

## مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال ۱۳۹۶ در مزارع استان سمنان انجام گرفت. این استان دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک است. به‌منظور ارزیابی سامانه‌های آبیاری اجراشده در این استان تعدادی از مزارع در شهرستان‌های مختلف استان سمنان با هماهنگی مدیریت آب‌وخاک سازمان جهاد کشاورزی استان سمنان و مدیریت‌های جهاد کشاورزی شهرستان‌های استان انتخاب شدند. پس از هماهنگی با کشاورزان مزارع منتخب موردبررسی قرار گرفتند. مشخصات مزارع در جدول ۱ آمده است. دفترچه طراحی پروژه‌های منتخب نیز از مدیریت آب‌وخاک تهیه و بررسی شد. برای بررسی وضعیت مدیریت بهره‌برداری از سامانه‌ها توسط زارعین با مراجعه و بازدید از سامانه‌ها، اطلاعات لازم اندازه‌گیری و برداشت شدند. بدین منظور پرسش‌نامه‌هایی تهیه شد و سؤالات موجود در این پرسش‌نامه‌ها نظیر ساعات آبیاری در طول فصل زراعی، تعداد آبیاری‌ها، حجم آب مصرفی و تغییرات سطح زیر کشت بعد از اجرای سامانه توسط بهره‌برداران پاسخ داده شد و قسمت دیگر آن شامل ضریب یکنواختی کریستیانسن (CU)، یکنواختی توزیع (DU) و راندمان پتانسیل کاربرد (PELQ)در سطح مزرعه اندازه‌گیری‌شد. برای بررسی ضریب یکنواختی کریستیانسن و یکنواختی توزیع از دستورالعمل انجمن مهندسین آمریکا ((ASAE استفاده شد. مشخصات آبپاش‌های مورداستفاده در جدول ۲ ارائه شده است.

**جدول ۱- مشخصات مزارع و سیستم‌های آبیاری بارانی مطالعه شده**

| نوع سیستم | شماره مزرعه | منطقه | سطح تحصیلات کشاورز | طول جغرافیایی | عرض جغرافیایی | محصول | مساحت (هکتار) | بافت خاک |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک | ۱ | شاهرود | دیپلم | ۵۴° ۵۶' ۵۶" E | ۳۶° ۲۲' ۱۱" N | گندم | ۴ | لومی |
| | ۲ | شاهرود | دیپلم | ۵۴° ۴۳' ۴۴" E | ۳۶° ۲۸' ۴۶" N | یونجه | ۱۵ | لومی شنی |
| | ۳ | مهدیشهر | دیپلم | ۵۳° ۱۲' ۳۶" E | ۳۵° ۴۶' ۴۸" N | یونجه | ۵ | شنی لومی |
| | ۴ | دامغان | فوق‌لیسانس | ۵۴° ۲۶' ۱۳" E | ۳۶° ۰۶' ۵۷" N | یونجه | ۹ | لومی |
| | ۵ | سمنان | دیپلم | ۵۳° ۲۹' ۰۲" E | ۳۵° ۳۶' ۱۰" N | یونجه | ۱۱ | لومی شنی |
| ویل‌موو | ۶ | دامغان | دیپلم | ۵۴° ۲۰' ۴۶" E | ۳۵° ۵۶' ۳۸" N | یونجه | ۶۰ | لومی رسی |
| | ۷ | سمنان | لیسانس | ۵۳° ۲۸' ۱۵" E | ۳۵° ۳۶' ۰۶" N | یونجه | ۴ | شنی |
| | ۸ | بسطام | لیسانس | ۵۵° ۰۲' ۴۶" E | ۳۶° ۲۹' ۵۳" N | گندم | ۲۰ | لومی شنی |
| | ۹ | بسطام | لیسانس | ۵۵° ۰۲' ۴۲" E | ۳۶° ۲۹' ۲۸" N | چغندرقند | ۳۸ | لومی شنی |

**جدول ۲- مشخصات آبپاش‌های مورد استفاده**

| شماره مزرعه | نوع آبپاش | شعاع پاشش (متر) | فشار کاری (بار) | دبی (لیتر بر ثانیه) |
|---|---|---|---|---|
| ۱ | VYR60 | ۱۵/۷ | ۳/۵ | ۰/۵۰ |
| ۲ | VYR155 | ۲۰ | ۴/۵ | ۲/۵۰ |
| ۳ | AQ20 | ۱۶ | ۳/۱۶ | ۰/۷۲ |
| ۴ | ZM-22 | ۲۴ | ۳/۰ | ۲/۰۷ |
| ۵ | AMBO-PC | ۱۹/۵ | ۳/۰ | ۲/۰۲ |
| ۶ | VYR35 | ۱۶ | ۳/۵ | ۰/۶۶ |
| ۷ | Koala | ۱۵ | ۳/۲ | ۰/۴۷ |
| ۸ | VYR35 | ۱۶ | ۳/۵ | ۰/۶۶ |
| ۹ | VYR35 | ۱۶ | ۳/۵ | ۰/۶۶ |

**جدول ۳- محدوده مجاز شاخص‌های ارزیابی سامانه‌های آبیاری بارانی (درصد)**
(Merriam and Keller, 1978)

| ضریب یکنواختی | یکنواختی توزیع | راندمان پتانسیل کاربرد |
|---|---|---|
| ۸۱-۸۷ | ۶۷-۸۰ | ۶۵-۸۵ |

جهت ارزیابی سامانه آبیاری بارانی ویل موو و کلاسیک ثابت ۵۰ عدد قوطی در شبکه مربعی ۳×۳ در فاصله بین سه آبپاش متوالی چیده شد، به‌طوری‌که آبپاش وسط در مرکز شبکه قوطی‌ها قرار گرفت و قوطی‌ها در دو طرف این آبپاش تا آبپاش مجاور چیده شدند. قوطی‌ها استوانه‌ای شکل به قطر ۱۵ و ارتفاع ۱۵ سانتیمتر بودند. آزمایش در مدت یک ساعت انجام شد. پس از پایان آزمایش با توجه به عمق آب جمع شده در قوطی‌ها پارامترهای موردنیاز محاسبه گردید. محدوده مجاز و توصیه‌شده شاخص‌های فوق در جدول ۳ ارائه شده است. فشار و قطر دایره پاشش نیز اندازه‌گیری شد. فشار با استفاده از لوله پیتو و فشارسنج متصل به آن اندازه‌گیری شد. برای تعیین قطر پاشش نیز قطر ناحیه خیس شده توسط آبپاش بر روی زمین با متر اندازه‌گیری شد. ضریب یکنواختی (CU) مطابق معادله کریستیانسن با استفاده از معادله ۱ محاسبه شد:

$$CU=100\times\left[1-\frac{\Sigma|D_i-D|}{nD}\right] \qquad (۱)$$

که در آن CU ضریب یکنواختی کریستین سن به درصد، Di عمق آب در هرکدام از قوطی‌های نمونه‌برداری در اطراف آبپاش (mm)، $\bar{D}$ متوسط عمق آب جمع شده در قوطی‌ها (mm) و n تعداد قوطی‌های آزمایش می‌باشد. یکنواختی توزیع (DU) از تقسیم میانگین وزنی ربع پایین بر عمق میانگین کل نمونه‌ها بدست می‌آید (معادله ۲).

$$DU=\frac{D_q}{\bar{D}}\times 100 \quad (۲)$$

که در این معادله DU یکنواختی توزیع (درصد)، $D_q$ متوسط عمق آب در ۲۵ درصد از قوطی‌هایی که کمترین عمق آب را دریافت کرده‌اند (mm) و $\bar{D}$ متوسط عمق آب در قوطی‌های نمونه‌گیری (mm) می‌باشد. از راندمان پتانسیل آب در ربع پایین، برای مطابقت وضعیت سیستم باحالت مدیریت خوب، وقتی‌که عمق آبیاری به‌صورت مطلوب انتخاب‌شده باشد، استفاده می‌شود. راندمان پتانسیل آب در ربع پایین با استفاده از معادله ۳ محاسبه می‌شود:

$$PELQ = \frac{Z_{lq.MAD}}{D_{MAD}} \times 100 \quad (۳)$$

که عوامل موجود در معادله عبارت‌اند از: $Z_{lq.MAD}$ یا میانگین عمق آب نفوذیافته در ربع پایین اراضی، زمانی که SMD جبران شده باشد (mm) و $D_{MAD}$ یا متوسط عمق آب کاربردی زمانی که MAD جبران شده باشد (mm).

تلفات تبخیر و بادبردگی از معادله ۴ محاسبه شد.

$$\text{تلفات تبخیر و بادبردگی} = DU- PELQ \quad (۴)$$

که در آن DU یکنواختی توزیع و PELQ راندمان پتانسیل کاربرد می‌باشد. در روش آبیاری بارانی باتوجه به تعداد آبپاش-هایی که همزمان کار می‌کردند و دبی هر آبپاش و مدت زمان آبیاری در طول فصل زراعی حجم آب آبیاری تعیین شد. برای روش آبیاری سطحی هم با توجه به دبی آب و مدت زمان آبیاری حجم آب آبیاری بدست آمد.

## نتایج و بحث

مدیریت و بهره‌برداری صحیح از سامانه‌ها در کنار طراحی و اجرای درست آن‌ها ضامن موفقیت و کارایی مناسب سامانه خواهد بود. لذا کشاورز یا بهره‌بردار باید در زمینه مدیریت استفاده از سامانه اطلاعات کافی داشته باشد. همان‌گونه که در جدول ۴ ملاحظه می‌شود در پروژه‌های موردبررسی آموزش‌های لازم در مورد بهره‌برداری از سامانه توسط شرکت‌های طراح و مجری ارائه نشده بود. یکی از عوامل مهم در کارایی مناسب یک سامانه آبیاری تحت‌فشار برنامه‌ریزی صحیح آبیاری و استفاده از حجم مناسب آبیاری در زمان لازم است. جدول برنامه‌ریزی آبیاری که در دفترچه‌های طراحی سامانه وجود دارد به‌عنوان یک ابزار ساده و مؤثر در این زمینه مطرح هست. بهتر است جدول برنامه‌ریزی آبیاری برای استفاده بهره‌بردار در محل مناسب مانند ایستگاه پمپاژ بر روی دیوار نصب‌شده و نحوه استفاده از آن نیز به بهره‌بردار آموزش داده شود. مقدار آب داده‌شده را می‌توان با کنتور یا سایر وسایل اندازه‌گیری آب عبوری کنترل نمود. همچنین در سامانه کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک مطابق دفترچه طراحی لازم است بر روی هر لوله فرعی یک یا دو آبپاش کار کند که در برخی مزارع این مسئله رعایت نمی‌شد و بر روی لوله فرعی بیش‌ازحد مجاز آبپاش مورداستفاده قرار می‌گرفت که تنظیم فشار سامانه و درنتیجه یکنواختی پخش با مشکل مواجه می‌شد. لذا شرکت‌های طراح و مجری بایستی بعد از اجرای سامانه، آموزش‌های لازم را مطابق دفترچه طراحی بخصوص در مورد برنامه‌ریزی آبیاری به بهره-برداران ارائه کنند. لازم است ارائه این آموزش‌ها توسط مدیریت آب‌وخاک در سازمان جهاد کشاورزی استان‌ها به‌طورجدی نظارت و پیگیری شود و حتی قبل از انجام آن از تسویه‌حساب کامل با شرکت‌ها خودداری شود. در طول سال‌های بهره‌برداری از سامانه نیز آموزش کشاورزان و رفع ابهامات و اشکالات موجود بایستی تداوم داشته باشد. طبق نظر بهره‌برداران در کلیه پروژه‌ها بعد از اجرای سامانه‌های بارانی حجم آب مصرفی کاهش‌یافته است.

جدول ٤– کیفیت بهره‌برداری سامانه آبیاری بارانی براساس نظرات بهره‌بردار

| شماره مزرعه | آموزش‌درزمینه‌بهره‌برداری‌از سامانه | استفاده بهره‌بردار از برنامه‌آبیاری ارائه‌شده‌در دفترچه طراحی | کاهش حجم‌آب‌مصرفی بعدازاجرای‌سامانه‌آبیاری |
|---|---|---|---|
| ۱ | - | - | + |
| ۲ | - | - | + |
| ۳ | + | + | + |
| ۴ | - | - | + |
| ۵ | - | - | + |
| ۶ | - | - | + |
| ۷ | - | - | + |
| ۸ | - | - | + |
| ۹ | - | - | + |

همان‌گونه که در جدول ۵ ملاحظه می‌شود علیرغم اینکه پس از اجرای سامانه آبیاری بارانی نسبت به روش آبیاری سطحی به‌طور متوسط حدود ۲۸/۷ درصد در مصرف آب صرفه‌جویی شده است لکن در عمل آب صرفه‌جویی شده باعث تقویت منابع آبی نشده است و بجای آن طبق اطلاعات ارائه‌شده توسط بهره‌برداران سطح زیر کشت به‌طور متوسط حدود ۲۶/۲ درصد افزایش داشته است چراکه یکی از انگیزه‌های اصلی کشاورزان در اجرای آبیاری تحت‌فشار افزایش تولید از طریق افزایش سطح زیرکشت است. برای اینکه آب صرفه‌جویی شده برای تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی استفاده شود لازم است ضمن کنترل برداشت آب از منابع آب زیرزمینی، برای کشاورزان مشوق‌هایی نیز در نظر گرفته شود.

جدول ۵ - تغییرات حجم آب مصرفی و سطح زیرکشت بعد از اجرای سامانه آبیاری بارانی

| شماره مزرعه | منطقه | نوع سیستم | مساحت (هکتار) | حجم آب سطحی $(m^3/ha)$ | حجم آب بارانی $(m^3/ha)$ | آب صرفه‌جویی شده (%) | مساحت اضافه‌شده (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | شاهرود | کلاسیک | ۴ | ۹۱۱۸ | ۶۲۰۰ | ۳۲ | ۳۱ |
| ۲ | شاهرود | کلاسیک | ۱۵ | ۱۸۲۹۰ | ۱۲۶۲۰ | ۳۱ | ۲۸ |
| ۳ | مهدیشهر | کلاسیک | ۵ | ۱۷۶۰۰ | ۱۳۲۰۰ | ۲۵ | ۲۱ |
| ۴ | دامغان | کلاسیک | ۹ | ۱۸۱۸۳ | ۱۴۵۴۶ | ۲۰ | ۲۲ |
| ۵ | سمنان | کلاسیک | ۱۱ | ۱۸۷۲۳ | ۱۲۹۱۹ | ۳۱ | ۲۶ |
| ۶ | دامغان | ویل‌موو | ۶۰ | ۱۶۰۷۱ | ۱۱۲۵۰ | ۳۰ | ۲۸ |
| ۷ | سمنان | ویل‌موو | ۴ | ۱۸۵۳۰ | ۱۲۶۰۰ | ۳۲ | ۳۰ |
| ۸ | بسطام | ویل‌موو | ۲۰ | ۷۵۲۸ | ۵۴۲۰ | ۲۸ | ۲۶ |
| ۹ | بسطام | ویل‌موو | ۳۸ | ۱۶۲۵۴ | ۱۱۵۴۰ | ۲۹ | ۲۴ |

راندمان پایین پتانسیل کاربرد نشان‌دهنده ضعف در طراحی و اجرای سامانه‌ها می‌باشد که در برخی مواقع مسائل بهره‌برداری و اقتصادی نیز سبب این کاهش می‌گردد. فرسودگی آبپاش‌ها، ساییدگی نازل آبپاش‌ها، عدم تأمین فشار مناسب در سامانه و فاصله نامناسب آبپاش‌ها باعث پایین بودن ضریب یکنواختی و یکنواختی توزیع‌شده بود. از طرفی همان‌گونه که ملاحظه می‌گردد میزان تبخیر و بادبردگی ۱۱/۸ درصد می‌باشد که می‌تواند یکی از علل کاهش یکنواختی در سیستم‌های موردمطالعه باشد. استفاده از آبپاش‌های مناسب و نو و وجود فشار مناسب در سامانه‌های ۱، ۳، ۵، ۶، ۷ و ۹ باعث افزایش کارایی آن‌ها شده بود (جدول ۶). فاصله نامناسب آبپاش‌ها در برخی سامانه‌های کلاسیک باعث افت عملکرد سامانه شده بود به‌خصوص زمان وزش باد در وسط لوله‌های فرعی آب کافی به زمین نمی‌رسید. در برخی مزارع ملاحظه شد به سطح زیر کشت توصیه‌شده در دفترچه طراحی توجه نشده بود و سطح زیر کشت موجود بیشتر از مقدار طراحی‌شده

بود. در این وضعیت برنامه‌ریزی آبیاری در مزرعه با آنچه طراحی بر اساس آن صورت گرفته است متفاوت بود و نیاز آبی مزرعه تأمین نمی‌شد. به‌عنوان‌مثال در طرح شماره ۶ با ۲۵ لیتر بر ثانیه آب موجود، ۶۰ هکتار یونجه کشت‌شده بود درحالی‌که اگر هیدرومدول آبیاری بارانی را حدود ۰/۷ لیتر بر ثانیه در نظر بگیریم با این مقدار آب حدود ۳۵ هکتار قابل‌کشت است. در دفترچه طراحی نیز سطح زیر کشت برابر ۳۲ هکتار در نظر گرفته شده بود (علیزاده، ۱۳۸۵). در برخی پروژه‌ها بعد از تعویض آبپاش‌ها از مدل‌های دیگری استفاده شده بود که آبپاش‌های جدید آبدهی و قطر پاشش مناسبی نداشتند و باعث افت عملکرد سامانه شده بودند. در یکی از سامانه‌های ویل موو ملاحظه شد قطر روزنه آبپاش‌هایی که در انتهای لترال قرار گرفته بودند با استفاده از مته بزرگ‌تر شده بود زیرا بهره‌بردار معتقد بود در قسمت‌های انتهایی لترال افت فشار وجود داشت و آبدهی آبپاش‌ها کاهش می‌یافت. این کار باعث شده بود روزنه آبپاش‌ها از حالت استاندارد خود خارج شوند لذا به‌جای این کار بایستی نسبت به تأمین فشار لازم در سامانه اقدام نمود. همان‌گونه که در جدول ۶ دیده می‌شود سامانه ویل موو در طرح شماره ۹ نسبت به سایر سامانه‌های ویل موو و کلاسیک از عملکرد بهتری برخوردار بود که یکی از دلایل اصلی آن مهارت فنی و علمی بالای بهره‌بردار بود. مزیت سامانه ویل موو نسبت به سیستم کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک این است که هنگام وزش باد برای بهره‌بردار این امکان وجود دارد که میزان جابجایی دستگاه را به‌منظور افزایش یکنواختی آبیاری تغییر دهد. همچنین در این سامانه جهت لترال‌ها نسبت به جهت باد غالب منطقه با زاویه حدود ۴۵ درجه قرار گرفته بود که این حالت باعث کاهش تأثیر باد بر یکنواختی پخش می‌شد. همچنین طبق تجربه کشاورز بین ساعات ۱۲ تا ۱۸ بعدازظهر در مزرعه باد وجود داشت لذا در این ساعات آبیاری صورت نمی‌گرفت.

**جدول ٦- پارامترهای ارزیابی فنی سامانه‌های آبیاری بارانی مطالعه شده**

| نوع سیستم | شماره مزرعه | یکنواختی توزیع | ضریب یکنواختی | راندمان پتانسیل کاربرد | بادبردگی و تبخیر |
|---|---|---|---|---|---|
| | | (%) | | | |
| کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک | ۱ | ۸۷ | ۸۹ | ۷۶/۶ | ۱۰/۴ |
| | ۲ | ۴۳ | ۶۱ | ۳۳ | ۱۰ |
| | ۳ | ۶۴/۱ | ۶۸/۳ | ۵۳/۱ | ۱۱/۰ |
| | ۴ | ۵۲ | ۵۵/۴ | ۳۷/۵ | ۱۴/۵ |
| | ۵ | ۵۷/۴ | ۵۹/۶ | ۴۳/۸ | ۱۳/۶ |
| میانگین | | ۶۰/۷ | ۶۶/۷ | ۴۸/۸ | ۱۱/۹ |
| ویل‌موو | ۶ | ۷۲ | ۸۰ | ۵۸/۶ | ۱۳/۴ |
| | ۷ | ۶۲ | ۶۸ | ۵۰ | ۱۲ |
| | ۸ | ۵۱/۶ | ۵۴/۳ | ۳۸ | ۱۳/۶ |
| | ۹ | ۷۶/۲ | ۷۹/۸ | ۶۸/۷ | ۷/۵ |
| میانگین | | ۶۵/۵ | ۷۰/۵ | ۵۳/۸ | ۱۱/۶ |

## نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج این پژوهش مواردی که باعث بهبود عملکرد سامانه‌های آبیاری بارانی موردمطالعه می‌شوند در دو بخش طراحی و بهره‌برداری عبارت‌اند از:

الف) طراحی

با توجه به حساسیت سامانه آبیاری بارانی به باد در مناطق بادخیز که بادهای شدید در آنجا وجود دارد حتی‌المقدور از این سامانه نباید استفاده نمود.

برای کاهش تلفات بادبردگی بایستی لترال‌های آبیاری نسبت به جهت وزش باد غالب زاویه‌دار باشند و آبیاری در ساعاتی از شبانه‌روز انجام شود که باد کمتر است.

توجه ویژه به اندازه‌گیری سرعت نفوذ آب در خاک در هر مزرعه و انتخاب سرعت پخش آبپاش بر مبنای آن از ضروریات در طراحی سامانه بارانی است.

ب) بهره‌برداری

لازم است در ایستگاه پمپاژ فشار در حد فشار توصیه‌شده در دفترچه طراحی باشد.

سطح زیر کشت توصیه‌شده با توجه به مقدار آب موجود بایستی رعایت شود. افزایش بیش‌ازحد سطح زیر کشت باعث به هم خوردن برنامه آبیاری و ایجاد تنش شدید در مزرعه می‌شود. لازم است به بهره‌برداران در زمینه استفاده صحیح از سامانه آبیاری بارانی آموزش‌های لازم قبل و بعد از بهره‌برداری از سامانه ارائه شود و این کار توسط مدیریت آب و خاک در هر منطقه به‌طور دقیق پیگیری و نظارت شود.

جدول برنامه آبیاری برای استفاده بهره‌بردار باید در محل مناسبی مانند ایستگاه پمپاژ بر روی دیوار نصب‌شده، نحوه استفاده از آن نیز به بهره‌بردار آموزش داده شود.

قطر روزنه آبپاش‌ها با استفاده از مته یا هر وسیله دیگر تغییر داده نشود. در صورت ضرورت بایستی از نازل‌های جدید استفاده نمود.

آبپاش‌های فرسوده به‌موقع با آبپاش‌های نو و مشابه تعویض شوند.

از نشت آب در قسمت‌های مختلف سامانه بایستی جلوگیری شود بخصوص در سامانه کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک در محل اتصال رایزر به شیر خودکار نشت آب وجود داشت و در سامانه ویل موو نیز در محل اتصال لوله خرطومی به رایزر نشت آب دیده می‌شد.

هنگام تعویض آبپاش‌ها باید از آبپاش‌های مشابه آبپاش‌های قبلی استفاده نمود به‌طوری‌که آبدهی و قطر پاشش یکسان داشته باشند.

از بکار بردن هم‌زمان تعداد آبپاش بیشتر از آنچه در دفترچه طراحی توصیه شده است باید اجتناب نمود تا بتوان فشار لازم را در لترال‌ها تأمین نمود و از کاهش یکنواختی پخش آب جلوگیری نمود.

## مراجع


برادران هزاوه، پ.، برومندنسب، س.، بهزاد، م.، و محسنی موحد ا. ۱۳۸۵. ارزیابی فنی سیستم‌های آبیاری بارانی اجراشده در شهرستان اراک. مجموعه مقالات همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی. دانشگاه شهید چمران اهواز. دانشکده مهندسی علوم آب. اهواز. اردیبهشت ماه.

بهرامی، م.، خواجه‌ای، ف.، دینـدارلو، ع. و دستورانی، م. ۱۳۹۶. ارزیابی فنی سامانه‌های آبیاری بارانی اجرا شده در برخی از دشت‌های استان فارس. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۲۴(۱): ۳۱۱-۳۱۷.

سالمی، ح.ر. و رضوانی، س.م. ۱۳۹۵. ارزیابی فنی سامانه آبیاری بارانی در شرایط زارعین (استان اصفهان و همدان). نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۲۳(۳): ۳۴۵-۳۵۰.

سی و سه مرده، م. و بایزیدی، م. ۱۳۹۰. ارزیابی فنی سامانه-های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت در مطالعه موردی استان آذربایجان غربی- مهاباد. مجله مهندسی منابع آب. ۴(۱): ۶۳-۷۰.

علیزاده، ا. ۱۳۸۵. طراحی سیستم‌های آبیاری تحت‌فشار. دانشگاه امام رضا.

کاظمی، س.، برومند نسب، س. و ایزدپناه، ز. ۱۳۹۸. ارزیابی فنی سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک در شهرستان اقلید- فارس. مجله علوم و مهندسی آبیاری. ۴(۱): ۱۸۱-۱۹۶.

کیانی، ع.ر.، شاکر، م. و طبرسا، ر. ۱۳۹۶. بررسی کارایی سامانه-های آبیاری بارانی اجرا شده در استان گلستان. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۲۴(۶): ۲۷۰-۲۵۷.

میربلوچ، م.ح.، دلبری، م. و پیری، ح. ۱۳۹۹. ارزیابی عملکرد سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک در شهرستان خاش. مجله مدیریت آب و آبیاری. ۱۰(۱): ۳۱-۴۴.

ASAE Sprinkler Irrigation Committee. 1995. ASAE Standards 1995. P:750-751.

Haman, D. and Yeagar, T. 2005. Field Evaluation of Container Nursery Irrigation Systems: Uniformity of water application in sprinkler systems. The University of Florida. Institute of Food and Agricultural Sciences (UF/IFAS).

Keller, J. and Bliesner, R. 1990. Sprinkler and trickle irrigation. Avi Book Co. Ltd. New York.

Ley, T. 2003. Irrigation System Evaluation. Washington State University Cooperative Extension.

Merriam, J.L. and Keller, J. 1978. Farm irrigation system evaluation: A guide for management. Department of Agricultural and Irrigation Engineering, United States University, Logan. PP: 271.

**Water Management in Agriculture**
**Vol. 7, No. 1, Spring and Summer 2020, 45-52**

**نشریه مدیریت آب در کشاورزی**
**جلد ۷، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۹، ص. ۵۲-۴۵**

# Evaluation and Comparison of the Performance of Wheel Move and Classic Sprinkler Irrigation Systems in Semnan Province

**N. Naderi[1*] and M. Akbari[2]**

## Abstract

Due to the water resources crisis in Semnan province the use sprinkler irrigation systems in this province, has been considered. It is necessary to evaluate the performance of sprinkler irrigation systems in order to identify the problems and increase their efficiency. The purpose of this study was to investigate and compare the performance of wheel move and classic systems with portable sprinkler irrigation systems in Semnan province in 2017. For this purpose, uniformity coefficient (CU), distribution uniformity (DU), application potential efficiency (PELQ), evaporation and wind losses and water volume were determined. The implementation of sprinkler irrigation systems had reduced water consumption by an average of 42%, but the area under cultivation had increased by an average of 22%. Potential application efficiency, uniformity and distribution coefficients for wheel move systems were 53.8%, 70.5% and 65.5% respectively and for classic systems with portable sprinkler were 48.8, 66.7 and 60.7% respectively. Replacing worn sprinklers and proper use of the wheel move system in windy conditions in farm No. 9 were factors in the better performance of this system. In classic systems with portable sprinkler, improper spacing of the sprinklers, low pressure of sprinklers and using the number of sprinklers more than the design limits on lateral had reduced the efficiency of this system, which can be improved by eliminating them. The results also showed that preventing water leakage in the systems, proper training of users and use of irrigation planning table will improve the performance of sprinkler irrigation systems.

**Keywords:** Efficiency, Sprinkler, Uniformity, Volume of water consumption

[1] Assistant Professor, Department of Agricultural Engineering Research, Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Semnan (Shahrood), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shahrood, Iran. (*Corresponding Author Email: Naderi7367@yahoo.com)
[2] Associate Professor, Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.
Received: 11 July 2020
Accepted: 7 August 2020

Water Management in Agriculture
Vol. 7, No. 1, Spring and Summer 2020, 53-64

نشریه مدیریت آب در کشاورزی
جلد ۷، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۹، ص. ۶۴-۵۳

مقاله علمی-پژوهشی

# شبیه‌سازی عملکرد و بهره‌وری آب گندم در دشت هندیجان با استفاده از مدل AquaCrop*

محمدعلی برزیکار [۱]، اصلان اگدرنژاد [۲]*، آرش تافته [۳] و نیازعلی ابراهیمی پاک [۴]

## چکیده

با توجه به اهمیت گیاه گندم، کاشت آن در بسیاری از دشت‌های استان خوزستان انجام می‌شود. لیکن شرایط کاشت برای این گیاه زراعی در همه دشت‌ها یکسان نیست؛ بنابراین نیاز است آزمایش‌های متعددی برای تعیین شرایط مناسب کاشت آن انجام شود. این آزمایش‌ها سبب صرف وقت و هزینه بسیاری می‌شوند. به همین دلیل استفاده از مدل‌های گیاهی مانند AquaCrop برای بررسی سناریوهای مختلف تأمین آب آبیاری و تاریخ کاشت بسیار ضروری است. براساس این هدف، پژوهش حاضر به‌منظور ارزیابی مدل AquaCrop و شبیه‌سازی عملکرد و بهره‌وری آب گندم در دشت هندیجان انجام شد. بدین منظور، داده‌های موردنیاز از ۹ زمین زراعی در طی دو سال زراعی (۱۳۹۵-۱۳۹۳) برداشت شد. بیشترین عملکرد گندم در این مطالعه برابر با ۱۶۲۶ کیلوگرم بر هکتار (با بهره‌وری آب ۰/۱۵ کیلوگرم بر مترمکعب) بود. نتایج صحت‌سنجی مدل AquaCrop نشان داد که این مدل برای شبیه‌سازی هر دو پارامتر عملکرد و بهره‌وری آب دچار خطای بیش‌برآوردی شد (≤۰ میانگین خطای اریب). دقت (≥۰٫۱ جذر میانگین مربعات نرمال شده) و کارایی (≤۰ کارایی مدل) این مدل برای شبیه‌سازی هر دو پارامتر مذکور مطلوب بود؛ بنابراین از این مدل برای شبیه‌سازی عملکرد و بهره‌وری آب گندم برای سه مقدار آب آبیاری ۳۰۰، ۵۰۰ و ۷۰۰ میلی‌متر در سه تاریخ کاشت دهه اول، دوم و سوم آبان استفاده شد. نتایج نشان داد که کاربرد آب آبیاری ۷۰۰ میلی‌متر و رعایت تاریخ کاشت دهه سوم آبان سبب دستیابی به عملکرد ۱۵۰۰ کیلوگرم بر هکتار و بهره‌وری آب ۰/۵ کیلوگرم بر مترمکعب شد.

**واژه‌های کلیدی:** تاریخ کاشت، سناریوهای آبیاری، مدل آب-محور، مدل‌سازی گیاهی

## مقدمه

گیاه زراعی گندم یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی ایران است که به‌طور متوسط ۴۵ درصد کالری و ۷۰ درصد پروتئین مصرفی مردم را تأمین می‌کند. با توجه به خصوصیات این گیاه، کاشت آن در همه استان‌ها انجام می‌شود. استان خوزستان نیز به دلیل دارا بودن رودخانه‌های بزرگ (Albaji et al., 2016)، یکی از مراکز مهم کاشت این گیاه زراعی محسوب می‌شود. علی‌رغم این موضوع، بهره‌وری آب برای این گیاه زراعی بسیار پایین است به‌طوری‌که اکثر محققان مقدار آن را بین ۰/۳ تا ۰/۵ کیلوگرم بر مترمکعب تخمین زده‌اند (Farahani and Oweis, 2008; Tavakoli et al., 2008). این مشکل ناشی از عدم رعایت مناسب مقدار آب مصرفی و تاریخ کاشت صحیح است. تأمین

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.
[۲] استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران. (* نویسنده مسئول: a_eigder@ymail.com)
[۳] استادیار، بخش آبیاری و فیزیک خاک، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
[۴] دانشیار، بخش آبیاری و فیزیک خاک، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
* مقاله مستخرج از پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته آبیاری و زهکشی - دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز
تاریخ دریافت: ۹۹/۵/۵
تاریخ پذیرش: ۹۹/۶/۲۶
DOR: 20.1001.1.24764531.1399.7.1.6.3

مقدار آب آبیاری مناسب در مراحل اولیه رشد و مرحله گلدهی تا دانه بستن سبب افزایش عملکرد و بهبود بهره‌وری آب می‌شود (Farahani and Oweis, 2008). از طرف دیگر، کاهش اتلاف آب در سایر دوره‌های رشد نیز به افزایش این شاخص کمک شایانی می‌کند (Blum, 2009; Farre and Faci, 2009; Geerts and Raes, 2009). تاریخ کاشت نامناسب نیز به دلیل عدم برنامه‌ریزی مناسب آبیاری اثر زیادی بر عملکرد گندم دارد. این موضوع به‌خصوص در شرایط خشک‌سالی اثر بیشتری پیدا می‌کند.

با توجه به اینکه مزارع بسیاری در استان خوزستان تحت کشت گندم هستند، هر کدام از آن‌ها مقدار آبیاری و تاریخ کاشت خاصی برای زراعت گندم دارند. این موضوع سبب شده است تا محققان نتوانند آزمایش‌های کاملی برای دستیابی به اهداف موردنظر انجام دهند. چون این آزمایش‌ها نیازمند صرف وقت و هزینه بسیار هستند. جهت رفع این مشکل، محققان مدل‌های گیاهی مختلفی را بسط داده‌اند تا با استفاده از آن‌ها بتوان سناریوهای مختلف تأمین آب را بر گیاهان زراعی بررسی کرد (Geerts and Raes, 2009). مدل AquaCrop ازجمله مهم‌ترین مدل‌های زراعی است که توسط سازمان خواروبار کشاورزی (فائو) بسط داده‌شده است و به دلیل سادگی، نیاز به داده‌های کمتر، کاربردی بودن و دقت قابل‌قبول نسبت به سایر مدل‌های رشد گیاهی برتری دارد (Heng et al., 2009). این مدل گیاهی تاکنون برای شبیه‌سازی رشد و عملکرد گیاهان زراعی مختلف مانند جو، ذرت، چغندرقند و ذرت مورداستفاده قرارگرفته است (Katerji et al., 2013; Masanganise et al., 2013; Hsiao et al., 2009; Heng et al., 2009).. در این تحقیقات مشاهده شد که دقت و کارایی این مدل برای شبیه‌سازی گیاهان زراعی قابل‌قبول بود. در تحقیقی دیگر که توسط گارسیا ویلا و فرس انجام شد، مدیریت آبیاری در مزارع جنوب اسپانیا موردبررسی قرار گرفت. این محققان با اعتماد به نتایج مدل AquaCrop، سناریوهای مختلفی را برای کاهش سطوح کشت و افزایش قیمت محصول بر اساس تغییرات مقدار آب در دسترس ارائه کردند (Garcia-Vila and Fereres, 2012). ابراهیمی‌پاک و همکاران (۱۳۹۸) با استفاده از مدل AquaCrop به شبیه‌سازی گیاه زراعی کلزا پرداختند و نشان دادند که این مدل دقت مناسبی برای تعیین عملکرد و بهره‌وری آب این گیاه زراعی داشت.

با توجه به خصوصیات مدل AquaCrop، از این مدل برای شبیه‌سازی گیاه زراعی گندم نیز استفاده‌شده است. به‌عنوان‌مثال، مخابلا و بولاک (Mkhabela and Bullock, 2012) از این مدل برای شبیه‌سازی عملکرد گندم در غرب کانادا استفاده کردند. نتایج به‌دست‌آمده از تحقیق ایشان نشان داد که مقدار $R^2$ برای شبیه‌سازی عملکرد توسط این مدل گیاهی برابر با ۰/۶۶ بود. به همین دلیل، این محققان گزارش کردند که توانایی مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی گندم قابل‌قبول بود. مبن و همکاران از این مدل برای شبیه‌سازی گندم در منطقه پنسیلوانیا استفاده کردند. این محققان نیز گزارش کردند که این مدل دقت مناسبی داشت (Mebane et al., 2013). سالمی و همکاران از مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی اثر کم‌آبیاری و آبیاری کامل بر عملکرد گندم استفاده کردند. این محققان نشان دادند که این مدل دقت بالایی برای شبیه‌سازی عملکرد این گیاه زراعی داشت. (Salemi et al., 2011). شمس نیا و پیرمرادیان عملکرد گندم را با استفاده از مدل AquaCrop در شرایط اقلیمی شیراز ارزیابی کردند. این محققان نشان دادند که دقت مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی این گیاه زراعی مطلوب بود (Shamsnia and Pirmoradian, 2013).

دشت هندیجان یکی از مناطق مهم کشت گندم در استان خوزستان می‌باشد که به دلیل شوری آب‌وخاک و عدم برنامه‌ریزی صحیح آبیاری، از عملکرد و بهره‌وری مصرف پایینی در کشت گندم برخوردار است. به همین دلیل لازم است راهکارهایی برای رفع این مشکلات ارائه شود. با توجه به‌مرور منابع، در این تحقیق ابتدا مدل AquaCrop تحت واسنجی و صحت‌سنجی قرار گرفت. سپس از این مدل برای شبیه‌سازی اثر تغییر عمق آبیاری و تاریخ کاشت بر عملکرد و بهره‌وری مصرف گندم استفاده شد.

## مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر با بررسی سه پایلوت اصلی طی سال‌های ۱۳۹۵-۱۳۹۳ در دشت هندیجان در استان خوزستان انجام شد.

این منطقه بین مختصات ۳۲ درجه ۴۹ دقیقه تا ۴۷ و ۴۹ شرقی و ۱۵ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۴۰ درجه و ۳۰ دقیقه شمالی قرار دارد. منبع اصلی آب این دشت رودخانه زهره است. خصوصیات اقلیمی محدوده طرح مانند دیگر نواحی دشت خوزستان در تابستان متأثر از توده‌های هوای گرم و خشک صحرایی آفریقا و بیابان‌های حجاز است. در سایر فصول تحت تأثیر آب‌وهوای مدیترانه‌ای، رطوبت نسبی آن بالا و بارندگی کمی اتفاق می‌افتد. از نظر تقسیم‌بندی اقلیمی، به روش دومارتن به‌عنوان منطقه خشک و به روش آمبرژه منطقه بیابانی گرم طبقه‌بندی‌شده است. بافت خاک در محدوده مورد مطالعه به‌طور عمده سنگین تا خیلی سنگین است. آب زیرزمینی دارای نوسان زیاد بوده و در بیشتر ایام سال در عمق کمی از سطح زمین قرار دارد که سبب زه‌دار شدن اراضی می‌گردد. هدایت الکتریکی آب آبیاری نیز برابر با ۳ دسی‌زیمنس بر متر است. کشت عمده این منطقه گندم آبی است و آب آبیاری در این مزارع به‌صورت سنتی و طی شش آبیاری تأمین می‌شود. مقدار عملکرد گندم در این منطقه بسیار پایین است و در اکثر مزارع کمتر از ۱ تن در هکتار است.

در این دشت سه مزرعه به‌عنوان پایلوت انتخاب شدند. این سه مزرعه طی سال‌های ۱۳۹۵-۱۳۹۳ مورد مطالعه قرار گفتند. سپس کلیه اطلاعات مورد نیاز مدل Aquacrop از قبیل اطلاعات اقلیمی (نظیر حداقل و حداکثر دمای منطقه، دمای روزانه، میزان بارندگی و ...)، اطلاعات گیاهی (نظیر تاریخ کاشت و برداشت، عملکرد و...)، اطلاعات خاک و اطلاعات مدیریت مزرعه و آبیاری (نظیر کیفیت آب آبیاری، زمان و مقدار آب آبیاری و...) در این مزارع تعیین شد. متوسط برخی خصوصیات خاک مزارع مورد مطالعه در جدول (۱) نشان داده شده است. در مدل AquaCrop، داده‌های برداشت‌شده از مزرعه وارد می‌شود و این مدل گیاهی از طریق رابطه (۱) مقدار عملکرد گندم را شبیه‌سازی می‌کند (Geerts et al., 2009).

$$\left(\frac{Y_x - Y_a}{Y_x}\right) = K_y\left(\frac{ET_x - ET_a}{ET_x}\right) \qquad (۱)$$

که در این رابطه، Yx و Ya به ترتیب مقدار بیشینه و واقعی عملکرد محصول، ETx و ETa به ترتیب مقدار بیشینه و واقعی تبخیر-تعرق گیاه و Ky ضریب نسبی میزان کاهش محصول نسبت به کاهش تبخیر-تعرق است. عملکرد و زیست‌توده کل نیز به ترتیب از روابط (۲) و (۳) محاسبه می‌شوند.

$$B = WP^*\left[\frac{Tr_i}{ET_{0,i}}\right] \qquad (۲)$$

$$Y = B \times HI \qquad (۳)$$

که در این روابط، Tr مقدار کل تعرق روزانه در طول فصل زراعی (رابطه ۴)، WP بهره‌وری آب، ETo تبخیر-تعرق گیاه مرجع، Y و B به ترتیب عملکرد و زیست‌توده خشک و HI شاخص برداشت است.

$$T_r = K_s \times CC \times K_c \times ET_0 \qquad (۴)$$

که در آن، Ks و Kc به ترتیب ضرایب تنش آبی و گیاهی و CC توسعه پوشش تاج از زمان جوانه‌زنی تا مقدار بیشینه (رابطه ۵) هستند.

$$CC = CC_0 \times e^{CGC.t} \qquad (۵)$$

که در این رابطه، CC پوشش تاج در مرحله توسعه گیاه (درصد)، CC0 پوشش تاج اولیه (درصد)، CGC ضریب رشد پوشش تاج (عکس روز) و t زمان (روز) می‌باشد. در این مدل، شدت تنش آبی (Ks) مؤثر بر توسعه پوشش تاج (CC)، هدایت روزنه‌ای (شدت تعرق در واحد CC)، پیری و کاهش پوشش تاج و شاخص برداشت به‌وسیله کسر تخلیه آب در ناحیه ریشه تعیین می‌شود. در واقع در صورت تنش آبی میزان تاج پوشش گیاهی کاهش‌یافته و به‌تبع آن میزان تعرق گیاه کاهش می‌یابد.

به‌منظور واسنجی مدل AquaCrop، از داده‌های برداشت‌شده در مزارع پایلوت مشابه استفاده شد. این اطلاعات به‌صورت تصادفی انتخاب شدند. بدین منظور ابتدا با استفاده از این اطلاعات

و براساس رابطه (۶)، تحلیل حساسیت انجام شد (Geerts et al., 2009).

$$Sc = \left|\frac{P_m - P_b}{P_b}\right| \times 100 \qquad (۶)$$

که در این رابطه، Sc ضریب حساسیت بدون بعد، Pm مقدار برآورد شده پارامتر مورد نظر براساس داده‌های ورودی تعدیل‌شده و Pb مقدار برآورد پارامتر مورد نظر براساس داده ورودی پایه می‌باشد. برای تحلیل حساسیت مدل به هر پارامتر، در هر مرحله یکی از عوامل ورودی مدل به مقدار ۲۵ درصد تغییر داده می‌شد و بقیه پارامترها ثابت نگه‌داشته می‌شدند (Geerts et al., 2009). در هر مرحله مقدار ضریب حساسیت در سه کلاس، Sc <۱۵ حساسیت بالا، ۱۵> Sc >۲ حساسیت متوسط، ۲> Sc حساسیت پایین طبقه‌بندی شد (Geerts et al., 2009). در مرحله واسنجی، پارامترهای با حساسیت متوسط و بالا آن‌قدر تغییر داده شدند تا مقادیر آماره‌های جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، جذر میانگین مربعات نرمال شده (NRMSE) و میانگین خطای اریب (MBE) به کمترین مقدار و کارایی مدل (EF)، شاخص توافق (d) و ضریب تبیین (R2) به بیشترین مقدار ممکن رسیدند. سپس صحت‌سنجی با استفاده از داده‌های زراعی سال‌های دوم و سوم انجام شد و آماره‌های اشاره‌شده انجام شد. این آماره‌ها به ترتیب در روابط (۷) تا (۱۲) نشان داده‌شده‌اند.

**جدول ۱- متوسط برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک سه مزرعه موردمطالعه**

| عمق (سانتی‌متر) | هدایت هیدرولیکی اشباع (میلی‌متر بر ساعت) | EC (دسی‌زیمنس بر متر) | pH (-) | رطوبت حجمی در ظرفیت زراعی (سانتی‌متر مکعب بر سانتی‌متر مکعب) | رطوبت حجمی در نقطه پژمردگی دائم (سانتی‌متر مکعب بر سانتی‌متر مکعب) | جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب) | بافت خاک |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۰-۳۰ | ۲/۶ | ۱۲/۹ | ۷/۱ | ۰/۳۳ | ۰/۲۱ | ۱/۲۹ | سیلتی‌رسی |
| ۳۰-۶۰ | ۳/۲ | ۷/۶ | ۷/۴ | ۰/۳۲ | ۰/۱۹ | ۱/۲۹ | سیلتی‌رسی |
| ۶۰-۹۰ | ۲/۴ | ۶/۰ | ۷/۵ | ۰/۳۵ | ۰/۲۲ | ۱/۲۷ | سیلتی‌رسی |

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{n}} \qquad (۷)$$

$$NRMSE = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{n}}}{\overline{O_i}} \qquad (۸)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i}^{n}\left(P_i - O_i\right)}{n} \qquad (۹)$$

$$EF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \overline{O})^2} \qquad (۱۰)$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(|P_i| + |O_i|)^2} \qquad (۱۱)$$

$$R^2 = \frac{\left(\sum(P_i - \overline{P})(O_i - \overline{O})\right)^2}{\sum(P_i - \overline{P})^2 \sum(O_i - \overline{O})^2} \qquad (۱۲)$$

در این روابط، $P_i$ مقدار شبیه‌سازی‌شده، $O_i$ مقدار اندازه‌گیری شده، $\overline{P}$ میانگین مقادیر شبیه‌سازی‌شده، $\overline{O}$ 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 نشان‌دهنده‌ی

دقت عالی مدل است. هم‌چنین مقادیر این آماره در بازه‌های ۰/۲- ۰/۱، ۰/۳-۰/۲ و بیشتر از ۰/۳ به ترتیب نشان‌دهنده‌ی دقت خوب، متوسط و ضعیف است. مقدار مثبت آماره MBE نشان‌دهنده این است که مدل‌های رشد گیاهی مقدار عامل مورد نظر را بیشتر از مقدار واقعی برآورد کرده است و مقادیر منفی بیانگر این است که مدل در برآورد عامل مورد نظر عدد کوچک‌تری به دست داده است. مقادیر آماره‌های EF و d نشان‌دهنده صحت برازش داده‌ها می‌باشد و از مقدار منفی بی‌نهایت در بدترین حالت تا یک در زمان برازش کامل داده‌ها متغیر است. مقدار R2 از صفر تا یک تغییر می‌کند و هر چه به یک نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده برازش بهتر داده‌ها می‌باشد.

پس از واسنجی، صحت‌سنجی با استفاده از این مدل انجام شد. به‌منظور صحت‌سنجی، از اطلاعات برداشت‌شده از سه مزرعه مطالعاتی در دشت هندیجان طی سال‌های ۱۳۹۵-۱۳۹۳ استفاده شد. این اطلاعات شامل مقادیر آب آبیاری، خصوصیات خاک مزارع، تاریخ کاشت، داشت و برداشت گندم و خصوصیات هواشناسی منطقه بود. با استفاده از این پارامترها، میزان عملکرد و بهره‌وری آب برای مقادیر مختلف آب آبیاری در هر سه پایلوت مورد مطالعه تعیین شد. سپس با استفاده از مدل AquaCrop، دو تیمار تغییر مقدار آب آبیاری (I1: ۳۰۰، I2: ۵۰۰، I3: ۷۰۰ میلی‌متر) و تاریخ کاشت (T1: ۵ آبان، T2: ۱۵ آبان و T3: ۲۵ آبان) مورد مطالعه قرار گرفتند. انتخاب این تیمارها براساس مقدار آب آبیاری عرف منطقه مورد مطالعه و تاریخ کاشت گندم در دشت هندیجان بود. مقدار آب آبیاری برای تیمارهای I3-I1 با در نظر گرفتن شش آبیاری در طول فصل رشد و در نظر گرفتن نیاز آب آبیاری گندم در دوره رشد بود.

## نتایج و بحث

تحلیل حساسیت پارامترهای ورودی مدل AquaCrop پیش از واسنجی انجام شد و برخی نتایج آن در جدول ۲ نشان داده شده است. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که این مدل نسبت به تغییرات اکثر پارامترهای ورودی حساسیت متوسط داشت. تغییرات برخی پارامترها نیز مانند ضریب گیاهی برای تعرق بر خروجی این مدل حساسیت تقریباً بالایی داشت. پارامترهایی که دارای حساسیت بیشتر از مقدار دو بودند تحت واسنجی قرار گرفتند. نتایج آن در جدول ۳ نشان داده شده است. برخی پارامترها در این جدول برابر با مقدار پیش‌فرض در نظر گرفته شد. این پارامترها برای گیاه زراعی گندم در هر منطقه ثابت است. برخی پارامترها مانند مدت‌زمان کاشت تا دوره‌های مختلف گیاهی نیز با اندازه‌گیری مزرعه‌ای تعیین شدند.

**جدول ۲- ضریب حساسیت برخی عوامل ورودی مدل‌های رشد گیاهی AquaCrop برای شبیه‌سازی عملکرد گندم**

| پارامتر | مقدار Sc در حالت ۲۵٪+ | مقدار Sc در حالت ۲۵٪- | درجه حساسیت |
|---|---|---|---|
| رطوبت در ظرفیت زراعی | ۱/۵ | ۴/۶ | کم-متوسط |
| رطوبت در نقطه پژمردگی | ۱/۳ | ۱/۵ | کم-کم |
| رطوبت در حالت اشباع | ۱/۸ | ۲/۴ | کم-متوسط |
| ضریب گیاهی برای تعرق | ۹/۶ | ۸/۸ | متوسط-متوسط |
| عمق مؤثر ریشه | ۳/۷ | ۵/۶ | متوسط-متوسط |
| حد بالا ضریب تخلیه آب خاک برای توسعه گیاه | ۷/۲ | ۳/۳ | متوسط-متوسط |
| حد پایین ضریب تخلیه آب برای توسعه گیاه | ۳/۹ | ۶/۷ | متوسط-متوسط |

**جدول ۳- مقادیر عوامل گیاهی مورداستفاده در مدل‌های رشد گیاهی AquaCrop**

| توضیح عامل | مقدار | واحد | توضیح |
| --- | --- | --- | --- |
| مدل AquaCrop | | | |
| دمای پایه | ۰ | درجه سانتی‌گراد | پیش‌فرض |
| دمای بالا | ۲۶ | درجه سانتی‌گراد | پیش‌فرض |
| ضریب رشد کانوپی | ۴/۹ | درصد روز | پیش‌فرض |
| پوشش گیاهی هر نهال هنگام جوانه‌زنی | ۱/۵ | سانتی‌متر مربع | پیش‌فرض |
| عمق مؤثر ریشه | ۰/۳۵ | متر | اندازه‌گیری |
| مدت‌زمان کاشت تا جوانه‌زنی | ۱۴ | روز | اندازه‌گیری |
| مدت‌زمان کاشت تا بیشینه رشد کانوپی | ۱۰۵ | روز | اندازه‌گیری |
| مدت‌زمان کاشت تا دوره پیری | ۱۴۵ | روز | اندازه‌گیری |
| مدت‌زمان کاشت تا برداشت محصول | ۱۶۵ | روز | اندازه‌گیری |
| بهره‌وری آب نرمال شده | ۱۴ | گرم بر مترمربع | واسنجی |
| بیشینه رشد کانوپی | ۹۲ | درصد | واسنجی |
| حد بالا ضریب تخلیه آب خاک برای توسعه گیاه | ۰/۲۳ | – | واسنجی |
| حد پایین ضریب تخلیه آب برای توسعه گیاه | ۰/۶۷ | – | واسنجی |
| ضریب رشد پوشش | ۵/۷ | درصد روز | پیش‌فرض |
| ضریب کاهش پوشش | ۸/۱ | درصد روز | واسنجی |
| حداکثر ضریب گیاهی برای تعرق | ۱/۰۵ | درصد بر روز | واسنجی |
| ضریب شکل برای ضریب تنش آبی جهت بسته شدن روزنه‌ها | ۲/۲ | – | واسنجی |
| ضریب شکل برای ضریب تنش آبی برای مرحله پیری | ۲/۸ | – | واسنجی |

نتایج آماری مقایسه نتایج مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده در جدول ۴ نشان داده شده است. براساس این نتایج، مدل AquaCrop در مرحله واسنجی دچار خطای بیش‌برآوردی بر شبیه‌سازی عملکرد و بهره‌وری آب شد. مقادیر این خطا براساس آماره RMSE به ترتیب برابر با ۰/۴ تن و ۰/۰۳ کیلوگرم بر مترمکعب آب مصرفی بود. این نتایج به همراه مقادیر به‌دست‌آمده برای آماره NRMSE نشان داد که دقت این مدل برای شبیه‌سازی این دو پارامتر در محدوده ۰/۱-۰ و رتبه عالی بود. مقادیر آماره EF برای عملکرد و بهره‌وری آب به ترتیب برابر با ۰/۶۰ و ۰/۰۸ و مقادیر d برای این دو پارامتر به ترتیب برابر با ۰/۹۹ و ۰/۹۹ بود؛ بنابراین، کارایی این مدل برای شبیه‌سازی دو پارامتر مذکور، براساس دو آماره EF و d، نیز قابل‌قبول بود (جدول ۴). نتایج به‌دست‌آمده از مرحله صحت‌سنجی نیز نشان داد که مقدار آماره MBE برای عملکرد و بهره‌وری آب بزرگ‌تر از صفر بود. درنتیجه این مدل برای شبیه‌سازی عملکرد و بهره‌وری آب دچار خطای بیش‌برآوردی شد (جدول ۴). مقدار آماره NRMSE برای شبیه‌سازی عملکرد و بهره‌وری آب مورد بین ۰/۱-۰ قرار داشت در نتیجه دقت این مدل برای شبیه‌سازی این دو پارامتر عالی بود. مقادیر EF و d برای عملکرد به ترتیب برابر با ۰/۲۵ و ۰/۹۹ و برای بهره‌وری آب به ترتیب برابر با ۰/۱۰ و ۰/۹۸ بود (جدول ۴). درنتیجه کارایی به‌دست‌آمده برای شبیه‌سازی عملکرد و بهره‌وری آب توسط مدل AquaCrop نیز قابل‌قبول بود. براساس این نتایج، می‌توان به‌دقت و کارایی این گیاهی اعتماد کرد.

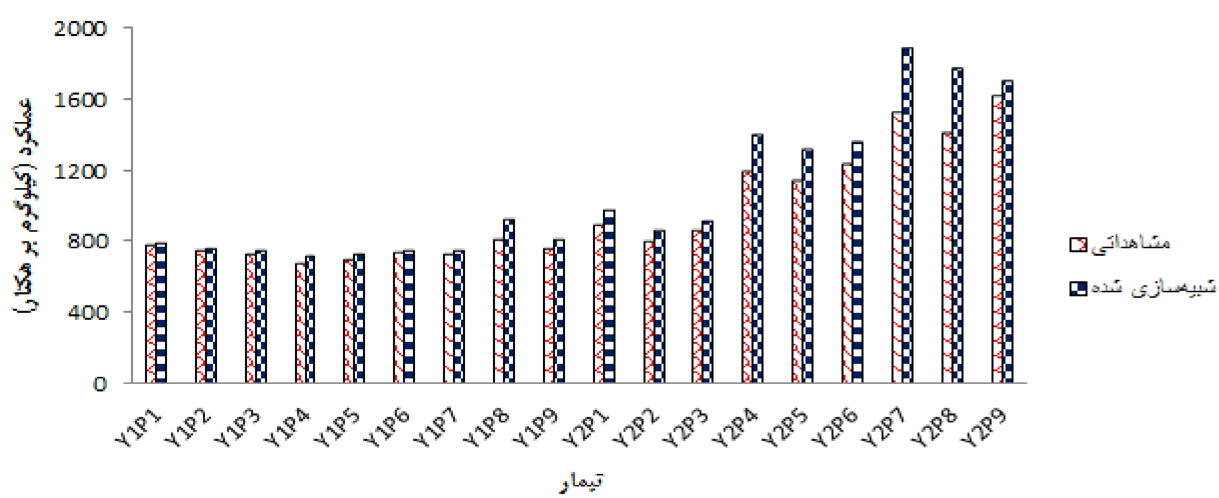
نتایج به‌دست‌آمده برای مقایسه عملکرد مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده در شکل ۱ نشان داده‌شده است. براساس این نتایج، عملکرد مشاهداتی در سال دوم بیشتر از سال اول بود. به نظر می‌رسد دلیل آن وقوع بارش بیشتر در سال دوم بود. همچنین، در پایلوت‌های ۷ الی ۹، مقدار عملکرد بیشتر از سایر پایلوت‌ها بود. به نظر می‌رسد این اختلاف به دلیل مقدار آبیاری بیشتر در این سه پایلوت بود. با توجه به شوری بالای آب آبیاری و خاک مزرعه

(جدول ۱) و عدم تأمین کافی نیاز آبی گندم در طول دوره رشد، مقدار عملکرد گندم در سه پایلوت مورد مطالعه بسیار پایین بود. به‌طوری‌که مقدار عملکرد بیشتر از ۲ تن در هکتار مشاهده نشد. مقادیر شبیه‌سازی‌شده عملکرد در این پایلوت‌ها بیشتر از مقادیر مشاهداتی بود. این نتایج در جدول ۵ نیز تأیید شده بود. با افزایش مقدار آب آبیاری، عملکرد محصول نیز با شیب بالایی افزایش یافت (شکل ۲). به دلیل شوری بالای محیط کشت، آب آبشویی برای متعادل کردن محیط رشد گیاه لازم است. به همین دلیل، با افزایش آب آبیاری، عملکرد نیز افزایش یافت. مدل AquaCrop در شبیه‌سازی عملکرد، به‌طور متوسط دچار ۸ درصد خطا شد. این نتایج با مشاهدات محققانی مانند هنگ و همکاران (Heng et al., 2009) و اندرزیان و همکاران (Andarzian et al., 2011) مطابقت داشت. بنابراین، این مقدار برای این مدل قابل‌قبول است.

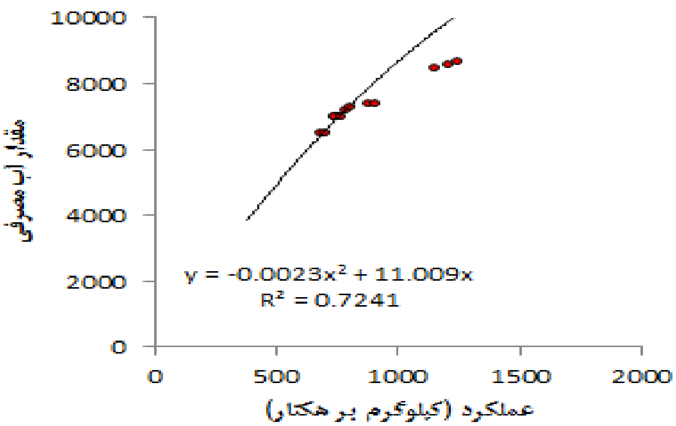
نتایج به‌دست‌آمده برای بهره‌وری آب در شکل ۳ مشاهده می‌شود. با افزایش مقدار آب آبیاری یا عملکرد دانه، در هر دو سال، بهره‌وری آب نیز دستخوش تغییرات شده است. بااین‌وجود، در هیچ‌کدام از پایلوت‌ها مقدار این پارامتر بیشتر از ۰/۲ کیلوگرم بر مترمکعب نشد. این مقدار کمتر از حد گزارش‌شده برای گندم در دشت‌های کشور است (Tavakoli and Oweis, 2008). این موضوع به دلیل عملکرد پایین گندم و بالا بودن مصرف آب آبیاری است. مقایسه نتایج شبیه‌سازی‌شده و مشاهداتی بهره‌وری آب نیز نشان داد که مدل AquaCrop به‌طور متوسط دچار خطایی برابر با ۷ درصد شد.

**جدول ٤- نتایج آماره‌های مختلف برای عملکرد و بهره‌وری آب در مرحله‌های واسنجی و صحت‌سنجی**

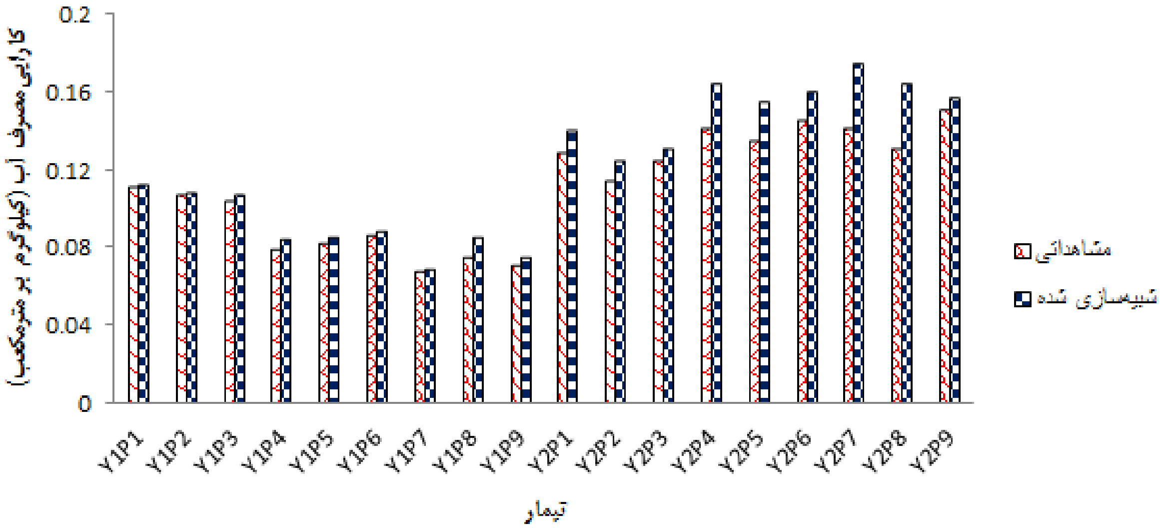
| مرحله از شبیه‌سازی | پارامتر | MBE | RMSE | NRMSE | EF | d |
|---|---|---|---|---|---|---|
| واسنجی | عملکرد (کیلوگرم بر هکتار) | ۹ | ۴۰ | ۰/۰۴ | ۰/۶۰ | ۰/۹۹ |
| | بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب) | ۰/۰۱ | ۰/۰۳ | ۰/۰۲ | ۰/۰۸ | ۰/۹۹ |
| صحت‌سنجی | عملکرد (کیلوگرم بر هکتار) | ۱۵ | ۴۵ | ۰/۰۵ | ۰/۲۵ | ۰/۹۹ |
| | بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب) | ۰/۰۲ | ۰/۰۶ | ۰/۰۴ | ۰/۱۰ | ۰/۹۸ |



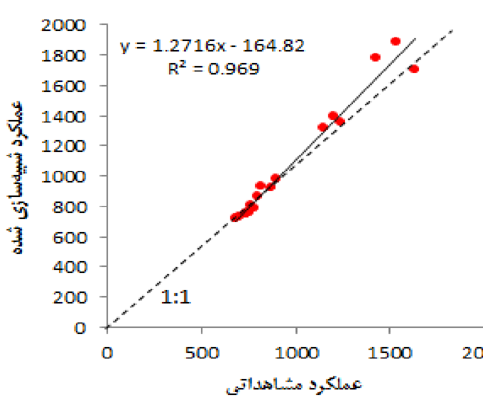

**شکل ۱-مقایسه عملکرد مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده توسط مدل AquaCrop در صحت سنجی (P نشان‌دهنده شماره پایلوت و Y نشان‌دهنده سال برداشت است)**




**شکل ۲-همبستگی بین عملکرد مشاهداتی و مقدار آب مصرفی در سال دوم**

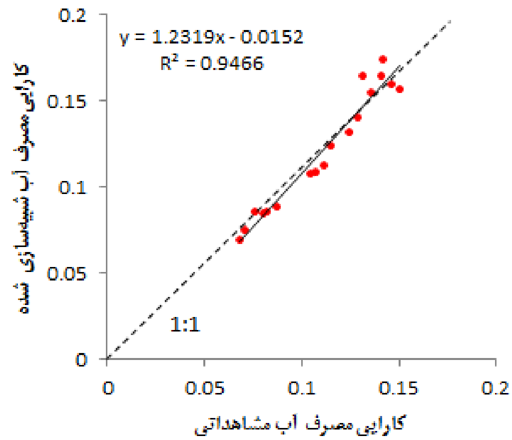



**شکل ۳-مقایسه بهره‌وری آب مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده توسط مدل AquaCrop در صحت سنجی (P نشان‌دهنده شماره پایلوت و Y نشان‌دهنده سال برداشت است)**




**شکل ٤-همبستگی بین مقادیر عملکرد مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده در صحت سنجی**

آب گندم به ترتیب در شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است. بر اساس این نتایج، مدل AquaCrop قابلیت بالایی برای پیروی از تغییرات عملکرد و بهره‌وری آب در پایلوت‌های موردمطالعه داشت. این نتایج نشان داد که اگر عملکرد گندم مشاهداتی کمتر از ۱۳۲ کیلوگرم در هکتار باشد، مدل AquaCrop دچار خطای کم‌برآوردی می‌شود. با توجه به اینکه در همه پایلوت‌ها عملکرد گندم بیشتر از این مقدار بود؛ این مدل همیشه خطای بیش‌برآوردی دارد. همچنین اگر بهره‌وری آب گندم کمتر از ۰/۰۱ کیلوگرم بر مترمکعب باشد، این مدل دچار خطای کم‌برآوردی می‌شود.

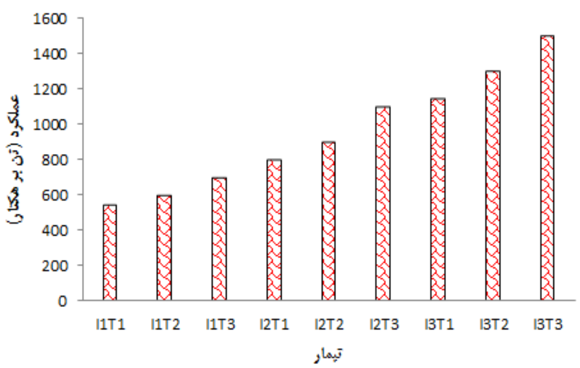



**شکل ۵-همبستگی بین مقادیر بهره‌وری آب مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده در صحت سنجی**

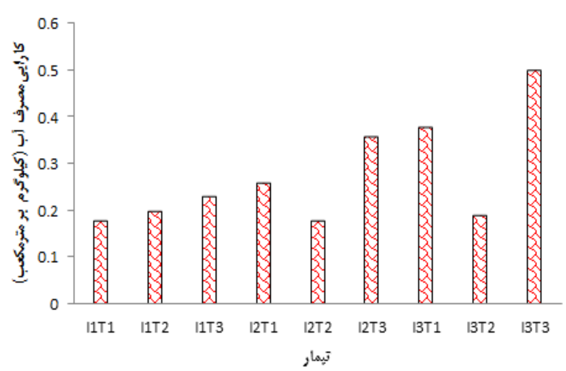
تیمارهای تغییر مقدار آب آبیاری و تاریخ کاشت با استفاده از این مدل بررسی شد (شکل‌های ۷ و ۸). براساس نتایج به‌دست‌آمده، با افزایش مقدار آب آبیاری، عملکرد گندم نیز افزایش یافت. به‌طوری‌که با تغییر مقدار آب آبیاری از I1 به I3، عملکرد گندم به‌طور متوسط ۴۰ درصد افزایش یافت.

با توجه به حساسیت گندم در دوره‌های ابتدایی کاشت و گلدهی به کم‌آبیاری (Tavakoli and Oweis, 2008)، میزان بارندگی در طول فصل رشد اهمیت بسیاری بر عملکرد آن دارد. با توجه به بالا بودن شوری آب آبیاری و خاک مزرعه در سه پایلوت موردمطالعه، به نظر می‌رسد بارندگی سهم بسزایی در افزایش رشد و عملکرد گندم داشت. این موضوع با توجه به شکل ۹ نیز قابل تفسیر است. بر اساس شکل ۹، مقدار بارش در ابتدای فصل رشد بسیار کمتر از سایر ماه‌های دوره رشد است. بیشترین بارش در ماه آذر و کمترین بارش در اسفند رخداده است. به همین دلیل، تغییر تاریخ کاشت گندم به دهه سوم آبان، در هر سه مقدار آب آبیاری، سبب افزایش عملکرد گندم شد.

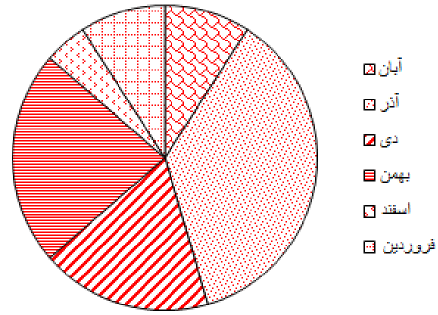
با توجه به اینکه مقادیر عملکرد مشاهده‌شده برای همه تیمارها بیشتر از ۱۳۲ کیلوگرم در هکتار بود؛ می‌بایست خطای بیش‌برآوردی مدل AquaCrop را پذیرفت. با فرض متوسط خطای ۴۵ کیلوگرم برای این مدل (جدول ۴)، در نظر گرفتن تیمار I3T3 سبب به دست آمدن ۱۴۵۵ کیلوگرم بر هکتار گندم می‌شود. با توجه به اینکه در اکثر مزارع تحت کشت در این منطقه، مقدار عملکرد گندم کمتر از یک تن در هکتار است؛ این مقدار از اکثر پایلوت‌های مورد مطالعه در دشت هندیجان بیشتر بود. میزان بهره‌وری آب برای این تیمار برابر با ۰/۵ کیلوگرم بر مترمکعب بود که از کلیه پایلوت‌های موردمطالعه در این دشت بیشتر بود (شکل ۸). مقدار بهره‌وری آب برای دو تیمار I2T3 و I3T1 نیز بین ۰/۳ تا ۰/۵ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمد. درنتیجه با مقدار آب آبیاری برابر با I1، نمی‌توان انتظار دستیابی بهره‌وری آب در محدوده اشاره‌شده را داشت. گرچه عملکرد گندم در تیمار I3T2 بیشتر از I3T1 بود؛ لیکن به دلیل اثرگذاری هر دو عامل عملکرد و مقدار آب مصرفی بر بهره‌وری آب؛ تیمار I3T2 نتیجه قابل قبولی نداشت.




**شکل ۷-عملکرد شبیه‌سازی‌شده برای تیمارهای مختلف (I1، I2 و I3 به ترتیب نشان‌دهنده مقدار ۳۰۰، ۵۰۰ و ۷۰۰ میلی‌متر آب آبیاری و T1، T2 و T3 به ترتیب نشان‌دهنده تاریخ کاشت در دهه اول، دهه دوم و دهه سوم آبان است).**




**شکل ۸-بهره‌وری آب شبیه‌سازی‌شده برای تیمارهای مختلف (I1، I2 و I3 به ترتیب نشان‌دهنده مقدار ۳۰۰، ۵۰۰ و ۷۰۰ میلی‌متر آب آبیاری و T1، T2 و T3 به ترتیب نشان‌دهنده تاریخ کاشت در دهه اول، دهه دوم و دهه سوم آبان است).**




**شکل ۹-میانگین بارش بیست‌ساله در منطقه مورد مطالعه (درصد)**

## نتیجه‌گیری

در این تحقیق به بررسی عملکرد و بهره‌وری آب گندم در دشت هندیجان پرداخته شد. نتایج نشان داد که در این منطقه، عملکرد گندم عمدتاً کمتر از ۱ تن در هکتار و بهره‌وری آب کمتر از ۰/۱۵ کیلوگرم بر مترمکعب است. علت آن احتمالاً به دلیل شوری آب آبیاری و خاک مزارع و عدم کاربرد عمق مناسب آب آبیاری است؛ بنابراین، برای بهبود این دو پارامتر، از مدل واسنجی-صحت‌سنجی شده AquaCrop استفاده شد. بدین منظور، دو تیمار مقدار آب آبیاری (I1: ۳۰۰، I2: ۵۰۰، I3: ۷۰۰ میلی‌متر) و تاریخ کاشت (T1: ۵ آبان، T2: ۱۵ آبان و T3: ۲۵ آبان) در این منطقه مورد مطالعه قرار گرفتند. با اعتماد به نتایج مدل AquaCrop، شبیه‌سازی عملکرد و بهره‌وری آب گندم برای مقادیر آب آبیاری ۳۰۰، ۵۰۰ و ۷۰۰ میلی‌متر تحت سه تاریخ کاشت دهه اول، دهه دوم و دهه سوم آبان انجام شد. نتایج نشان داد که با اعمال آب آبیاری ۷۰۰ میلی‌متر و کاشت گندم در دهه سوم آبان، عملکرد این گیاه زراعی به ۱/۵ تن در هکتار و بهره‌وری مصرف آن به ۰/۵ کیلوگرم بر مترمکعب نزدیک می‌شود.

## مراجع

ابراهیمی‌پاک، ن.، اگدرنژاد، ا.، تافته، آ.، احمدی، م. ۱۳۹۸. ارزیابی مدل‌های WOFOST، AquaCrop و CropSyst در شبیه‌سازی عملکرد کلزا در منطقه قزوین، آبیاری و زهکشی، ۱۳(۳-۷۵): ۷۲۶-۷۱۵.

Albaji, M., Golabi, M., Hooshmand, A. R., Ahmadee, M. 2016. Investigation of surface, sprinkler and drip irrigation methods using GIS, Jordan Journal of Agricultural Science, 12(1): 211-222.

Andarziana B., Bannayanb M., Stedutoc P., Mazraeha H., Barati M. E., Barati, M. A. & Rahnama A. 2011. Validation, and testing of the AquaCrop model under full and deficit irrigated wheat production in Iran. Agricultural Water Management. 100:1-8.

Blum, F. A. 2009. Effective use of water (EUW) and not water-use efficiency (WUE) is the target of crop yield improvement under drought stress. Field Crops Research. 112: 119-123.

Farahani, H., and Oweis, T. 2008. Chapter I- Agricultural Water Productivity in Karkheh River Basin. In: Oweis, T., Farahani, H., Qadir, M., Anthofer, J., Siadat, H., Abbasi F., and Bruggeman A., (Eds). Improving On-farm Agricultural Water Productivity in the Karkheh River Basin. Research Report no. 1: A Compendium of Review Papers. ICARDA, Aleppo, Syria. IV+103 pp.

Farre, F., & Faci, J. M., 2009. Deficit irrigation in maize for reducing agricultural water use in a Mediterranean environment. Agricultural Water Management. 96: 384-394.

Garcia-Vila. M., Fereres, E. 2012. Combining the simulation crop model AquaCrop with an economic model for the optimization of irrigation management at farm level. European Jornal of Agronomy. 36(1): 21-31.

Geerts S., Raes D., Garcia, M., Miranda, R. & Cusicanqui, J. A. 2009. Simulating yield response to water of quinoa (Chenopodium quinoaWilld.) with FAO-AquaCrop. Agronomy. 101: 499-508.

Geerts, S., & Raes, D. 2009. Deficit irrigation as on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. Agricultural Water Management. 96: 1275-1284.

Heng, L. k., Hsiao, T. C., Evett, S., Howell, T. & Steduto, P. 2009. Validating the FAO AquaCrop model for Irrigated and Water Deficient field maize. Agronomy. 101(3): 488-498.

Hsiao, T.C., Heng, L., Steduto, P., Rojas-Lara, B., Raes, D., and Fereres, E., (2009). AquaCrop-The FAO crop model to simulate yield response to water: III. Parameterization and testing for maize. Agron.J. 101(3), 448-459.

Katerji, N., Campi, P., and Mastrorilli, M. 2013. Productivity, evapotranspiration, and water use efficiency of corn and tomato crops simulated by AquaCrop under contrasting water stress conditions in the Mediterranean region. Agricultural Water Management. 130: 14-26.

Masanganise J., Basira, K., Chipindu, B., Mashonjowa, E., and Mhizha, T. 2013. Testing the utility of a crop growth simulation model in predicting maize yield in a changing climate in Zimbabwe. International Journal of Agricultural and Food Science. 3(4): 157-163.

Mebane, V. J., Day, R. L., Hamlett, J. M., Watson, J. E., and Roth, G. W. 2013. Validating the FAO AquaCrop model for rainfed maize in Pennsylvania. Agronomy Journal, 105(2):419-427.

Mkhabela, M. S. and Bullock, P. R. 2012. Performance of the FAO AquaCrop model for wheat grain yield and soil moisture simulation in Western Canada. J. of Agric. Water Manag., 110: 16–24.

Salemi H., Mohd Soom M. A., Lee T. S., Mousavi S. F., Ganji A., and KamilYusoff, M. 2011. Application of AquaCrop model in deficit irrigation management of Winter wheat in arid region. African Journal of Agricultural Research, 610: 2204-2215.

Shamsnia S. A., and Pirmoradian N. 2013. Simulation of rainfed wheat yield response to climatic fluctuations using AquaCrop model (case study: Shiraz region in southern of Iran). International Journal of Engineering Science Invention, 2(4):51-56.

Tavakoli, A. R., Liaghat, A., Ashrafi, Sh., Abbasi, F. 2008. Chapter II- Supplemental Irrigation in Iran. In: Oweis, T., H., Farahani, H., M. Qadir,M.,J. Anthofer, J.,H. Siadat, H., F. Abbasi F., and A. Bruggeman A., (Eds). Improving On-farm Agricultural Water Productivity in theKarkheh River Basin. Research Report no. 1: A Compendium of Review Papers. ICARDA, Aleppo, Syria. Iv+103

**Water Management in Agriculture**
**Vol. 7, No. 1, Spring and Summer 2020, 53-64**

**نشریه مدیریت آب در کشاورزی**
**جلد ۷، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۹، ص. ۶۴-۵۳**

# Wheat Yield and Water Productivity Simulation in Hendijan Plain Using AquaCrop Model

**M. A. Barzikar[1], A. Egdernezhad[2*], A. Tafteh[3] and N. A. Ebrahimipak[4]**

## Abstract

Due to the importance of the wheat crop, it is cultivated in many plains in Khuzestan province, Iran. However, cultivation conditions for this crop are not the same in all plains. Therefore, several researches are needed to determine the appropriate cultivation conditions. These researches cost a lot of time and money. For this reason, the use of crop models such as AquaCrop is essential to investigate different cultivation date scenarios. Based on this purpose, the present study was conducted to evaluate the AquaCrop model and simulate wheat yield and water productivity in Hindijan plain, Iran. To do that, the required data were collected from 9 farms during two years. The highest wheat yield in this plain was equal to 1626 $kg.ha^{-1}$ (with water consumption efficiency of 0.15 $kg.m^{-3}$). The validation results of AquaCrop model showed that this model had an overestimated error ($MBE \geq 0$) to simulate both yield and water productivity. The accuracy ($NRME \leq 0.1$) and efficiency ($EF \geq 0$) of AquaCrop were excellent for simulating both parameters. Therefore, this model was used to simulate the yield and water productivity for three irrigation water quantities (300, 500 and 700 mm) in the three cultivation dates (the first, second and third decades of November). The results showed that application of 700 mm irrigation water and cultivation date of the third decade of November resulted in achieving a yield about 1500 $kg.ha^{-1}$ and water consumption efficiency about 0.5 $kg.m^{-3}$.

**Keywords:** Crop Modeling, Cultivation Date, Water-driven Model

[1] M.Sc. Student of Irrigation and drainage, Department of Water Sciences and Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.
[2] Assistant professor, Department of Water Sciences and Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.(*Corresponding author: Email: a_eigder@ymail.com)
[3] Assistant professor, Department of irrigation and soil physics, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.
[4] Associated professor, Department of irrigation and soil physics, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.
Received: 26 July 2020
Accepted: 16 September 2020

Water Management in Agriculture
Vol. 7, No. 1, Spring and Summer 2020, 65-82

نشریه مدیریت آب در کشاورزی
جلد ۷، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۹، ص. ۸۲-۶۵

مقاله علمی – پژوهشی

# تحلیل کارایی مصرف آب سیب‌زمینی مزارع شمال استان خوزستان

منصور معیری[۱]

## چکیده

ارزیابی سالانه شاخص کارایی مصرف آب، امکان استخراج راهبردهای ارتقای بهره‌وری آب مزارع را فراهم می‌کند. هدف اصلی این مقاله تحلیل مدیریت‌های کشاورزان و تعیین عوامل مؤثر در بهبود کارایی مصرف آب سیب‌زمینی مزارع شمال استان خوزستان است. در استان خوزستان کشت سیب‌زمینی از دهه اول مهرماه به‌عنوان کشت زمستانه یا طرح استمرار باهدف تأمین سیب‌زمینی موردنیاز بازار شروع‌شده و تا دهه اول بهمن‌ماه خاتمه می‌یابد. مقاله حاضر نتیجه مطالعه مراحل رشد، مدیریت آبیاری سطحی – جویچه‌ای و عملکرد سیب‌زمینی در ۳۳ مزرعه انتخابی با مدیریت کشاورزان در منابع تأمین آب مختلف شامل شبکه‌های آبیاری و زهکشی دز و گتوند، چاه و پمپاژ در فصل زراعی ۹۸ – ۱۳۹۷ است. نتایج این بررسی نشان داد که به‌طور متوسط با بارش مؤثر ۲۰۱ میلی‌متر در فصل رشد گیاه و با حجم آب مصرفی ۲۱۳۵ مترمکعب، ۲۱۱۰۰ کیلوگرم در هکتار غده سیب‌زمینی با کارایی مصرف آب (بارش مؤثر+ آبیاری) ۵/۴۱ کیلوگرم در مترمکعب تولید شد. متوسط بازده کاربرد آب این مزارع ۳۹/۳ درصد بود. تأمین آب از منابع قابل‌اطمینان در مدیریت آبیاری مناسب و بهبود کارایی مصرف آب مزارع مؤثر بود. عدم توجه به دور آبیاری مناسب و رطوبت خاک موجب شد تا عمده مزارع با تاریخ کشت‌های تأخیری، به‌ویژه در مرحله رشد میانی با تنش خشکی مواجه شدند. بر اساس تحلیل مدیریت‌های کشاورزان، توصیه‌های کاربردی افزایش کارایی مصرف آب سیب‌زمینی با انتخاب تاریخ کاشت مناسب، مدیریت بهنگام آبیاری، رعایت زمان برداشت متناسب با رسیدگی غده‌های سیب‌زمینی و در صورت امکان تغییر درروش آبیاری ارائه شد.

**واژه‌های کلیدی:** آب مصرفی، طرح استمرار سیب‌زمینی، ظرفیت تولید، عملکرد غده، نیاز آبی

## مقدمه

سیب‌زمینی بعد از گندم، برنج و ذرت بیشترین سهم را در میزان تولید محصولات غذایی دارا بوده و نقش مهمی در تغذیه و سبد غذایی جمعیت جهان دارد (Fabeiro et al., 2001). در ایران اهمیت غذایی سیب‌زمینی بعد از گندم و آب مهم‌ترین عامل برای تولید پایدار سیب‌زمینی است. حداکثر تولید سیب‌زمینی زمانی اتفاق می‌افتد که رطوبت خاک در حد نرمال و بهینه باشد (Ojala et al., 1990). مقدار آبی که توسط کشاورزان برای تولید محصولات کشاورزی در سطح کشور مصرف می‌شود، به عواملی مانند رقم، طول دوره رشد، مدیریت مزرعه، خاک، کیفیت آب، شیب زمین، ابعاد واحد آبیاری، اقلیم، سیستم آبیاری، نوع منبع آبی و ... بستگی دارد. حیدری و همکاران (۱۳۸۵) مقدار شاخص کارایی مصرف آب محصولات زراعی گندم، چغندرقند (شکر تولیدی)، سیب‌زمینی، ذرت علوفه‌ای، پنبه، یونجه (وزن خشک)، جو و نیشکر (شکر تولیدی) را به ترتیب برابر با ۰/۷۵، ۰/۶۴، ۲/۰۶، ۵/۵۸، ۰/۷۱، ۱/۴۶، ۰/۵۶ و ۰/۲۹ کیلوگرم محصول بر مترمکعب آب مصرفی اندازه‌گیری کردند.حیدری (۱۳۹۰) در تحقیقی تعیین و ارزیابی شاخص کارایی مصرف آب محصولات زراعی تحت مدیریت

[۱] استادیار پژوهش بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی صفی آباد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، دزفول ایران. (نویسنده مسئول: (Man_Moayeri@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۹۹/۵/۸
تاریخ پذیرش: ۹۹/۶/۲۰
DOR: 20.1001.1.24764531.1399.7.1.7.4

کشاورزان در کشور بررسی نمود. این تحقیق در مناطق کرمان، همدان، مغان، گلستان و خوزستان به اجرا درآمد. بر اساس نتایج حاصله متوسط مقدار شاخص کارایی مصرف آب محصول سیب‌زمینی برابر با ۲/۱۸ کیلوگرم محصول بر مترمکعب آب مصرفی اندازه‌گیری شد. در مطالعه قدمی و همکاران (۱۳۸۹) مقدار بهره‌وری آب آبیاری در مزارع سیب‌زمینی استان همدان که به روش سنتی، هیدروفلوم و بارانی آبیاری می‌شدند به‌ترتیب ۱/۲، ۲/۴ و ۳/۲ کیلوگرم به ازای هر مترمکعب آب برآورد شد. قاسمی نژاد رائینی و معروفی (۱۳۹۰)، کمترین و بیشترین مقدار آب مصرفی سیب‌زمینی در ۳ مزرعه در دشت بهار همدان در شرایط مدیریت کشاورز را ۵۰۹۲ و ۸۲۷۹ مترمکعب در هکتار اندازه‌گیری کردند. قدمی فیروزآبادی (۱۳۹۵) با انجام مطالعه‌ای در دشت بهار همدان اعلام کرد که میانگین حجم آب مصرفی سیب‌زمینی در مزارعی که به‌روش نشتی و بارانی آبیاری شده‌اند به‌ترتیب ۱۰۸۷۶ و ۸۲۳۳ مترمکعب در هکتار با عملکرد ۴۳/۵ و ۵۱/۵ تن در هکتار و بهره‌وری آب آبیاری ۴ و ۶/۳ کیلوگرم در مترمکعب بوده است. در مطالعه انواع سامانه‌های آبیاری مورداستفاده در مزارع سیب‌زمینی استان همدان، رضوانی و جعفری (۱۳۸۴) گزارش کردند که حداقل و حداکثر میزان آب مصرفی به ترتیب در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای با نوارهای تیپ با ۵۸۲۰ و کلاسیک ثابت، با ۶۹۷۲ مترمکعب در هکتار و همچنین کمترین و بیشترین عملکرد غده سیب‌زمینی، به ترتیب در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای با ۳۳/۵ و ویل‌موو با ۴۸/۵ تن در هکتار مشاهده شد. سیب‌زمینی گیاهی نسبتاً سرمادوست و جزء سبزی‌های فصل خنک می‌باشد. دمای ۱۵ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد خاک، مناسب‌ترین دما برای سبز شدن این گیاه بوده و در دمای کمتر از ۱۲ و بیشتر از ۲۸ درجه سانتی‌گراد رشد جوانه‌ها محدود خواهد شد. بهترین رشد آن در نواحی حاصل می‌شود که میانگین دمای هوای گرم‌ترین ماه فصل رشد حدود ۲۵ درجه سانتی‌گراد و یا کمتر باشد (Lal and Sud, 2001). ارقام کشت‌شده سیب‌زمینی نسبت به یخبندان حساس می‌باشند (Dwell et al., 1981). دمایی که در آن گیاهان دچار یخزدگی می‌شوند بسته به گونه گیاهی و رقم متفاوت است. ارقام تجاری این محصول که در بیشتر نقاط دنیا و ایران کشت می‌شوند به گونه Solanum tuberosum تعلق دارند که نسبت به یخزدگی حساس بوده و تنوع ژنتیکی کمی برای مقاومت در مقابل این پدیده دارند (Chen and Li, 1980). در زراعت پاییزه سیب‌زمینی خوزستان، کشت در شرایط گرم و دشوار صورت می‌گیرد که این شرایط می‌تواند به پوسیدگی غده‌های بذری و کاهش درصد سبز و سایه‌انداز منجر شود. در این زراعت در هنگام غده‌بندی و حجیم شدن غده‌ها، روزها سرد و کوتاه شده و درنتیجه غده‌ها نمی‌توانند به حداکثر وزن و اندازه خود برسند، لذا میزان عملکرد کاهش می‌یابد علاوه بر این درکشت پاییزه احتمال از بین رفتن کل و یا افت عملکرد بسته به زمان وقوع و مدت یخبندان وجود دارد (دارابی، ۱۳۸۶). با عنایت به بالا بودن دما در هنگام کشت سیب‌زمینی در خوزستان و احتمال وقوع یخبندان از اوایل دی‌ماه که سبب کوتاهی فصل رشد می‌گردد استفاده از ارقام زودرس و سازگار با منطقه برای تولید اقتصادی بسیار حائز اهمیت می‌باشد (دارابی، ۱۳۹۲).

در استان خوزستان سالیانه ۴۰۰۰ الی ۶۰۰۰ هکتار از اراضی آبی در فصول پائیز و زمستان به کشت سیب‌زمینی اختصاص می‌یابد، کشت از اوایل مهرماه آغاز و تا دهه اول دی‌ماه ادامه می‌یابد و برداشت از اسفندماه تا اواخر اردیبهشت‌ماه انجام می‌شود. کشت در مهرماه با عنوان طرح استمرار سیب‌زمینی برای تأمین نیاز بازار مصرف به دلیل بروز دماهای کم در مرحله غده‌بندی از متوسط عملکرد کمتری برخوردار است. سیب‌زمینی تولیدشده در مناطق معتدله کشور در پاییز و اوایل زمستان به مصرف رسیده و بعدازاین خلأ این محصول در بازار وجود دارد. با کشت سیب‌زمینی در مناطق گرم و عرضه آن در فصل بهار می‌توان به پر نمودن این خلأ اقدام نمود. یکی از مناطق نیمه گرمسیری مناسب برای کشت سیب‌زمینی، استان خوزستان است. رفیعی و دارابی (۱۳۸۶) در بررسی دور و میزان آبیاری بر عملکرد کمی و کیفی ارقام سیب‌زمینی استان خوزستان، گزارش کردند که میزان مصرف آب در دورهای آبیاری پس از ۵۰،۷۵،۱۰۰ و ۱۲۵ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر به‌ترتیب ۹۳۰۰، ۸۵۰۰، ۷۳۵۰ و ۶۲۰۰ مترمکعب در هکتار بود و برای کشت زمستانه در استان خوزستان کاشت ارقام سانته و آرینندا با دور آبیاری ۷۵ میلی‌متر تبخیر

تجمعی از تشتک کلاس A را توصیه کردند. عمده کشت سیب‌زمینی در شهرستان‌های اندیمشک، دزفول، بهبهان، رامهرمز و گتوند انجام می‌شود که بر این اساس در تحقیق حاضر نیز مقدار کارایی مصرف آب سیب‌زمینی شهرستان‌های اندیمشک، دزفول و گتوند تعیین شد. طبق گزارش‌های سازمان برنامه‌وبودجه استان خوزستان اراضی این شهرستان‌ها در محدوده دو دشت دزفول – اندیمشک و گتوند – عقیلی قرار دارند. در جدول شماره یک مساحت‌های زراعی و باغی و مصارف آب کشاورزی این دو دشت بر اساس گزارش برنامه و بودجه استانداری خوزستان ارائه‌شده‌اند.

هم‌زمانی فصل کاشت سیب‌زمینی در اراضی با بافت خاک نسبتاً سبک با فصل کشت گندم، چغندرقند، پیاز، ذرت بهاره و ... باعث شده تا بررسی‌های میدانی در خصوص مدیریت‌های زراعی مزارع سیب‌زمینی و متعاقب آن فعالیت‌های آموزشی و ترویجی برای تولید کمی و کیفی سیب‌زمینی کمتر مورد توجه قرار گیرد ازاین‌رو در این مقاله با تحلیل فنی عملیات زراعی کشاورزان در ۳۳ مزرعه انتخابی از کاشت تا برداشت، مدیریت‌های بهینه و مؤثر در افزایش کارایی مصرف آب سیب‌زمینی توصیه‌شده است.

**جدول ۱- مساحت‌های زراعی و باغی دو دشت مورد مطالعه**

| نام دشت | مساحت اراضی (هکتار) | | | منابع آب (درصد) | | بازده آبیاری (درصد) | آب مصرفی سالیانه (مترمکعب در هکتار) | برگشت آب (درصد) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | زراعی | باغی | جمع | زیرزمینی | سطحی | | | زیرزمینی | سطحی |
| گتوند- عقیلی | ۱۸۲۳۲ | ۱۹۸ | ۱۸۴۳۰ | ۱۳ | ۸۷ | ۳۵ | ۱۴۴۰۲ | ۳ | ۱۸ |
| دزفول- اندیمشک | ۱۶۴۵۶۰ | ۳۴۴۰ | ۱۶۸۰۰۰ | ۱۱ | ۸۹ | ۳۴ | ۱۶۳۹۴ | ۱ | ۲۰ |

## مواد و روش‌ها

طبق آمار موجود بیشترین سطوح زیرکشت سیب‌زمینی در استان خوزستان به شهرستان‌های اندیمشک، دزفول و گتوند اختصاص داشت. طی فصل زراعی ۹۸- ۹۷، با هماهنگی معاونت‌های فنی و زراعت مدیریت‌های جهاد کشاورزی این شهرستان‌ها یکسری مزارع در منابع تأمین آب مختلف شامل شبکه‌های آبیاری و زهکشی دز و گتوند، چاه و پمپاژ مستقیم از کانال درجه یک مشخص شد. پس از بازدیدها و بررسی‌های میدانی و بر اساس بافت خاک و کیفیت آب آبیاری ۳۳ مزرعه به‌گونه‌ای برای این مطالعه انتخاب شدند که هرکدام از این مزارع معرف محدوده تغییرات شرایط اراضی و کشاورزان این شهرستان‌ها باشند. مشخصات مزارع/ منابع آب انتخابی در جدول ۲ ارائه‌شده‌اند. پس از مذاکره با کشاورزان مزارع انتخابی، ضمن ثبت عملیات زراعی از مراحل کاشت تا برداشت، مقدار آب مصرفی این مزارع اندازه‌گیری شد در این خصوص در اراضی آبخور شبکه‌های آبیاری و زهکشی، با استفاده از پارشال‌فلوم موجود در شبکه یا با نصب کاتروت‌فلوم در مزرعه و در مزارع با منبع آب چاه با تعیین دبی پمپاژ و نصب کنتور ساعت روی تابلو برق پمپ، حجم آب مصرفی (Iw) در کل آبیاری‌ها اندازه‌گیری شد. در زمان برداشت نیز متوسط عملکرد غده سیب‌زمینی کیسه گرفته‌شده و قابل‌ارائه به بازار در سطح هر مزرعه مشخص شد. با متوسط ده/هفت و شش‌ساله اخیر آمار هواشناسی نزدیک‌ترین ایستگاه سینوپتیک (به‌ترتیب شامل ایستگاه‌های صفی‌آباد، فرودگاه و گتوند) به مزارع انتخابی و آمار به‌هنگام فصل رشد سیب‌زمینی در سال زراعی ۹۸ – ۹۷ و با استفاده از نرم‌افزار Et calculator ظرفیت تبخیر و تعرق تعیین و با توجه به طول مراحل رشد سیب‌زمینی و ضرایب گیاهی این مراحل، نیاز آبی محاسبه شد. ضرایب گیاهی (Kc) از جدول پیشنهادی نشریه شماره ۵۶، فائو در مراحل مختلف رشد برآورد شد(Allen et al.,1998).

$$ET_c = K_c \times ET_0 \qquad (۱)$$

که در آن: ET0 ظرفیت تبخیر و تعرق و ETc تبخیر و تعرق گیاه برحسب میلی‌متر در روز می‌باشند.

بارش مؤثر (Re) نیز مطابق روش سازمان خواروبار جهانی فائو معادل ۸۰ درصد بارش و در سقف ظرفیت نگهداری آب خاک در عمق توسعه ریشه سیب‌زمینی برآورد شد. با استفاده از پارامترهای اندازه‌گیری یا برآورد شده در مزارع شاخص‌های کارایی مصرف آب گیاه (CWP)[۲]، کارایی آب مصرفی (WPI+R)[۳] و بازده کاربرد آب در مزرعه (WAE)[۴] از روابط زیر محاسبه شد.

$$CWP = 100 \times \frac{Y_a}{ET_c} \quad \text{(Zwart and Bastiaanssen, 2004)} \quad (۲)$$

$$WP_{I+R} = 100 \times \frac{Y_a}{I_w + R_e} \quad \text{(Oweis and Hachum, 2006)} \quad (۳)$$

$$WAE = 100 \times \frac{ET_c - R_e}{I_w} \quad \text{(Bos,1985)} \quad (۴)$$

که در آن: Ya: عملکرد سیب‌زمینی (کیلوگرم در هکتار) و Iw: آب آبیاری مصرفی (مترمکعب در هکتار)

برای تعیین نیاز آبشویی، با استفاده از یک دستگاه پرتابل، هدایت الکتریکی آب آبیاری اندازه‌گیری شد. آب موردنیاز برای آبشویی مزارع موردمطالعه بر اساس نشریه فائو ۲۹ در آبیاری سطحی از رابطه زیر برآورد گردید.

$$LR = \frac{100 \times EC_w}{5\,EC_e - Ec_w} \quad (۵)$$

که در آن،ECw هدایت الکتریکی آب آبیاری و ECe آستانه تحمل سیب‌زمینی است که طبق نشریه شماره ۲۹ فائو، ۲ دسی‌زیمنس بر متر در نظر گرفته شد. با در نظر گرفتن نیاز آبشویی هر مزرعه به‌عنوان بخشی از نیاز گیاه برای تولید ۱۰۰ درصد عملکرد در هر مزرعه، کارایی مصرف آب گیاه و بازده کاربرد آب در مزرعه اصلاحی با استفاده از رابطه زیر نیز محاسبه شد (معیری، ۹۹).

$$CWP_{LR} = 100 \times \frac{Y_a}{\frac{ET_c}{1 - 0.01 \times LR}} \quad (۶)$$

$$WAE_{LR} = 100 \times \frac{\frac{ET_c}{1 - 0.01 \times LR} - R_e}{I_w} \quad (۷)$$

[۲] Crop water productivity
[۳] Water productivity
[۴] Water Application Efficiency

مدیریت‌های مختلف کشاورزان در مزارع انتخابی بر اساس این شاخص‌ها ارزیابی شد.

## نتایج و بحث

### نیاز آبی

در شکل ۱ ظرفیت تبخیر و تعرق روزانه گیاه مرجع ($ET_0$)، بارش روزانه و تجمعی بر اساس آمار موجود هواشناسی یک‌ساله ۹۸–۹۷ و ده‌ساله ایستگاه صفی‌آباد شهرستان دزفول، هفت‌ساله فرودگاه دزفول و شش‌ساله شهرستان گتوند منتهی به سال ۱۳۹۵ ارائه‌شده است. ملاحظه می‌شود که ظرفیت تبخیر و تعرق محاسباتی با استفاده از آمار بلندمدت هر سه ایستگاه هواشناسی مشابه هستند البته در آمار به‌هنگام تغییرات روزانه نسبت به میانگین چندساله نوسانات بیشتری دارد که از ویژگی‌های اقلیم گرم و خشک منطقه موردمطالعه است.

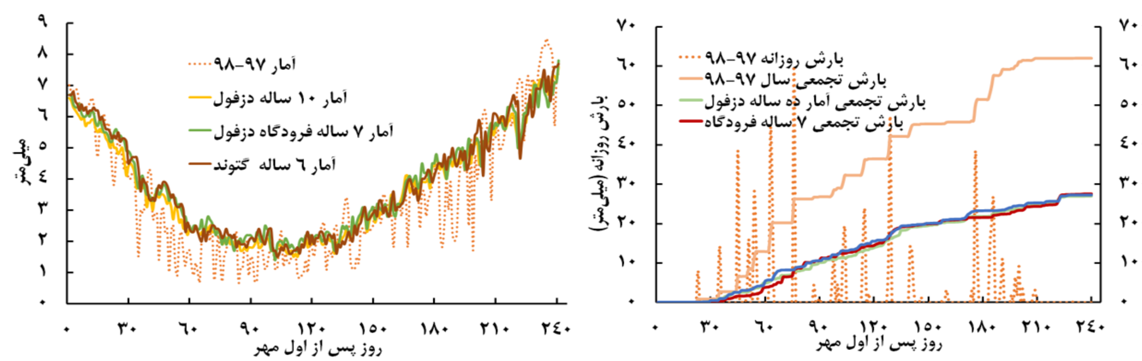
تاریخ‌های کشت نیمه مهرماه تا نیمه دی‌ماه سیب‌زمینی در استان خوزستان، از مراحل جوانه‌زنی تا شروع غده‌بندی و گلدهی، منطبق با مقادیر حداقل تبخیر و تعرق سالانه گیاه مرجع و ضمن وقوع بارش‌های مؤثر فصلی در زمستان و بهار است. این بارش‌ها بخشی از نیاز آبی گیاه و یا نیاز آبشویی مزارع را تأمین می‌کنند. ویژگی سال زراعی ۹۸–۹۷ بارش بیش از دو برابری نسبت به دوره مشابه متوسط چندساله است که در شکل یک نمایش داده‌شده است.

بر اساس آمار هواشناسی موجود، بررسی در برآوردهای ظرفیت تبخیر و تعرق روزانه (شکل ۱)، ظرفیت تبخیر و تعرق تجمعی (شکل۲) و نیاز آبی برآورد شده از آمار چندساله ایستگاه‌های سینوپتیک هواشناسی گتوند و فرودگاه دزفول در مقایسه با آمار ایستگاه هواشناسی سینوپتیک صفی‌آباد (شکل‌های ۱ و ۲) انجام شد. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود تفاوت اندک در آمار و نتایج محاسبات، نزدیکی جغرافیایی ایستگاه‌های سینوپتیک هواشناسی مذکور و امکان تهیه آمار هواشناسی به‌هنگام موجب شد تا در محاسبات نیاز آبی و بارش مؤثر به‌هنگام مزارع انتخابی از آمار تهیه‌شده ایستگاه هواشناسی کشاورزی صفی‌آباد استفاده شود.

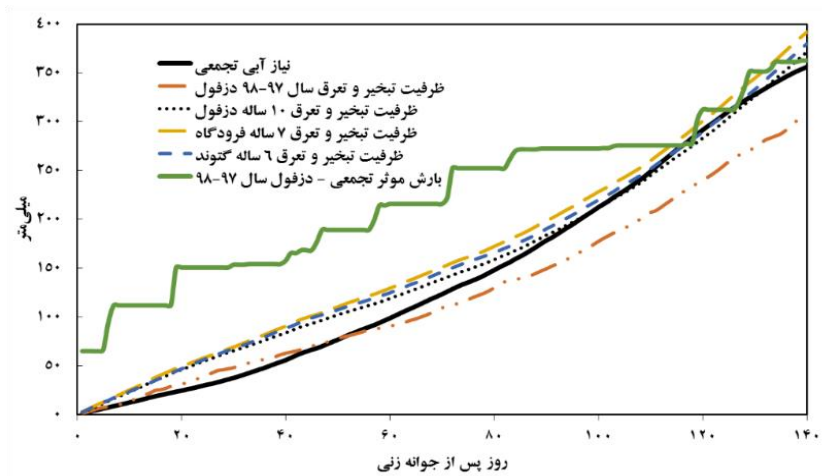
**جدول ۲- مشخصات مزارع انتخابی کشت سیب‌زمینی**

| ردیف | طول جغرافیایی | عرض جغرافیایی | نوع منبع | شبکه آبیاری | سطح زیرکشت (هکتار) | بافت خاک | شوری خاک (دسی‌زیمنس بر متر) | رقم | شوری آب آبیاری (دسی‌زیمنس بر متر) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | ۲۵۳۷۳۶/۳۸ | ۳۵۹۷۲۳۱/۷۲ | چاه | سنتی | ۱۱/۹۲ | لومی | ۰/۹۰ | آریندا | ۰/۴۲ |
| ۲ | ۲۵۱۸۸۸/۲۳ | ۳۶۰۰۵۸۴/۲۱ | چاه | سنتی | ۳/۱۰ | لومی | ۰/۸۰ | آریندا | ۰/۴۵ |
| ۳ | ۲۵۱۹۰۷/۹۸ | ۳۵۹۸۵۹۹/۲۱ | چاه | سنتی | ۱۶/۵۸ | سیلتی لوم | ۱/۱۰ | سانته و | ۰/۶۶ |
| ۴ | ۲۵۱۹۰۷/۹۸ | ۳۵۹۸۵۹۹/۲۱ | چاه | سنتی | ۱۶/۸۳ | سیلتی لوم | ۱/۱۰ | سانته و | ۰/۴۵ |
| ۵ | ۲۵۱۴۹۸/۵۳ | ۳۵۹۸۸۳۶/۸۵ | چاه | سنتی | ۷/۰۰ | سیلتی لوم | ۱/۵۰ | گلی و | ۰/۴۵ |
| ۶ | ۲۵۱۴۹۸/۵۳ | ۳۵۹۸۸۳۶/۸۵ | چاه | سنتی | ۴/۰۰ | سیلتی لوم | ۱/۵۰ | آریندا | ۰/۴۵ |
| ۷ | ۲۵۱۴۹۸/۵۳ | ۳۵۹۸۸۳۶/۸۵ | چاه | سنتی | ۳/۰۰ | سیلتی لوم | ۱/۵۰ | آریندا | ۱/۶۵ |
| ۸ | ۲۴۷۹۲۲/۰۴ | ۳۵۹۸۹۰۹/۶۱ | چاه | سنتی | ۵/۷۰ | لومی | ۱/۲۰ | سانته | ۱/۶۵ |
| ۹ | ۲۴۷۹۲۲/۰۴ | ۳۵۹۸۹۰۹/۶۱ | چاه | سنتی | ۳/۵۷ | لومی | ۱/۲۰ | بامبو | ۱/۶۵ |
| ۱۰ | ۲۴۷۹۲۲/۰۴ | ۳۵۹۸۹۰۹/۶۱ | چاه | سنتی | ۲/۸۵ | لومی | ۱/۲۰ | آریندا | ۱/۶۵ |
| ۱۱ | ۲۴۷۹۲۲/۰۴ | ۳۵۹۸۹۰۹/۶۱ | چاه | سنتی | ۲/۴۸ | لومی | ۱/۲۰ | آریندا | ۱/۶۵ |
| ۱۲ | ۲۴۷۹۲۲/۰۴ | ۳۵۹۸۹۰۹/۶۱ | چاه | سنتی | ۲/۵۰ | لومی | ۱/۲۰ | آریندا | ۱/۶۵ |
| ۱۳ | ۲۴۲۴۷۱/۸۶ | ۳۶۰۰۱۲۱/۱۲ | چاه | سنتی | ۹/۰۰ | لومی | ۰/۷۰ | سانته | ۰/۷۵ |
| ۱۴ | ۲۴۲۷۵۴/۷۵ | ۳۵۹۷۸۹۴/۲۸ | چاه | سنتی | ۸/۳۷ | لومی | ۰/۹۰ | سانته | ۰/۷۵ |
| ۱۵ | ۲۴۲۷۵۴/۷۵ | ۳۵۹۷۸۹۴/۲۸ | چاه | سنتی | ۰/۷۵ | لومی | ۰/۹۰ | سانته | ۰/۷۵ |
| ۱۶ | ۲۴۲۷۵۴/۷۵ | ۳۵۹۷۸۹۴/۲۸ | چاه | سنتی | ۲/۸۰ | لومی | ۰/۹۰ | سانته | ۰/۷۵ |
| ۱۷ | ۳۵۹۷۸۹۴/۰۸ | ۳۵۶۱۵۴۱/۳۲ | شبکه | مدرن | ۳/۴۰ | سیلتی لوم | ۱/۵۰ | اسپریت | ۱/۳۶ |
| ۱۸ | ۳۵۹۷۸۹۴/۰۸ | ۳۵۶۱۵۴۱/۳۲ | شبکه | مدرن | ۲/۳۰ | سیلتی | ۱/۵۰ | اسپریت | ۱/۳۶ |
| ۱۹ | ۳۵۶۱۵۴۱/۷۲ | ۳۵۶۵۹۰۲/۴۳ | شبکه | مدرن | ۰/۷۷ | سیلتی لوم | ۱/۳۰ | اسپریت | ۱/۳۷ |
| ۲۰ | ۲۸۸۴۷۹/۷۴ | ۳۵۶۸۱۸۲/۹۲ | چاه | سنتی | ۲/۲۲ | لومی | ۱/۵۰ | آگریا | ۳/۲۲ |
| ۲۱ | ۲۸۸۴۷۹/۷۴ | ۳۵۶۸۱۸۲/۹۲ | چاه | سنتی | ۲/۴۵ | لومی | ۲/۰۰ | آگریا | ۳/۲۲ |
| ۲۲ | ۲۸۸۴۷۹/۷۴ | ۳۵۶۸۱۸۲/۹۲ | چاه | سنتی | ۲/۳۰ | سیلتی لوم | ۱/۴۰ | آگریا | ۳/۲۲ |
| ۲۳ | ۲۸۸۴۷۹/۷۴ | ۳۵۶۸۱۸۲/۹۲ | چاه | سنتی | ۲/۶۱ | سیلتی لوم | ۱/۴۰ | آگریا | ۳/۲۲ |
| ۲۴ | ۲۷۹۴۶۲/۱۴ | ۳۵۶۵۹۵۳/۲۹ | شبکه | مدرن | ۱۰/۸۴ | سیلتی لوم | ۲/۳۰ | آریندا | ۱/۶۱ |
| ۲۵ | ۲۷۹۴۶۲/۱۴ | ۳۵۶۵۹۵۳/۲۹ | شبکه | مدرن | ۳/۳۴ | سیلتی لوم | ۲/۳۰ | سانته | ۱/۶۱ |
| ۲۶ | ۲۷۹۴۶۲/۱۴ | ۳۵۶۵۹۵۳/۲۹ | شبکه | مدرن | ۲/۴۹ | سیلتی لوم | ۲/۳۰ | جیلی | ۱/۶۱ |
| ۲۷ | ۲۷۹۴۶۲/۱۴ | ۳۵۶۵۹۵۳/۲۹ | شبکه | مدرن | ۱/۸۲ | سیلتی لوم | ۲/۳۰ | اسپریت | ۱/۶۱ |
| ۲۸ | ۲۸۴۰۱۴/۸۹ | ۳۵۶۳۳۸۸/۷۲ | پمپاژ | لوله | ۵/۱۰ | لومی | ۱/۵۰ | آریندا | ۱/۵۵ |
| ۲۹ | ۲۸۴۰۱۴/۸۹ | ۳۵۶۳۳۸۸/۷۲ | پمپاژ | لوله | ۲/۹۰ | لومی | ۱/۵۰ | آریندا | ۱/۵۵ |
| ۳۰ | ۲۸۴۰۱۴/۸۹ | ۳۵۶۳۳۸۸/۷۲ | پمپاژ | لوله | ۳/۰۰ | لومی | ۱/۵۰ | آریندا | ۱/۵۵ |
| ۳۱ | ۲۶۰۱۸۱/۶۸ | ۳۵۸۵۷۳۳/۳۴ | شبکه | مدرن | ۱/۹۵ | سیلتی لوم | ۰/۸۰ | سانته | ۰/۵۲ |
| ۳۲ | ۲۶۰۱۸۱/۶۸ | ۳۵۸۵۷۳۳/۳۴ | شبکه | مدرن | ۰/۸۲ | سیلتی لوم | ۰/۸۰ | سانته | ۰/۵۲ |
| ۳۳ | ۲۶۷۸۴۸/۹۳ | ۳۵۶۷۸۶۴/۱۷ | شبکه | مدرن | ۳/۹۰ | سیلتی لوم و لوم | ۰/۹۰ | آریندا و جیلی | ۰/۴۹ |

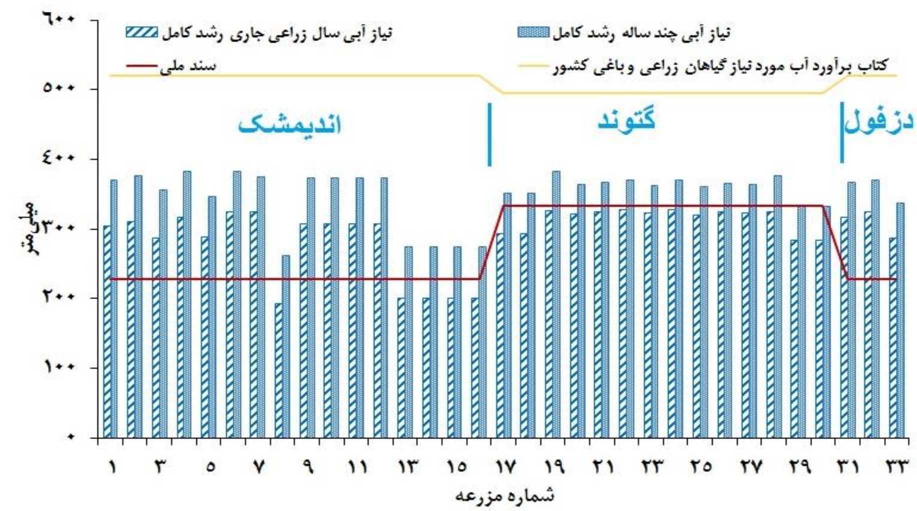
مقایسه تغییرات دمای هوا در مراحل رشد و تطبیق آن‌ها با صفر فیزیولوژیکی و دمای اپتیمم فعالیت سیب‌زمینی نشان داد که در روزهای زمستان، رشد بوته تقریباً کم اما مداوم است و تعرق در حداقل مقدار خودش وجود دارد به‌طوری‌که با سپری‌شدن ۵۰ درصد از روزهای فصل رشد، گیاه فقط ۲۵ الی ۳۰ درصد تبخیر و تعرق کل دوره رشد خود را نیاز دارد؛ اما در روزهای پایانی زمستان با گرم شدن هوا مقادیر رشد و تعرق بوته افزایش می‌یابد. با تشکیل غده‌های سیب‌زمینی از هفته پنجم و ششم پس از جوانه‌زنی، حجیم شدن غده‌ها آغازشده و تا هفته ۱۵ الی ۱۶ ادامه پیدا می‌کند تا در حدود هفته بیست و یکم که غده‌ها آماده برداشت شوند حجیم شدن غده کم‌شده در عوض کیفیت سیب‌زمینی و پوست آن تکمیل می‌شود (pavlista,1995). برخی کشاورزان قبل از اتمام مراحل رشد و رسیدگی کامل و به‌ویژه بر اساس شرایط بازار شروع به برداشت غده‌های سیب‌زمینی از مزرعه می‌کنند بر این اساس در محاسبات نیاز آبی دو مقدار طول دوره رشد تا برداشت انجام‌شده کشاورز (که الزاماً دوره رشد کامل نشده بود) و رشد کامل از کاشت تا پیری کامل بوته و رسیدگی کمی و کیفی غده‌ها برآورد شده است. با ثبت مراحل رشد سیب‌زمینی در مزارع انتخابی امکان محاسبه نیاز آبی مزارع در تاریخ‌های کشت مختلف با استفاده از داده‌های روزانه فصل رشد ایستگاه سینوپتیک هواشناسی صفی‌آباد در سال ۹۸-۹۷ فراهم شد (شکل ۳). این برآورد نشان داد که سند ملی نیاز آبی را کمتر از مقدار واقعی و کتاب برآورد آب موردنیاز گیاهان زراعی و باغی بسیار بیشتر از نیاز واقعی برآورد کرده است.




**شکل ۱- ظرفیت تبخیر و تعرق روزانه گیاه مرجع ($ET_0$) بارش روزانه و تجمعی**




**شکل ۲ – ظرفیت تبخیر و تعرق تجمعی گیاه مرجع، نیاز آبی تجمعی سیب‌زمینی و بارش مؤثر تجمعی**




**شکل ۳- نیاز آبی محاسباتی مزارع انتخابی در شهرستان‌های اندیمشک، گتوند و دزفول نسبت به مقادیر سند ملی و برآورد نیاز آبی**

## تاریخ کاشت

در استان خوزستان تاریخ کشت سیب‌زمینی متأثر از وضعیت اراضی درکشت قبلی، امکان کاشت با توجه به بارش‌های فصلی و تصمیم کشاورز درکشت طرح استمرار (نیمه مهرماه تا نیمه آبان‌ماه) یا کشت معمولی (نیمه آبان تا دهه اول دی‌ماه) است. تأخیر در کاشت با کاهش دمای هوا همراه است و موجب افزایش زمان ظهور جوانه‌های سیب‌زمینی در سطح زمین می‌شود (شکل ۴). کشت‌های طرح استمرار نیاز آبی کمتر (شکل ۴) و کشت‌های معمولی سیب‌زمینی نیاز آبی بیشتری اما طول دوره رشد کمتری (جدول ۳) دارند به همین ترتیب کشت‌های نیمه آبان ماه به دلیل تقارن با بارش‌های فصلی، از بارش مؤثر بیشتری به نسبت تاریخ‌های کشت قبلی و بعدی خود بهره می‌گیرند. ازاین‌رو در سال‌های نرمال ازنظر بارش، دما، رطوبت و... تأخیر در کاشت باعث افزایش در آب مصرفی مزارع سیب‌زمینی می‌شود. بر اساس تغییرات تاریخ‌های جوانه‌زنی، نیاز آبی، بارش مؤثر، آب مصرفی و عملکرد رسم‌شده مزارع انتخابی در شکل شماره ۴، بهترین تاریخ کاشت قابل توصیه از اول آبان‌ماه تا نیمه آذر است.

### ارقام سیب‌زمینی

کشاورزان، بذور یا غده‌های سیب‌زمینی مورد نیاز برای کشت خود را از استان‌های همدان، اصفهان و چهارمحال و بختیاری تهیه می‌کنند و در شناسایی ارقام و اینکه آیا زمستان گذرانی غده‌های بذری در انبارهای تولیدکننده یا فروشنده در استان‌های سردسیر سپری‌شده به قول فروشنده بذور اطمینان می‌کنند. یکی از دلایل طولانی شدن زمان جوانه‌زنی مزارع سیب‌زمینی، زمستان‌گذرانی غده‌ها پس از کاشت و در زمین کشاورز است که با خطر پوسیدگی غده‌ها، بد سبزی و عدم حصول تراکم مناسب بوته در مزارع همراه است. در مزارع انتخابی، عمده سطوح زیر کشت به ترتیب به ارقام سانته، آریندا، آگریا، اسپریت، جیلی، گلی و بامبو اختصاص داشت. رفیعی و دارابی (۱۳۸۶) برای کشت زمستانه در استان خوزستان کاشت ارقام سانته و آریندا را توصیه کردند.

## شوری آب آبیاری و نیاز آبشویی

طبق گزارش ایرس و وستاک (۱۹۸۵) تحمل سیب‌زمینی به شوری خاک و آب آبیاری به‌ترتیب تا ۱/۷ و ۱/۱ دسی‌زیمنس بر متر است اما با افزایش آن ظرفیت عملکرد بوته سیب‌زمینی کاسته می‌شود به‌گونه‌ای که در شوری خاک ۲/۵ یا آب آبیاری ۱/۷ دسی‌زیمنس بر متر، ظرفیت تولید به ۹۰ درصد عملکرد غده کاهش می‌یابد ((Ayers and Westcot, 1985. کشت‌های زمستانه و بهاره مزیت تأمین جزء آبشویی از بارش‌های فصلی را به‌ویژه در سال‌های پرباران دارا هستند بااین‌وجود عدم توجه به نیاز

آبشویی در آبیاری‌ها به‌ویژه در اقلیم گرم و خشک خوزستان می‌تواند منجر به کاهش عملکرد شود.

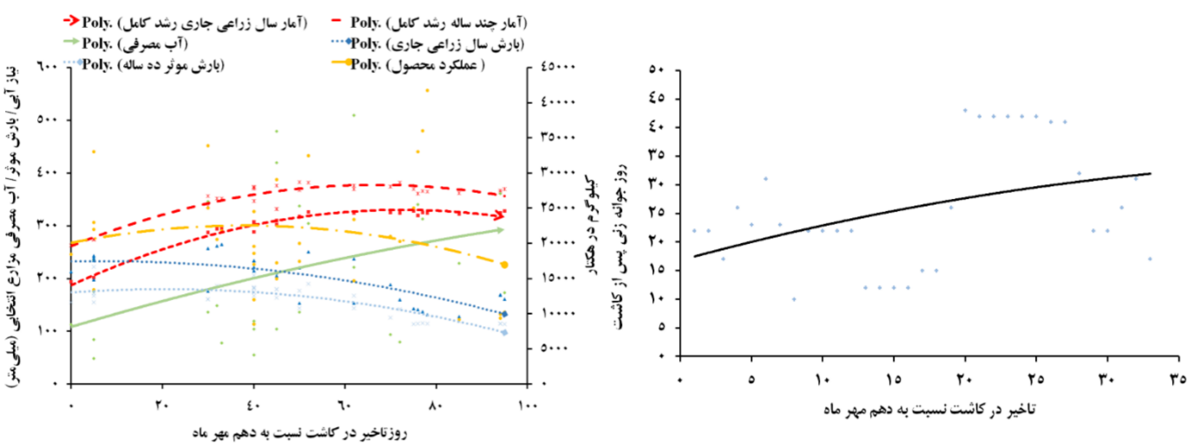
با توجه به اندازه‌گیری‌های شوری خاک اراضی و آب آبیاری دستیابی به ظرفیت عملکرد در محدوده شهرستان‌های دزفول و اندیمشک (با متوسط حدود یک دسی‌زیمنس بر متر) محدودیتی وجود نداشت اما در اراضی شهرستان گتوند با متوسط شوری آب آبیاری ۲ و متوسط شوری خاک اراضی کمتر از ۲ دسی‌زیمنس بر متر (جدول۲) احتمال کاهش ده درصدی عملکرد وجود داشت. متوسط جزء آبشویی در اراضی شهرستان‌های اندیمشک، گتوند و دزفول با استفاده از رابطه ۴ به‌ترتیب، ۱۰، ۲۵ و ۵ درصد محاسبه شد (جدول ۳).

## دور و دفعات آبیاری

طبق بررسی انجام‌شده مشخص شد که مزارع سیب‌زمینی شمال استان خوزستان بدون در نظر گرفتن آبیاری آماده‌سازی زمین (قبل از کاشت) و آبیاری (قبل از) برداشت به‌طور متوسط به ۹ الی ۱۱ آبیاری نیاز دارند که متناسب مقدار، توزیع و پراکنش بارش‌های فصلی می‌تواند به ۳ الی ۵ آبیاری کاهش یابند (شکل ۵). متوسط دفعات آبیاری اراضی آبخور شبکه‌های آبیاری شامل آبگیرهای ثقلی و پمپاژ به‌ترتیب ۱۰ و ۵۰ درصد بیشتر از دفعات آبیاری اراضی آبخور چاه‌ها بود.

به‌منظور بررسی بیشتر دور آبیاری مزارع، تغییرات رطوبت خاک آن‌ها بر اساس تخمین رطوبت سهل‌الوصول، فرض رطوبت اولیه مزارع در حد کاهش رطوبت سهل‌الوصول، اضافه کردن بارش مؤثر و آبیاری‌ها و کاهش روزانه تبخیر و تعرق روزانه در ۷۰ سانتی‌متر عمق ریشه سیب‌زمینی برآورد شد (King and Stark, 1996). نمونه تغییرات روزانه رطوبت خاک مزارع در شکل ۶ نمایش داده‌شده است در این شکل مراحل چهارگانه رشد بوته‌های سیب‌زمینی با خط‌چین قابل تشخیص است. طبق این تغییرات در مزارع شماره ۲ و ۶ (با منبع آب چاه) کمبود رطوبت خاک، مصادف با دوره میانی رشد بوته (حساس‌ترین مرحله رشدی) و اواسط حجیم شدن غده‌های سیب‌زمینی یعنی پس از حدود ۶۰ الی ۷۰ روز از جوانه‌زنی رخ داده است. کمبود رطوبت باعث بروز تنش در گیاه شده و متناسب شدت، مدت و زمان تنش، گیاه با بستن روزنه‌ها، تعرق و تولید ماده خشک (عملکرد) را کاهش می‌دهد.

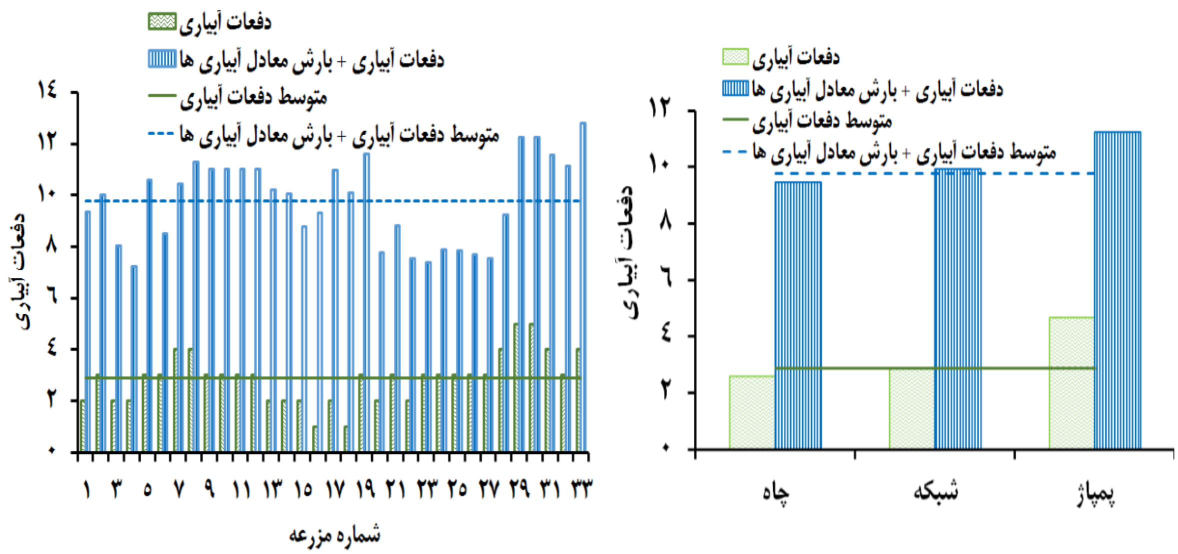
مدیریت آبیاری مزارع سیب‌زمینی که در خاک‌های با بافت متوسط تا سبک کشت می‌شوند علاوه بر شناخت مراحل رشد نیازمند توجه بیشتر به رطوبت موجود خاک در عمق توسعه ریشه گیاه و آگاهی کشاورزان در تعیین زمان آبیاری بر اساس رطوبت خاک است که می‌تواند خسارات و کاهش عملکرد مزارع سیب‌زمینی را به حداقل برساند.



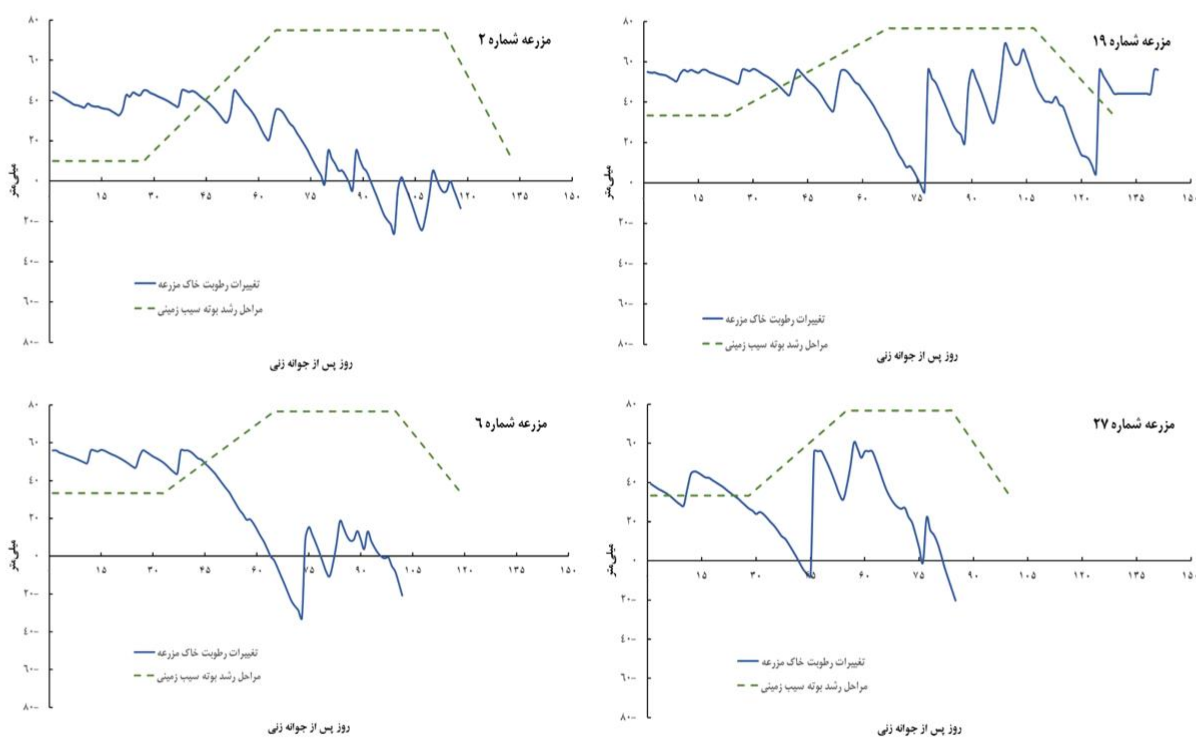

شکل ٤- تغییرات تاریخ جوانه‌زنی، نیاز آبی، بهره‌مندی از بارش مؤثر سالیانه و عملکرد با تاریخ کاشت سیب‌زمینی

**جدول ۳-پارامترهای برآورد شده درمزارع انتخابی**

| ردیف | تاریخ کاشت | طول دوره رشد | نیاز آبی | بارش مؤثر | دفعات آبیاری + بارش‌های معادل آبیاری | نیاز آبشویی | درصد رشد تکمیل‌شده | عملکرد | کارایی مصرف آب گیاه | کارایی مصرف آب آبیاری + بارش مؤثر | بازده کاربرد آب در مزرعه |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | (روز) | (میلی‌متر) | (میلی‌متر) | | (درصد) | (درصد) | (کیلوگرم در هکتار) | (کیلوگرم در مترمکعب ) | | (درصد) |
| ۱ | ۹۷/۸/۲۰ | ۱۵۰ | ۲۷۳ | ۲۱۵ | ۵ | ۴ | ۷۵ | ۸۵۵۷ | ۳/۱۳ | ۲/۶۸ | ۵۵ |
| ۲ | ۹۷/۸/۲۵ | ۱۴۰ | ۲۶۲ | ۲۰۵ | ۶ | ۵ | ۷۰ | ۲۹۰۳۲ | ۱۱/۰۹ | ۹/۳۹ | ۵۴ |
| ۳ | ۹۷/۸/۱۰ | ۱۲۶ | ۲۰۰ | ۱۷۶ | ۴ | ۷ | ۶۵ | ۲۵۰۰۰ | ۱۲/۵۳ | ۸/۰۱ | ۱۸ |
| ۴ | ۹۷/۸/۳۰ | ۱۲۱ | ۱۹۰ | ۱۵۳ | ۴ | ۷ | ۵۶ | ۲۰۰۰۰ | ۱۰/۵۳ | ۶/۹۲ | ۲۷ |
| ۵ | ۹۷/۸/۲۰ | ۱۵۱ | ۲۷۰ | ۲۲۱ | ۶ | ۵ | ۷۹ | ۱۷۰۰۰ | ۶/۳۰ | ۶/۱۶ | ۸۹ |
| ۶ | ۹۷/۹/۱۲ | ۱۳۳ | ۲۵۲ | ۱۶۰ | ۵ | ۵ | ۶۸ | ۲۰۲۵۰ | ۸/۰۲ | ۸/۴۳ | ۷۰ |
| ۷ | ۹۷/۹/۲۰ | ۱۳۱ | ۲۵۹ | ۱۸۸ | ۷ | ۵ | ۷۰ | ۲۱۰۰۰ | ۸/۱۲ | ۷/۴۵ | ۷۶ |
| ۸ | ۹۷/۷/۱۰ | ۱۳۱ | ۱۹۴ | ۲۱۳ | ۷ | ۲۰ | ۹۱ | ۱۸۴۲۱ | ۹/۵۲ | ۵/۶۶ | ۴۰ |
| ۹ | ۹۷/۸/۲۰ | ۱۶۰ | ۳۰۷ | ۲۳۴ | ۶ | ۲۰ | ۸۹ | ۱۹۶۰۸ | ۶/۳۹ | ۵/۵۴ | ۶۳ |
| ۱۰ | ۹۷/۸/۲۰ | ۱۶۰ | ۳۰۷ | ۲۳۴ | ۶ | ۲۰ | ۸۹ | ۲۴۵۶۱ | ۸/۰۱ | ۷/۰۹ | ۶۸ |
| ۱۱ | ۹۷/۸/۲۰ | ۱۸۰ | ۳۰۷ | ۲۳۴ | ۶ | ۲۰ | ۱۱۲ | ۱۸۵۴۸ | ۶/۰۵ | ۵/۳۲ | ۶۶ |
| ۱۲ | ۹۷/۸/۲۰ | ۱۶۴ | ۳۰۷ | ۲۳۴ | ۶ | ۲۰ | ۹۳ | ۱۲۰۰۰ | ۳/۹۱ | ۳/۴۵ | ۶۷ |
| ۱۳ | ۹۷/۷/۱۵ | ۱۵۴ | ۲۰۱ | ۲۳۹ | ۵ | ۸ | ۱۱۷ | ۲۲۰۰۰ | ۱۰/۹۳ | ۶/۸۱ | ۵۱ |
| ۱۴ | ۹۷/۷/۱۵ | ۱۲۶ | ۱۹۷ | ۲۳۵ | ۵ | ۸ | ۸۴ | ۲۳۰۰۰ | ۱۱/۶۹ | ۵/۶۱ | ۳۴ |
| ۱۵ | ۹۷/۷/۱۵ | ۱۰۷ | ۱۶۹ | ۱۹۸ | ۵ | ۸ | ۷۶ | ۳۳۰۰۰ | ۱۹/۳۰ | ۷/۶۳ | ۲۵ |
| ۱۶ | ۹۷/۸/۱۵ | ۱۲۱ | ۲۰۱ | ۲۴۳ | ۴ | ۸ | ۹۶ | ۱۳۴۰۰ | ۶/۶۶ | ۴/۶۰ | ۵۱ |
| ۱۷ | ۹۷/۸/۱۲ | ۱۶۳ | ۲۹۴ | ۲۶۲ | ۶ | ۱۶ | ۹۱ | ۲۰۵۸۸ | ۷/۰۰ | ۵/۰۱ | ۲۲ |
| ۱۸ | ۹۷/۸/۱۳ | ۱۶۳ | ۲۹۴ | ۲۶۵ | ۵ | ۱۶ | ۹۲ | ۲۱۷۳۹ | ۷/۴۰ | ۶/۳۴ | ۳۷ |
| ۱۹ | ۹۷/۹/۲ | ۱۷۶ | ۳۲۶ | ۲۵۱ | ۶ | ۱۶ | ۱۱۳ | ۳۲۴۶۸ | ۹/۹۶ | ۵/۸۴ | ۱۸ |
| ۲۰ | ۹۷/۹/۲۴ | ۱۲۶ | ۲۴۱ | ۱۶۸ | ۴ | ۴۸ | ۶۷ | ۹۹۱۰ | ۴/۲۲ | ۲/۰۳ | ۲۱ |
| ۲۱ | ۹۷/۹/۲۴ | ۱۲۶ | ۲۴۲ | ۱۶۹ | ۵ | ۴۸ | ۶۷ | ۹۳۸۸ | ۳/۹۸ | ۱/۷۷ | ۱۸ |
| ۲۲ | ۹۷/۹/۲۵ | ۱۲۵ | ۲۴۰ | ۱۶۱ | ۴ | ۴۷ | ۶۷ | ۱۰۲۱۷ | ۴/۳۷ | ۳/۰۶ | ۳۲ |
| ۲۳ | ۹۷/۱۰/۵ | ۱۲۸ | ۲۸۷ | ۱۲۸ | ۵ | ۴۷ | ۷۴ | ۹۱۹۵ | ۳/۲۰ | ۲/۵۸ | ۵۷ |
| ۲۴ | ۹۷/۹/۲۵ | ۱۲۶ | ۲۴۷ | ۱۴۳ | ۵ | ۱۹ | ۶۸ | ۲۵۰۰۰ | ۱۰/۱۴ | ۴/۸۲ | ۱۸ |
| ۲۵ | ۹۷/۹/۲۶ | ۱۲۶ | ۲۴۹ | ۱۴۱ | ۵ | ۱۹ | ۶۸ | ۳۳۰۰۰ | ۱۳/۲۵ | ۶/۸۶ | ۲۱ |
| ۲۶ | ۹۷/۹/۲۷ | ۱۲۶ | ۲۵۳ | ۱۳۷ | ۵ | ۱۹ | ۶۸ | ۳۶۰۰۰ | ۱۴/۲۳ | ۸/۰۱ | ۲۵ |
| ۲۷ | ۹۷/۹/۲۸ | ۱۲۶ | ۲۵۶ | ۱۳۲ | ۵ | ۱۹ | ۶۹ | ۴۱۷۵۸ | ۱۶/۳۲ | ۱۰/۴۶ | ۳۳ |
| ۲۸ | ۹۷/۹/۱۲ | ۱۵۶ | ۳۲۵ | ۱۵۳ | ۶ | ۱۸ | ۹۳ | ۱۴۷۰۶ | ۴/۵۳ | ۲/۲۲ | ۲۷ |
| ۲۹ | ۹۷/۸/۲۵ | ۱۵۵ | ۲۸۴ | ۲۱۱ | ۸ | ۱۸ | ۸۵ | ۱۷۲۴۱ | ۵/۶۹ | ۲/۷۴ | ۲۰ |
| ۳۰ | ۹۷/۸/۲۵ | ۱۵۵ | ۲۸۴ | ۲۱۱ | ۸ | ۱۸ | ۸۵ | ۱۵۰۰۰ | ۴/۹۵ | ۲/۱۷ | ۱۷ |
| ۳۱ | ۹۷/۸/۳۰ | ۱۵۸ | ۳۱۸ | ۲۲۰ | ۷ | ۵ | ۸۸ | ۱۷۴۳۶ | ۵/۴۹ | ۳/۱۳ | ۲۹ |
| ۳۲ | ۹۷/۹/۱۲ | ۱۴۰ | ۲۸۷ | ۲۳۷ | ۶ | ۵ | ۷۵ | ۲۳۴۱۵ | ۷/۲۰ | ۵/۱۱ | ۴۰ |
| ۳۳ | ۹۷/۸/۱۰ | ۱۷۵ | ۲۵۵ | ۲۵۷ | ۷ | ۵ | ۷۴ | ۳۳۸۴۶ | ۱۱/۷۹ | ۵/۶۲ | ۹ |




شکل ۵- متوسط نوبت‌های آبیاری و بارش‌های معادل آبیاری مزارع و منابع آب مختلف



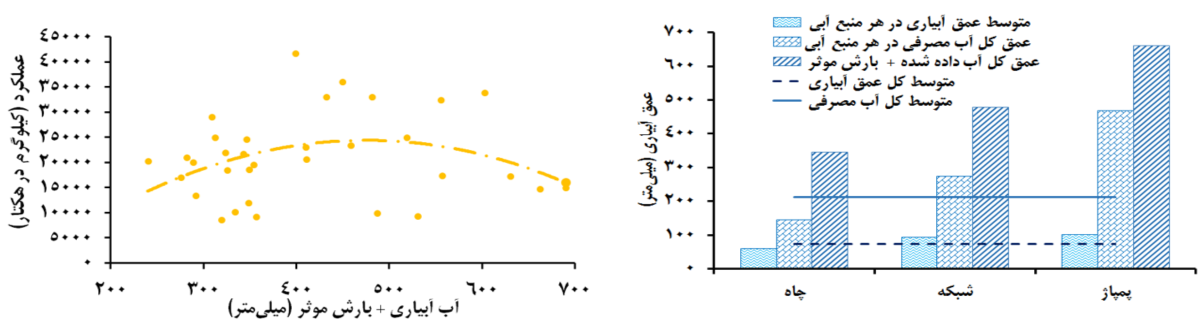

شکل ٦- تغییرات رطوبت خاک برآورد شده مزارع انتخابی

## آب مصرفی و عملکرد

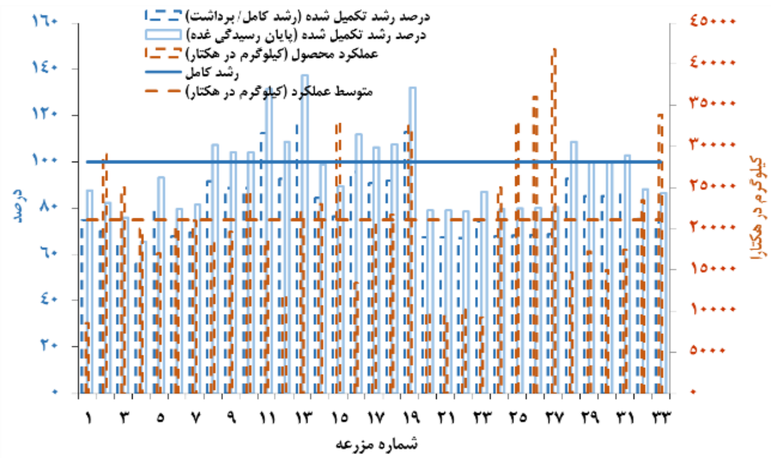
متوسط عمق ۹۵ بار آبیاری اندازه‌گیری شده در ۳۳ مزرعه انتخابی، ۷۴ میلی‌متر بود. این مقدار در اراضی آبخور شبکه آبیاری در هر دو روش آبگیری ثقلی و پمپاژ به ترتیب با ۹۳ و ۱۰۴ میلی‌متر نسبت به عمق آبیاری مزارع آبخور چاه با مقدار ۶۱ میلی‌متر متوسط بیشتری داشتند (شکل ۷). به نظر می‌رسد که در اراضی آبخور چاه عواملی مثل کاهش هزینه برق مصرفی، اطمینان نسبی از تأمین آب مراحل بعدی و مدول آبیاری کمتر باعث شده‌اند عمق آبیاری در این اراضی متوسط کمتری داشته باشند. با بهره‌مندی از متوسط ۲۰۱ میلی‌متر بارش مؤثر و عمق ناخالص آبیاری ۲۱۴ میلی‌متر، متوسط کل آب مصرفی مزارع انتخابی ۴۱۴ میلی‌متر بود. این مقدار در هر سه منبع آب چاه، شبکه آبیاری – ثقلی و شبکه آبیاری – پمپاژ به ترتیب ۳۴۶، ۴۷۸ و ۶۶۱ میلی‌متر بود. رسم تغییرات عملکرد نسبت به کل آب مصرفی در شکل شماره ۷ نشان می‌دهد که بیشترین عملکرد در مقدار کل آب مصرفی حدود ۴۷۰ میلی‌متر بود و به نظر می‌رسد که در مزارع با آب مصرفی کمتر و بیشتر از این مقدار به‌ترتیب تنش‌های کم‌آبیاری و بیش‌آبیاری اتفاق افتاده است.

## طول دوره رشد

سیب‌زمینی در طول دوره رشد خود پس از سپری کردن مراحل جوانه‌زنی و مرحله اولیه رشد توسعه‌ای وارد مرحله گلدهی و تشکیل غده می‌شود و این مراحل بسته به تاریخ کاشت، ارقام و ... ۴۵ الی ۵۰ روز به طول می‌انجامد. کشاورزان عموماً با توجه به شرایط بازار، تاریخ برداشت مزارع سیب‌زمینی را تعیین می‌کنند در کشت‌های بدون تأخیر در مهرماه، مراحل میانی و پایانی رشد در اواخر بهمن و اوایل اسفند با خنکی هوا همراه است و چنانچه رطوبت حاصل از بارش‌های فصلی و احتمال پوسیدگی غده‌ها به‌ویژه در حضور عوامل بیماری‌زای بوته و غده محدودکننده زمان برداشت نباشد، ترجیح کشاورزان برداشت در فرصت مناسب بازار است اما در کشت‌های تأخیری که مراحل میانی و پایانی رشد هم‌زمان با گرم شدن هوا است، کشاورزان الزاماً منتظر سپری‌شدن حدود ۱۳۵ الی ۱۴۰ روز طول دوره کامل و پیری بوته سیب‌زمینی و رسیدگی کامل غده‌های سیب‌زمینی نمی‌شوند و پیش از موعد برداشت را انجام می‌دادند در این انتخاب برخی کشاورزان مزرعه خود را به‌صورت مرحله‌ای برداشت می‌کردند و این برداشت تا بیست روز به طول می‌انجامید. برای مقایسه تاریخ برداشت اعمال‌شده کشاورز نسبت به مراحل رسیدگی غده و تکمیل فاز رشد گیاه (آمادگی برداشت سیب‌زمینی) مزارع انتخابی نمودارهای شکل ۸ ترسیم‌شده‌اند. ملاحظه می‌شود که با در نظر گرفتن زمان تکمیل اندازه غده ۱۵ مزرعه و با در نظر گرفتن تکمیل فاز رشد گیاه و غده فقط ۳ مزرعه (شماره‌های ۱۱، ۱۳ و ۱۹) از ۳۳ مزرعه انتخابی، زمان برداشت را رعایت کردند. به‌عبارت‌دیگر به‌طور متوسط کشاورزان منطقه با سپری شدن ۸۰ درصد رشد کامل و یا تا ۹۵ درصد فاز رسیدگی غده‌های سیب‌زمینی مزارع خود را برداشت و محصول خود را روانه بازار می‌کنند. این موضوع به لحاظ کیفیت سیب‌زمینی‌های برداشت‌شده و به‌ویژه رعایت فاصله کوددهی‌های بی‌رویه بعد از ۵۰ الی ۶۰ روز اولیه رشد تا برداشت یا سم‌پاشی برای مبارزه با بیماری‌های ویروسی و باکتریایی غده‌های سیب‌زمینی بسیار حائز اهمیت است.



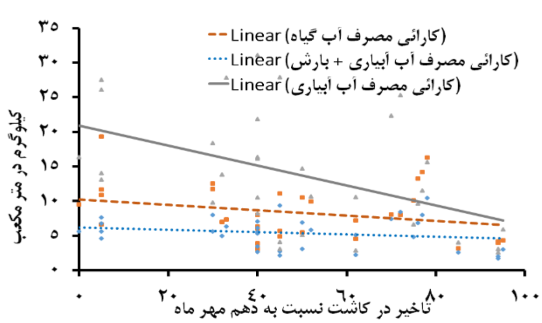

**شکل ۷- آب مصرفی و عملکرد غده سیب‌زمینی مزارع و منابع آب مختلف**




**شکل ۸ – برداشت کشاورز نسبت به مراحل رسیدگی غده و تکمیل فاز رشد گیاه (آمادگی برداشت سیب‌زمینی) مزارع انتخابی**

## شاخص‌های کارایی مصرف آب

نتایج محاسبه شاخص‌های کارایی مصرف آب گیاه و کارایی مصرف آب آبیاری با استفاده از روابط ۲ و ۳ در جدول ۳ ارائه‌شده‌اند. مقادیر بیشینه ۱۹/۳ و متوسط ۸/۳۶ کیلوگرم بر مترمکعب شاخص کارایی مصرف آب گیاه (CWP) نشان‌دهنده امکان تولید غده سیب‌زمینی است به‌عبارت‌دیگر در شرایط اقلیمی شمال استان خوزستان به ازای تأمین هر مترمکعب آب خالص مصرفی گیاه در هکتار امکان تولید حداکثر ۱۹/۳ کیلوگرم غده سیب‌زمینی وجود دارد. درواقع این شاخص به‌صورت مقایسه‌ای می‌تواند مزیت اقلیمی هر منطقه کشاورزی در تولید سیب‌زمینی را نشان دهد؛ اما در شاخص کارایی مصرف آب آبیاری (WPI+Re) فرهنگ استفاده از آب (تأمین به‌موقع و به مقدار نیاز گیاه با حداقل تلفات) نهفته است. با فرض عملکرد ثابت به لحاظ عددی تفاوت این دو شاخص در تلفات آبیاری است. بر اساس اندازه‌گیری‌های مزارع انتخابی و آمار هواشناسی سال زراعی ۹۸–۹۷ مشخص شد که در اراضی محدوده این مطالعه با بارش مؤثر ۱۲۸ الی ۲۶۵ میلی‌متر در فصل رشد سیب‌زمینی و با حجم آب مصرفی ۴۸۶ (یک آبیاری ناقص) الی ۵۰۹۲ مترمکعب در هکتار، ۸۵۵۷ (کاهش عملکرد به دلیل بیمارهای ویروسی و باکتریایی بوته و غده) الی ۴۱۷۵۸ کیلوگرم غده سیب‌زمینی با کارایی مصرف آب آبیاری ۱/۷۷ الی ۱۰/۴۶ کیلوگرم در مترمکعب تولید شد. شاخص کارایی مصرف آب آبیاری که عبارت است از عملکرد به آب آبیاری مصرفی برای بررسی تأثیر تاریخ کاشت بر مصرف آب آبیاری محاسبه شد. در شکل ۹ روند تغییرات شاخص‌های کارایی مصرف آب نسبت به تأخیر در کاشت از دهم مهرماه رسم شده‌اند، ملاحظه می‌شود که در با تأخیر در کاشت نسبت به اولین تاریخ کاشت دهم مهرماه، هر سه شاخص کاهش داشتند و شاخص کارایی مصرف آب آبیاری با شیب معکوس ۱۴ درصدی کاهش تندتری نشان داد. در کشت‌های تأخیری، دوره رشد میانی سیب‌زمینی به فصل گرم بهار منتقل‌شده که نسبت به فصول پائیز و زمستان از تبخیر و تعرق روزانه بیشتر و بارش کمتری برخوردار است ازاین‌رو نیاز آبیاری مزارع سیب‌زمینی افزایش و شاخص‌های کارایی مصرف آب کاهش پیدا می‌کنند.




**شکل ۹- روند تغییرات شاخص‌های کارایی مصرف آب در تاریخ‌های کشت تأخیری نسبت به دهم مهرماه**

## بازده کاربرد آب در مزرعه

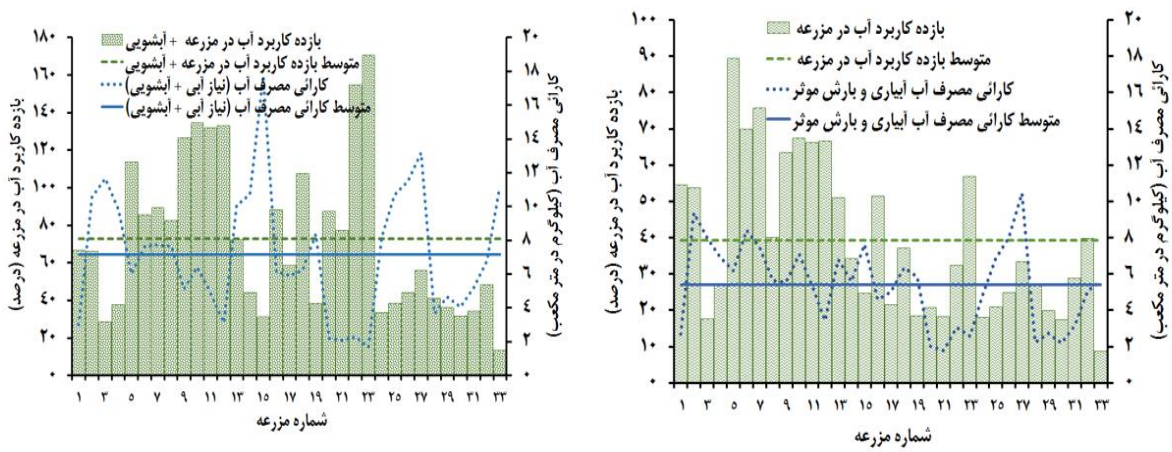
شاخص بازده کاربرد آب در مزرعه (WAE) بیان‌کننده تلفات آبیاری است. نتایج محاسبه بازده کاربرد آب در مزرعه با استفاده از رابطه ۴ در جدول ۳ ارائه‌شده‌اند. متوسط بازده کاربرد آب ۹۵ آبیاری انجام‌شده در مزارع انتخابی، ۳۹/۳ درصد بود.

با فرض عدم تأمین نیاز آبشویی مزارع از بارش‌های فصلی، برای محاسبه کارایی مصرف آب گیاه و بازده کاربرد آب در مزرعه اصلاحی، نیاز آبشویی به آب خالص موردنیاز (روابط ۶ و ۷) اضافه‌شده است. در شکل شماره ۱۰ شاخص‌های کارایی مصرف آب آبیاری به همراه شاخص‌های اولیه و اصلاحی کارایی مصرف آب گیاه، بازده کاربرد آب در مزارع انتخابی ارائه‌شده‌اند. بازده کاربرد آب بیشتر از ۱۰۰ درصد در مزارع شماره ۵، ۹، ۱۰، ۱۱،۱۲، ۱۸، ۲۲ و ۲۳ نشان‌دهنده مدیریت کم آبیاری و بروز تنش خشکی و احتمالاً شوری در این مزارع بود. شاخص کارایی مصرف آب آبیاری و بارش و همچنین متوسط شاخص بازده کاربرد آب کل آبیاری‌ها در مزارع شماره ۲، ۶، ۷، ۸، ۱۳ و ۳۲ بیشتر از میانگین آن در مزارع انتخابی (شکل ۱۰) می‌تواند نشان‌دهنده مدیریت مناسب تأمین نیاز آبی و نیاز آبشویی با حداقل تلفات آبیاری باشد. برای تشخیص بهتر مدیریت آبیاری‌های این مزارع با مراجعه به گراف‌های تغییرات رطوبت ارائه‌شده در شکل‌های ۴ و ۱۱ ملاحظه می‌شود که در مزارع شماره ۲، ۶، ۷ و ۳۲، مدیریت کم آبیاری یا مدیریت همراه با تنش خشکی در مرحله میانی رشد باعث شده بازده کاربرد آب در مزرعه اعداد بزرگ‌تر از میانگین را نشان دهند ضمن اینکه انجام عملیات برداشت زودهنگام (در اواخر مرحله میانی رشد) و قبل از پیری بوته و رسیدگی غده، گویای مدیریت نامناسب زراعی این مزارع بود. ازاین‌رو از ۳۳ مزرعه انتخابی و ارزیابی‌شده در این بررسی فقط دو مزرعه شماره ۸ و ۱۳ به‌عنوان کشت‌های نیمه اول مهرماه، بهره‌مند از بارش‌های فصلی و بدون تنش کم‌آبی از کارایی مصرف آب آبیاری بالاتری نیز برخوردار بودند.

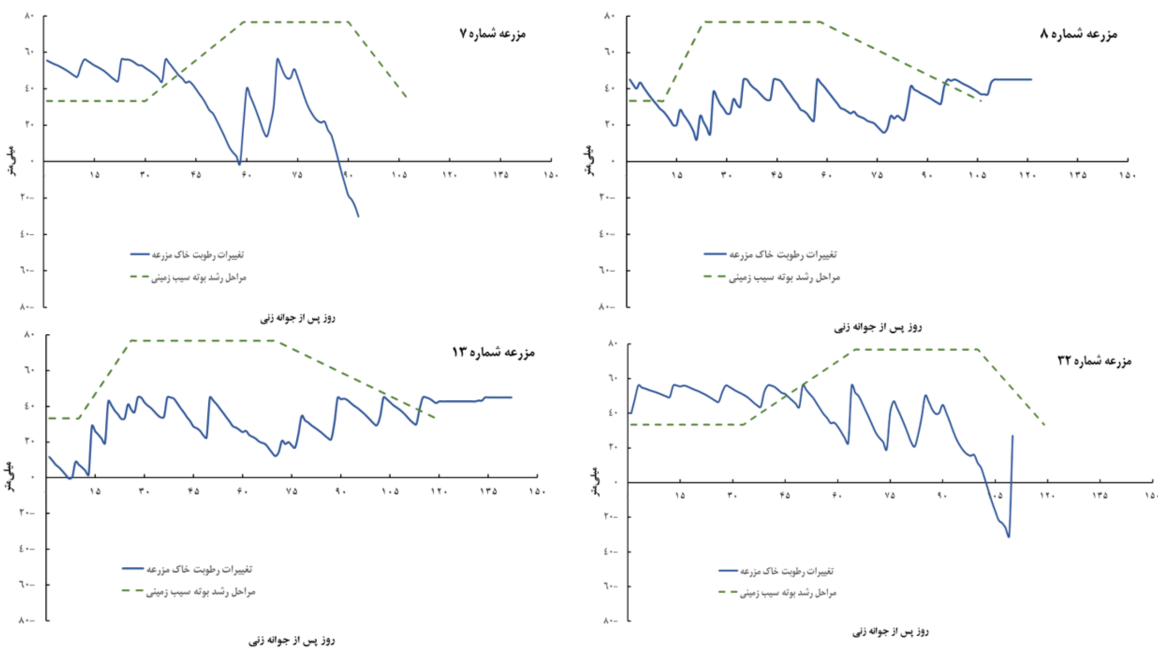
وقوع بارش‌های متعدد بیشتر از دو برابر متوسط سالیانه در سال زراعی ۹۸-۹۷ باعث کاهش تعداد آبیاری‌های مزارع و همچنین افزایش رطوبت هوا موجب کاهش نیاز آبی محاسباتی این سال مرطوب و استثنایی شد ازاین‌رو به‌منظور برآورد شاخص کارایی مصرف آب آبیاری نزدیک‌تر به متوسط سالانه منطقه‌ای، از آمار ۱۰ ساله اخیر ایستگاه سینوپتیک هواشناسی کشاورزی صفی‌آباد استفاده شد. نیاز آبی مزارع با استفاده از آمار ده‌ساله هواشناسی ۲۶۳ الی ۳۸۲ میلی‌متر با متوسط ۳۵۰ میلی‌متر و بارش مؤثر از ۱۱۴ الی ۲۲۲ میلی‌متر با متوسط ۱۵۷ میلی‌متر برآورد شدند. بدین ترتیب از متوسط نیاز آبی ۳۵۰ میلی‌متر نیاز آبی سیب‌زمینی، در یک سال نرمال، ۱۵۷ میلی‌متر توسط بارش‌های فصلی و مابقی آن به مقدار ۱۹۳ میلی‌متر می‌بایست با آبیاری تأمین شود. با استفاده از متوسط بازده کاربرد آب محاسباتی (۳۹/۳ درصد)، متوسط نیاز آبیاری مزارع سیب‌زمینی، ۴۹۰۰ مترمکعب در هکتار است. همچنین با لحاظ کردن متوسط عملکرد مزارع اندازه‌گیری شده به مقدار ۲۱۱۰۰ کیلوگرم در هکتار، متوسط کارایی مصرف آب آبیاری مزارع سیب‌زمینی در شمال استان خوزستان معادل ۳/۲۶۱ کیلوگرم در مترمکعب برآورد می‌شود. این شاخص در سال‌های کم‌بارش و خشک با آب آبیاری مصرفی تا ۹۸۰۰ مترمکعب تا مقدار ۲/۱۷ کیلوگرم در مترمکعب کاهش می‌یابد.

کارایی مصرف آب مزارع سیب‌زمینی مزارع استان خوزستان وابستگی زیادی به وقوع بارش‌های مؤثر فصلی در دوره رشد گیاه دارد و ازاین‌جهت مقدار کارایی مصرف آب آبیاری جویچه‌ای در محدوده ۲ الی ۱۰ کیلوگرم در مترمکعب قرار می‌گیرد. بهبود کارایی مصرف آب با تأمین نیاز گیاه با حداقل تلفات آبیاری و افزایش عملکرد با روش‌های توصیه‌شده زراعی تحقق می‌یابد. در سیب‌زمینی در مزارع با بافت خاک سبک و درشت‌دانه کشت می‌شود ظرفیت نگهداشت آب این خاک‌ها کم است و احتمال بروز تنش خشکی برای مزارع سیب‌زمینی باریشه نسبتاً کم‌عمق، به‌ویژه در آبیاری سطحی، یکی از عوامل کاهش عملکرد این مزارع است.

استفاده از سامانه‌های آبیاری بارانی و قطره‌ای در مزارع سیب‌زمینی ضمن کاهش تلفات آبیاری با امکان مدیریت افزایش دفعات آبیاری با عمق متناسب ظرفیت نگهداشت آب خاک‌های سبک و درشت‌دانه احتمال بروز تنش‌های آبی در مزرعه کاهش‌یافته و شرایط افزایش عملکرد سیب‌زمینی باکیفیت مناسب‌تر را فراهم می‌کند.




**شکل ۱۰- کارایی مصرف آب آبیاری و بازده کاربرد آب در مزرعه با و بدون در نظر گرفتن نیاز آبشویی در مزارع انتخابی**




**شکل ۱۱- تغییرات رطوبت خاک مزارع انتخابی در طول دوره رشد سیب‌زمینی**

## نتیجه‌گیری

- بر اساس اندازه‌گیری‌های انجام‌شده مناسب‌ترین تاریخ کاشت سیب‌زمینی در شمال استان خوزستان نیمه اول آبان تا نیمه آذرماه است.
- در استان خوزستان، سند ملی نیاز آبی سیب‌زمینی را کمتر از مقدار واقعی و کتاب برآورد آب موردنیاز گیاهان زراعی و باغی این نیاز را بسیار بیشتر از مقدار خود برآورد کرده است.
- با استفاده از آمار هواشناسی سال زراعی ۹۸-۹۷، نیاز آبی سیب‌زمینی ۱۹۳ الی ۳۲۸ میلی‌متر و کمتر از مقادیر متوسط ده‌ساله آمار هواشناسی منتهی به سال ۱۳۹۵، به مقدار ۲۶۳ الی ۳۸۲ میلی‌متر برآورد شد.
- به‌طور متوسط کشاورزان منطقه با سپری شدن ۸۰ درصد رشد و تا ۹۵ درصد فاز رسیدگی غده‌های سیب‌زمینی مزارع خود را برداشت می‌کنند. توصیه می‌شود که برداشت بر اساس مراحل رسیدگی غده و پس از پیری بوته سیب‌زمینی انجام شود.
- طی سال زراعی ۹۸-۹۷ در ۳۳ مزرعه انتخابی به‌طور متوسط با بارش مؤثر ۲۰۱ میلی‌متر در فصل رشد گیاه و با حجم آب مصرفی ۲۱۳۵ مترمکعب در هکتار، ۲۱۱۰۰ کیلوگرم غده سیب‌زمینی با کارایی مصرف آب (بارش + آبیاری) ۵/۴۱ کیلوگرم در مترمکعب تولید شد.
- متوسط بازده کاربرد آب در ۳۳ مزرعه انتخابی، ۳۹/۳ درصد به دست آمد بنابراین بدون احتساب بارش‌های فصلی و بر اساس نیاز آبی (ده‌ساله)، آب مصرفی در روش آبیاری جویچه‌ای ۶۷۰۰ الی ۹۸۰۰ مترمکعب برآورد می‌شود. لیکن با تقارن فصل بارش‌ها، حدود ۱۵۰ الی ۲۲۵ میلی‌متر (متوسط ۱۷۵ میلی‌متر) از نیاز خالص گیاه با بارش‌های مؤثر سالیانه تأمین می‌شود و بنابراین متوسط آب مصرفی مزارع سیب‌زمینی به ۴۹۰۰ مترمکعب در هکتار کاهش می‌یابد.
- با در نظر گرفتن اندازه‌گیری‌ها و شاخص‌های تعیین‌شده در این بررسی مزرعه شماره ۱۳ در مزارع انتخابی با کشت زمستانه سیب‌زمینی با سپری کردن دوره رشد تا رسیدگی کامل و بدون تنش خشکی در مراحل رشد، ۲۲ تن غده سیب‌زمینی قابل‌ارائه به بازار مصرف و با کارایی مصرف آب (بارش + آبیاری) ۶/۸۱ کیلوگرم در مترمکعب و بازده کاربرد آب در مزرعه ۵۱ درصد مزرعه نمونه است.
- در تاریخ کاشت اول آبان تا نیمه آذرماه و رعایت سپری‌شده کامل دوره رشد تا رسیدگی، مزرعه شماره ۱۹ با عملکرد ۳۲/۵ تن در هکتار غده سیب‌زمینی با کارایی مصرف آب (بارش + آبیاری) ۵/۸۴ کیلوگرم در مترمکعب مزرعه برتر است و با مدیریت کاهش یا حذف آبیاری ۹۳ میلی‌متری قبل از برداشت، شاخص کارایی مصرف آب تا ۷ کیلوگرم در مترمکعب افزایش می‌یابد.
- با توجه به اهمیت سیب‌زمینی در تغذیه و امنیت غذایی کشور، نظارت بر تولید و فروش غده‌های بذری ازنظر سلامت غده‌ها (عوامل بیماری‌زای غده)، زمستان‌گذرانی، نوع و ارقام پر محصول بسیار ضروری است.
- استفاده از ارقام پر محصول در افزایش بهره‌وری آب مزارع سیب‌زمینی مؤثر است.
- در مدیریت آبیاری مزارع سیب‌زمینی با توجه به حساسیت این گیاه به تنش‌های آبی، توجه به تغییرات رطوبت خاک به‌ویژه در مراحل تشکیل اولیه تا پایان حجیم شدن غده‌های سیب‌زمینی ضروری است.
- بروز تنش کم‌آبی در غالب مزارع این مطالعه نشان داد که آبیاری سطحی – جویچه‌ای قابلیت بسیار کمی در اعمال مکرر آبیاری‌های سبک (عمق کم) را داراست و ازاین‌جهت برای دستیابی به کارایی‌های مصرف آب بالاتر پیشنهاد می‌شود که حتی‌الامکان از روش‌های آبیاری بارانی و قطره‌ای در مزارع سیب‌زمینی به‌ویژه در اراضی آبخور چاه استفاده شود.
- لازمه تولید کمی و کیفی سیب‌زمینی دانش کشاورزان و توجه به توصیه‌های فنی و مدیریت‌های خاص آن است و ازاین‌رو برگزاری دوره‌های آموزشی مدیریت‌های آب‌وخاک، شناخت مراحل رشد، تأمین نیازهای غذایی و آب متناسب مراحل رشد و لزوم تأکید بر رسیدگی کامل غده‌ها برای تولیدکنندگان ضروری است.

## مراجع

حیدری، ن. ۱۳۹۰. تعیین و ارزیابی شاخص کارایی مصرف آب محصولات زراعی تحت مدیریت کشاورزان در کشور. مجله مدیریت آب و آبیاری، ۲ (۱): ۴۳ – ۵۷.

حیدری، ن.، اسلامی، ا.، قدمی فیروزآبادی، ع.، کانونی، ا.، اسدی، م. و عبدالهی، م. خ. ۱۳۸۵. کارایی مصرف آب محصولات زراعی مناطق مختلف کشور. اولین همایش ملی

مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی ایران. ۱۲ تا ۱۴ اردیبهشت. دانشگاه شهید چمران اهواز.

دارابی، ع. ۱۳۸۶. اثر کاشت پاییزه و زمستانه و تنش دما بر عملکرد کل، عملکرد قابل‌فروش و اجزاء عملکرد چند رقم سیب‌زمینی. مجله نهال و بذر،۲۳ (۳):۳۷۳-۳۸۵.

دارابی، ع. ۱۳۹۲. اثر تاریخ کاشت بر عملکرد کل و قابل‌فروش ارقام سیب‌زمینی در خوزستان. مجله بهزراعی نهال و بذر ۲-۲۹ (۳):۳۶۹-۳۷۸.

رضوانی، س. م. و جعفری، ع. م. ۱۳۸۴. ارزیابی فنی و اقتصادی سیستم‌های آبیاری بارانی اجراشده در مزارع سیب‌زمینی در استان‌های همدان و اصفهان. گزارش نهایی شماره ۸۴/۴۰۱، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج.

رفیعی، م. ر. و ع. دارابی. ۱۳۸۶. بررسی تأثیر دور و میزان آبیاری بر عملکرد کل و قابل‌فروش و اجزای عملکرد ارقام سیب‌زمینی. مجله علمی کشاورزی، ۳۰(۱): ۲۷-۳۶.

قاسمی نژاد رائینی، م. ر. و معروفی، ص. ۱۳۹۰. مطالعه شاخص بهره‌وری آب، در مزارع سیب‌زمینی دشت همدان – بهار.نشریه علوم و مهندسی آب، ۱(۱): ۹۴-۸۷.

قدمی فیروزآبادی، ع. ۱۳۹۵. بررسی بازده، میزان انرژی مصرفی و کارایی مصرف آب در ایستگاه‌های پمپاژ برقی. فصلنامه مهندسی آبیاری و آب ایران، ۲۵(۶): ۱۴-۱.

قدمی فیروزآبادی، ع.، سیدان، س.م. و عباسی، ف. ۱۳۸۹. ارزیابی فنی و اقتصادی آبیاری با لوله‌های کم‌فشار (هیدروفلوم) و مقایسه آن با آبیاری سنتی و بارانی. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، ۲(۱۱): ۸۴-۷۳.

معیری، م. ۱۳۹۹. اندازه‌گیری آب مصرفی سیب‌زمینی در کشور. موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی. گزارش منطقه‌ای خوزستان، تیرماه ۹۹.

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, Rome.

Ayers, R.S., and Westcot D.W. 1985. Water Quality for Agriculture, FAO Irrigation and Drainage Paper 29 rev 1. FAO, UN, Rome 174pp.

Bos, M.G. 1985. Summary of ICID definitions on irrigation efficiency. ICID Bulletin 34, January, pp. 28–31.

Chen, H.H. and Li, P.H. 1980 Biochemical changes in tuber-bearing Solanum species in relation to frost hardiness during cold acclimation. Plant Physio. 66: 414-421

Dwell, R., KleinKopf, G. and Pavek, J.G. 1981. Stomatal conductance and gross photosynthesis of potato (Solanum tuberosum L.) as influenced by irradiance, temperature and growth stage, Potato Res. 24: 49-59.

Fabeiro, C., Martin de Santa Olalla, F. and de Juan, J.A. 2001. Yield and size of deficit irrigated potatoes. Agric. Water Manage. 48: 255-266.

King, B.A., Stark, J.C. 1996. Potato Irrigation Management, BUL0789. University of Idaho Cooperative Extension System Publication. Availablefrom: http://www.cals.uidaho.edu/edcomm/pdf/BUL/BUL0789.pdf

Lal, S.S. and Sud, K.C. 2001. Potato. In: Rathore PS (ed) Techniques and Management of Field Crop Production. Agro bios, India, pp 465-510.

Ojala, J.C.,, Stark, J.C. and Kleinkopf, G.E. 1990. Influence of irrigation and nitrogen management on potato yield and quality. Am. Potato J. 67: 29-43.

Oweis, T. and Hachum, A.Y. 2006. From water use efficiency to water productivity: Issues of Research and Development. Proceeding of the Expert Consultation Meeting of the water use Efficiency Network; 25-27 November 2006, ICARDA, Aleppo, Syria.

Pavlista, A.D. 1995. Potato production stages: Scheduling key practices. UNL Coop Ext Circ 1249.

Zwart, S.J., Bastiaansen, W.G.M. (2004). Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton, and maize. Agric. Water Manag., 69, 115-133. Al-Hamaiedeh, H., Bino, M. 2010. Effect of treated grey water reuse in irrigation on soil and plants. Desalination 256 (1–3), 115–119.

**Water Management in Agriculture**
**Vol. 7, No. 1, Spring and Summer 2020, 65-82**

**نشریه مدیریت آب در کشاورزی**
**جلد ۷، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۹، ص. ۸۲-۶۵**

# Potato Water Use Efficiency Analysis on Farms in the North of Khuzestan Province

**M. Moayeri**[1]

## Abstract

Annual evaluation of water use efficiency index provides the possibility of extracting strategies to improve farm water productivity. The main purpose of this article is to determine the effective factors in improving the water productivity of potatoes in the north of Khuzestan province. In Khuzestan province, potato cultivation has started from the first 10 days of October as winter planting or continuation plan with the aim of supplying the potatoes needed by the market, and will end until the first 10 days of February. The present paper is the result of studying on growing stages, management of surface-furrow irrigation and potato yield in 33 selected farms in different water supply sources including Dez and Gotvand’s irrigation and drainage networks, wells and pumping during one growing season. In this study, it was found that with an average effective rainfall of 201 mm and a volume of water consumption of 2135 cubic meters per hectare, 21100 kg of potato tubers with water use efficiency (effective rainfall + irrigation) 5.41 kg per cubic meter is produced. The average water application efficiency in these farms was 39.3%. Improper irrigation cycle and soil moisture caused most fields with delayed sowing dates, especially in the middle growth stage. Based on the analysis of farmers' managements, practical recommendations were provided to increase the water use efficiency of potatoes by selecting the appropriate planting date, timely irrigation management, observing the harvest time in proportion to the maturity of potato tubers and if possible change in irrigation method.

**Keywords:** Water Consumption, Potato Continuation Plan, Production Capacity, Tuber Yield, Evapotranspiration

[1] Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Department, Agriculture and Natural Resources Research and Education Center of Safiabad, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Dezful, Iran.
Man_Moayeri@yahoo.com
Received: 29 July 2020
Accepted: 10 September 2020

Water Management in Agriculture
Vol. 7, No. 1, Spring and Summer 2020, 83-94

نشریه مدیریت آب در کشاورزی
جلد ۷، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۹، ص. ۹۴-۸۳

مقاله علمی-ترویجی

# تعیین توابع تولید و بهره‌وری آب در هیبریدهای مرسوم کلزا (مطالعه موردی شهرستان میاندوآب)

مینا رحیمی[۱]، وحید رضاوردی‌نژاد[۲]*و حیدر طایفه رضایی[۳]

## چکیده

برای ارزیابی تأثیر آبیاری بر عملکرد دانه و بهره‌وری آب سه هیبرید مرسوم کلزا شامل اکاپی ($T_1$)، الیت ($T_2$) و میلنا ($T_3$) در قالب طرح آماری کرت‌های خرد شده نواری با سه تکرار و طی سال‌های زراعی ۸۴-۸۳ و ۸۵-۸۴، آزمایشی در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی شهرستان میاندوآب انجام شد. برای استخراج توابع تولید و بهره‌وری آب، هشت تیمار سطوح آبیاری ($IP_1$ تا $IP_8$) به ترتیب ۱۲۰، ۱۱۰، ۱۰۰، ۹۰، ۸۰، ۷۰، ۶۰ و ۵۰ درصد نیاز خالص آبیاری محاسبه‌شده با روش پنمن مانتیث فائو در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد توابع تولید در هیبریدهای $T_1$، $T_2$ و $T_3$ همبستگی برابر با ۰/۹۸، ۰/۹۸ و ۰/۹۷ دارند. با استخراج توابع بهره‌وری مشاهده شد که مقدار بهره‌وری آب در شرایط تنش شدید، کاهش و با افزایش مقدار آب، افزایش‌یافته است. درصورتی‌که اعمال کم‌آبیاری الزامی باشد، تیمار $IP_4$ به سبب ارائه بالاترین عملکرد دانه (میانگین عملکرد دانه برابر با ۳۷۵۸/۵ کیلوگرم در هکتار برای دو سال) پیشنهاد می‌گردد. نتایج تجزیه آماری پارامترهای بررسی‌شده نشان داد که با کاهش ۱۰ درصدی آب مصرفی، سود به میزان ۷/۸۳ و ۳/۴۴ درصد به ترتیب در سال‌های اول و دوم کاهش می‌یابد. هیبریدهای $T_2$ و $T_1$ به ترتیب در سال‌های اول و دوم بیشترین عملکرد را داشتند و عملکرد در سال دوم بالاتر از سال اول بود. علت این امر افزایش دما و تابش دریافتی بیشتر در سال دوم می‌باشد. با هدف حداکثر بهره‌وری آب، سطح آبیاری $IP_4$ و هیبرید $T_2$ پیشنهاد می‌شود.

**واژه‌های کلیدی:** آبیاری کرتی، سود، عملکرد دانه، کم‌آبیاری، مراحل فنولوژیکی رشد گیاه

## مقدمه

ایران کشوری است که به لحاظ اقلیمی در منطقه خشک و نیمه‌خشک واقع‌شده است. محدودیت منابع آب و توزیع نامناسب مکانی و زمانی بارش، استفاده از آبیاری برای تولید بیشتر محصولات کشاورزی و تهیه غذای جمعیت رو به رشد را ضرورت بخشیده است. از طرفی نیز مدیریت منابع آب، عرضه و تقاضا از مهم‌ترین دغدغه‌های سیاست‌گذاران می‌باشد (Reddy et al., 2020). لذا استفاده بهینه از منابع آب و تولید محصول با عملکرد بالا ضروری است. محققان مختلفی به بررسی میزان مصرف آب در تولید محصولات گیاهی و پاسخ گیاه به مقادیر مختلف آب پرداخته‌اند. سپاس خواه و تافته بهره‌وری اقتصادی آب و کود نیتروژن در آبیاری جویچه‌ای معمولی، یک‌درمیان ثابت و یک‌درمیان متغیر برای کشت کلزا را بررسی نمودند و برای هر روش آبیاری نیز چهار تیمار کودی شامل صفر، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار اعمال نمودند. نتایج حاصله نشان داد که بیشترین بازده اقتصادی کاربرد آب مربوط

[۱] دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.
[۲] دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران (*نویسنده مسئول: v.verdinejad@urmia.ac.ir)
[۳] مربی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی، ارومیه، ایران
تاریخ دریافت: ۹۹/۶/۲۰
تاریخ پذیرش: ۹۹/۷/۳۰
DOR: 20.1001.1.24764531.1399.7.1.8.5

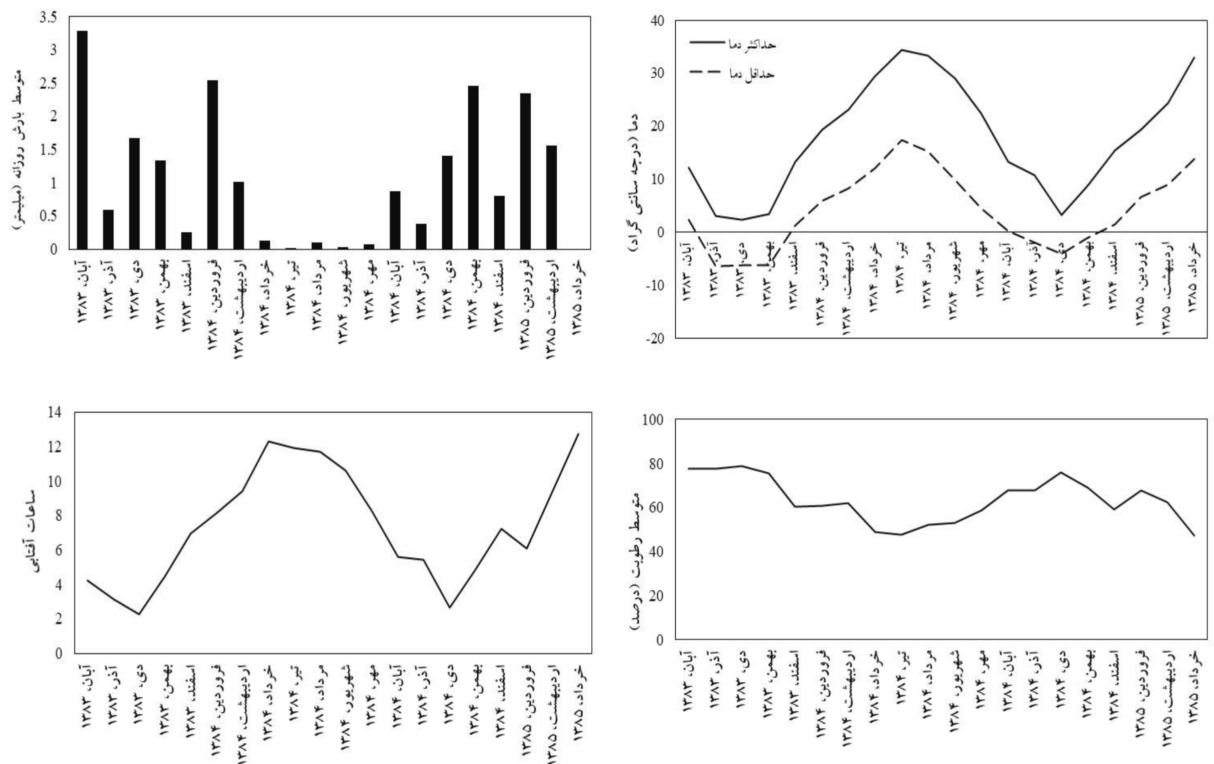
به روش جویچه‌ای یک‌درمیان متغیر با مصرف کود نیتروژن ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار است (Sepaskhah and Tafteh, 2012). فرجی و همکاران در مطالعه‌ای تأثیرات تنش حاصل از افزایش دما و آبیاری تکمیلی بر عملکرد دانه و راندمان کاربرد آب در گیاه کلزا را به مدت دو سال در مرکز تحقیقات کشاورزی گناباد ایران بررسی نمودند. دو هیبرید کلزا (Hyola401 و RGS003). در پنج تاریخ کشت مختلف برای ایجاد طیف گسترده‌ای از شرایط محیطی در دوره گلدهی و پر شدن دانه و ایجاد تنش‌های دمایی بالا کشت نمودند. نتایج نشان داد که آبیاری تکمیلی و بهینه‌سازی زمان کاشت سبب بهبود عملکرد دانه شده است. به‌علاوه رابطه معکوس بین عملکرد دانه و دمای هوا در طی مراحل رشد گیاهی وجود دارد. همچنین تأخیر در زمان کاشت کلزا نیز کاهش رشد، شاخص سطح برگ، راندمان کاربرد و عملکرد دانه را به دنبال داشته است (Faraji et al., 2009). داجمن و همکاران عملکرد دانه و بهره‌وری آب در هشت هیبرید مختلف کلزا در مناطق نیمه‌خشک و ارتفاعی مکزیک تحت بلوک‌های کامل تصادفی با سیستم آبیاری سنترپیوت را بررسی نمودند. نتایج نشان داد عملکرد دانه بسته به نوع هیبرید از ۲۳۹۳ تا ۵۷۱۷ کیلوگرم در هکتار متفاوت می‌باشد. کمترین عملکرد مربوط به هیبرید سومنر و بالاترین نیز به سیترو اختصاص داشت (Djaman et al., 2018). پاولیستا و همکاران عملکرد دانه، ویژگی‌های روغن کلزا و رشد گیاه را با استفاده از آب باران و نیز سه سطح آبیاری (۱۰، ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متر) در غرب نبراسکا بررسی نمودند. نتایج نشان داد استفاده از آبیاری باعث افزایش رشد گیاه (به لحاظ ارتفاع، وزن و طول ساقه) می‌شود (Pavlista et al., 2016). هرگرت و همکاران در مطالعه خود تأثیر سطوح مختلف آبیاری (۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌متر) بر عملکرد دانه، تغییرات رطوبت خاک، محتوای روغن و بهره‌وری آب کلزا را بررسی نمودند. این مطالعه در چهار فصل، سه منطقه مختلف و در غرب نبراسکا صورت گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش مقدار آبیاری، عملکرد دانه و مقدار روغن کلزا افزایش می‌یابد (Hergert et al., 2016). کامکار و همکاران مطالعه‌ای با هدف بررسی تأثیرات مقادیر مختلف آبیاری و کود نیتروژن بر عملکرد دانه در کلزا انجام داده و نتیجه گرفتند که با افزایش مقادیر کود، عملکرد دانه نیز افزایش می‌یابد و بهترین تیمار برای آبیاری نیز ۴۵ درصد تخلیه مجاز رطوبتی می‌باشد (Kamkar et al., 2011). غفاری مقدم و فنایی (۱۳۹۵) آزمایشی در سیستان و بلوچستان به‌منظور تعیین تیمارهای مناسب کلزا برای کم‌آبیاری صورت دادند و بر اساس تحلیل اقتصادی صورت گرفته، نشان دادند که تیمار ۷۰ درصد تخلیه رطوبتی خاک به همراه کاربرد ۲۵۰ کیلوگرم کود سولفات پتاسیم تیمار برتر در گیاه کلزا می‌باشد. کلزا گیاهی است که سازگاری بالایی با شرایط مختلف آب و هوایی دارد. از این گیاه می‌توان در تناوب با زراعت گندم و جو استفاده و از تراکم علف‌های هرز، بیماری‌ها و جمعیت آفات جلوگیری نمود و عملکرد دانه را افزایش داد (Sovero, 1993). این گیاه پتانسیل عملکرد بالا داشته و در بین دانه‌های روغنی از درصد روغن دانه بالایی (۴۰ تا ۴۵ درصد) برخوردار است (Sovero, 1993). به‌علاوه بقایای گیاهی کلزا، علاوه بر تأثیر مثبت در میزان ماده آلی خاک، در تأمین علوفه موردنیاز زارعین نیز مؤثر است (شریفی جهان تیغ و عباسی، ۱۳۸۸).

دشت میاندوآب یکی از دشت‌های مهم استان آذربایجان غربی به لحاظ تولید محصولات کشاورزی می‌باشد. شبکه آبیاری و زهکشی مدرن میاندوآب نیز بزرگ‌ترین شبکه آبیاری حوضه دریاچه ارومیه است. با توجه به بحران دریاچه ارومیه، لزوم استفاده بهینه از آب ضروری است. یکی از سیاست‌های وزارت جهاد کشاورزی، توسعه و ترویج کشت کلزا در این منطقه در سال‌های اخیر می‌باشد. در این مطالعه تحلیل اقتصادی، عملکرد دانه و بهره‌وری آب در سه هیبرید مختلف و رایج کلزا در استان آذربایجان غربی تحت مقادیر مختلف آبیاری بررسی شد. تیمارهای آبیاری شامل دو تیمار پرآبی به میزان ۱۱۰ و ۱۲۰ درصد نیاز خالص آبیاری، تیمار ۱۰۰ درصد نیاز خالص و پنج تیمار کم‌آبیاری شامل ۹۰، ۸۰، ۷۰، ۶۰ و ۵۰ درصد نیاز خالص تعیین شدند تا حالت‌های مختلف بیش‌آبیاری و کم‌آبیاری بر عملکرد دانه و بهره‌وری آب ارزیابی شود تا بتوان راهنمایی مناسب جهت مدیریت آب و تولید بیشتر این محصول و به دنبال آن افزایش بازده اقتصادی در محدوده مطالعاتی صورت گیرد.

## مواد و روش‌ها

این مطالعه در شهرستان میاندوآب، واقع در استان آذربایجان

غربـی و در مرکـز تحقیقـات کشـاورزی و منـابع طبیعـی و در مجاورت ایستگاه هواشناسی شهرستان میانـدوآب، بـه مـدت دو سال زراعی از مهرماه سال ۱۳۸۳ تا آبان ماه سال ۱۳۸۵ صورت گرفت. رقوم ارتفاعی محل انجام آزمایش‌های صـحرایی ۱۳۱۲ متر، طول جغرافیایی ۴۶/۰۸ و عـرض جغرافیـایی ۳۷/۰۱ مـی-باشد. اقلیم منطقه بر اساس روش‌هـای دومـارتن و آمبـرژه بـه ترتیب نیمـه‌خشـک و خشـک سـرد مـی‌باشـد. رونـد تغییـرات پارامترهای اقلیمی طی سال‌های آزمایش در شکل ۱ ارائـه‌شـده است. گیاه کلزا دارای یک ریشه عمـودی اصـلی اسـت کـه در صورت نفوذپذیر بودن خاک تا عمق ۸۰ سانتی‌متـری در خـاک فرو می‌رود. ریشه‌های فرعی این گیاه نیـز عمـدتاً در عمـق ۳۵ سانتی‌متری خاک توسعه می‌یابند و معمولاً افقی هستند. با توجه به بافت خاک محدوده مطالعاتی که نفوذپذیری متوسـطی دارد، حداکثر عمق ۶۰ سانتی‌متری برای تعیـین مشخصـات فیزیکـی خاک در نظر گرفته شد. مشخصات فیزیکی خاک محل آزمایش در دو عمق ۰ تا ۳۰ و ۳۰ تا ۶۰ سانتیمتر در جدول ۱ ارائه‌شـده است. بافت خاک محدوده مطالعاتی لوم سیلتی می‌باشد. درصـد رطوبت ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی بـا اسـتفاده از دسـتگاه صفحات فشاری اندازه‌گیری شـد کـه بـه ترتیـب برابـر ۲۸/۷ و ۱۴/۲ درصد جرمی می‌باشند. متوسط چگالی ظاهری خاک نیـز برابر ۱/۲۵ گرم بر سانتی مترمکعب می‌باشد. جهـت تـأمین آب موردنیاز آبیاری از یک حلقه چاه نیمه عمیق موجود در ایسـتگاه استفاده شد که کیفیت آب در آن به لحاظ شوری و قلیائیـت، در کلاس C2S1 (وضعیت مناسب) قرار داشت.




**شکل ۱- روند تغییرات پارامترهای هواشناسی محدوده مطالعاتی طی سال‌های آزمایش**

**جدول ۱- مشخصات بافت خاک محدوده مطالعاتی**

| عمق خاک (سانتیمتر) | شن (درصد) | سیلت (درصد) | رس (درصد) | بافت | درصد جرمی رطوبت ظرفیت زراعی | درصد جرمی رطوبت نقطه پژمردگی | چگالی ظاهری خاک (گرم بر سانتی مترمکعب) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۳۰-۰ | ۸/۲ | ۵۶/۷ | ۳۵/۱ | لوم سیلتی | ۲۹/۱ | ۱۴/۶ | ۱/۲۵ |
| ۶۰-۳۰ | ۶/۳ | ۵۷/۴ | ۳۶/۳ | لوم سیلتی | ۲۸/۴ | ۱۳/۹ | ۱/۲۴ |

تاریخ کاشت گیاه کلزا در سال اول و دوم به ترتیب برابر ۱۳۸۳/۷/۱۰ و ۱۳۸۴/۷/۱۲ و تاریخ برداشت نیز به ترتیب ۱۳۸۴/۳/۱۴ و ۱۳۸۵/۳/۱۵ بود. در خصوص زمان آبیاری، دور آبیاری و تخلیه مجاز رطوبتی ملاک عمل نبود و زمان آبیاری بر مبنای مراحل فیزیولوژیکی گیاه تنظیم گردید؛ بنابراین هفت نوبت آبیاری در مراحل رشد گیاهی شامل: کاشت، پنجه‌زنی، خوشه رفتن، گلدهی، خمیری شدن، دانه بستن و رسیدگی صورت گرفت.

روش آبیاری در این مطالعه، آبیاری سطحی با استفاده از کرت‌های مسطح می‌باشد. برای هر هیبرید کلزا، یک کرت به طول ۲/۵ متر و عرض ۱/۲ متر در نظر گرفته شد. برای آماده-سازی زمین جهت کشت گیاه کلزا، در شهریور ماه هر دو سال، کل زمین آزمایش به میزان ۵۰۰ مترمکعب در هکتار آبیاری گردید زیرا استفاده از شخم تر در سطح منطقه مرسوم است و از تولید کلوخه جلوگیری می‌کند. آبیاری کرت‌ها توسط موتورپمپ ۲ اینچ گازوئیلی صورت گرفت و دبی توسط فلوم WSC و در محل‌های مختلف اندازه‌گیری شد.

آزمایش بر اساس طرح کرت‌های خردشده نواری و در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. این مطالعه در قالب دو فاکتور اصلی و فرعی انجام شد. فاکتور اصلی سطوح مختلف آبیاری (هشت سطح) و فاکتور فرعی ارقام مختلف کلزا (سه هیبرید) بود. ارقام کلزا شامل اُکاپی ($T_1$)، الیت ($T_2$) و میلنا ($T_3$) بود که ارقام رایج منطقه می‌باشند. نیاز خالص آبیاری به‌صورت بهنگام و بر اساس اطلاعات هواشناسی ایستگاه تازه کند میاندوآب (به طول جغرافیایی ۴۶/۰۹ و عرض جغرافیایی ۳۶/۵۸) و ایستگاه تحقیقاتی میاندوآب (به طول جغرافیایی ۴۶/۰۲ و عرض جغرافیایی ۳۶/۵۹) و بر مبنای رابطه فائو پنمن مانتیث محاسبه و اعمال شد. سطوح آبیاری شامل ۱۲۰ درصد نیاز خالص آبیاری ($IP_1$)، ۱۱۰ درصد نیاز خالص ($IP_2$)، آبیاری کامل معادل ۱۰۰ درصد نیاز خالص ($IP_3$)، ۹۰ درصد نیاز خالص ($IP_4$)، ۸۰ درصد نیاز خالص ($IP_5$)، ۷۰ درصد نیاز خالص ($IP_6$)، ۶۰ درصد نیاز خالص ($IP_7$) و ۵۰ درصد نیاز خالص ($IP_8$) بود. مجموع بارش کل در طول دوره رشد کلزا برابر ۲۸۶/۲ میلی‌متر و مقدار بارش مؤثر نیز برابر ۸۵ میلی‌متر می‌باشد. در هر آبیاری، مقدار بارندگی‌ها در محاسبات وارد و از عمق خالص آبیاری کسر شد. در یک مورد، بارندگی بعد از آبیاری صورت گرفت که برای جلوگیری از تأثیر نامطلوب در تفسیر نتایج، آب کرت‌ها تخلیه شد.

تبخیر و تعرق واقعی گیاه ($ET_c$) بر اساس رابطه (۱) و به‌صورت روزانه محاسبه و به‌صورت تجمعی در زمان آبیاری اعمال شد.

$$ET_c = K_c \times ET_o \qquad (۱)$$

که در آن، $ET_0$: تبخیر و تعرق گیاه مرجع (میلی‌متر بر روز) و $K_c$ ضریب گیاهی کلزا است که با استفاده از اطلاعات محلی و ارقام ارائه‌شده در کتاب برآورد نیاز آبی گیاهان زراعی و باغی ایران (فرشی، ۱۳۷۷) در مقیاس ماهانه استخراج و با تقسیم بر تعداد روزهای هرماه به‌صورت روزانه استخراج شد.

برای تعیین آب موردنیاز خاکاب از کمبود رطوبت خاک (SMD) استفاده شد. رطوبت خاک در سال اول و قبل از آبیاری حدود ۱۵ درصد وزنی بود و بر اساس رطوبت ظرفیت زراعی و چگالی ظاهری خاک و نیز در نظر گرفتن عمق خاک جهت آبیاری معادل ۴۰ میلی‌متر، عمق موردنظر آبیاری در زمان کاشت محاسبه شد. بر این اساس، مقدار آب لازم برای آبیاری کرت‌ها در خاکاب، حدود ۷۰۰ مترمکعب هکتار در سال اول اعمال شد. در نوبت‌های آبیاری دوم به بعد، مقدار بارندگی‌ها نیز در محاسبات وارد و از عمق خالص آبیاری کسر شد. لذا مقدار آبیاری در نوبت‌های بعدی آبیاری، با احتساب ریزش باران و کمبود رطوبتی صورت گرفته و کمتر از مقدار آب اعمال‌شده در آبیاری اول می‌باشد. مقدار بارش مؤثر سالانه در سال اول انجام آزمایش برابر ۱۵۸/۶ میلی‌متر و در سال دوم انجام آزمایش برابر ۱۶۷ میلی‌متر می‌باشد. مجموع آب اعمال‌شده در تیمار $IP_1$ برابر ۴۴۴۰، در تیمار $IP_2$ برابر ۴۰۷۰، در تیمار $IP_3$ (آبیاری کامل) برابر ۳۷۰۰، در تیمار $IP_4$ برابر ۳۳۳۰، در تیمار $IP_5$ برابر ۲۹۶۰، در تیمار $IP_6$ برابر ۲۵۹۰، در تیمار $IP_7$ برابر ۲۲۲۰ و در تیمار $IP_8$ برابر ۱۸۵۰ مترمکعب در هکتار می‌باشد.

مشابه این عملیات، برنامه‌ریزی آبیاری برای سال زراعی دوم نیز تکرار شد. بر اساس آزمون خاک و توصیه مؤسسه تحقیقات خاک و آب، کود اوره در هرسال زراعی در سه نوبت به‌صورت سرک در مراحل کاشت، ساقه و خوشه رفتن به میزان ۳۰ کیلوگرم در هکتار در هر نوبت و کودهای پتاس و فسفر قبل از کاشت و به ترتیب به

میزان ۹۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار استفاده شد (نور قلی‌پور و همکاران، ۱۳۹۳). مقدار بذر کاربردی مطابق استاندارد و توصیه، شش کیلوگرم در هکتار اعمال شد. وجین علف هرز در کلیه تیمارها و در مراحل مختلف رشد صورت گرفت. برای ثبت عملکرد دانه، به دلیل اینکه اندام هوایی بوته‌های کلزا به علت نحوه رشد در هم تداخل می‌کنند، هنگام برداشت امکان جدا کردن آن‌ها از هم وجود نداشت. لذا برای انجام یادداشت‌برداری عملکرد دانه، کل کرت برداشت شد. یکی از پارامترهای مهم جهت ارزیابی، بهره‌وری آب می‌باشد. بهره‌وری آب به مقدار عملکرد یا ارزش عملکرد گفته می‌شود که به ازای واحد حجم آب مصرفی به دست می‌آید. اگر مقدار آبیاری و بارش به‌عنوان آب مورداستفاده گیاه در نظر گرفته شود، بهره‌وری مصرف آب با $WP_{I+Pe}$ نشان داده‌شده و به‌صورت رابطه (۲) تعریف می‌گردد (زاهدپور یگانه و همکاران، ۱۳۹۶):

$$WP_{1+P_e} = \frac{Y}{I + P_e} \qquad (۲)$$

که در آن I و $P_e$ به ترتیب مقدار آبیاری و بارندگی مؤثر در طول فصل رشد (مترمکعب در هکتار) و Y وزن خشک اندام هوایی گیاه یا مقدار محصول قابل‌عرضه به بازار (کیلوگرم در هکتار) بوده که در مورد کلزا، وزن دانه در نظر گرفته شد. باران مؤثر به‌صورت بخشی از باران بوده و با استفاده از رابطه پیشنهادی ASCE محاسبه گردید.

$$P_e = \left(1.25P_t^{0.8242} - 2.935\right) \times 10^{ET_C \times 0.00095} \qquad (۳)$$

که در این رابطه $P_e$ باران مؤثر (میلی‌متر)، $P_t$ بارندگی ماهانه (میلی‌متر) و $ET_c$ نیاز آبی گیاه در ماه موردنظر (میلی‌متر) می‌باشد. آنالیز اقتصادی نیز بر اساس نسبت سود به هزینه انجام‌شده محاسبه شد. هزینه‌های انجام‌شده در این مطالعه شامل هزینه‌های مربوط به سم‌پاشی و کودپاشی، آبیاری، خرید بذر و هزینه‌های کارگری می‌باشد. برای تجزیه‌وتحلیل داده‌ها از نرم‌افزارهای MSTATC و اکسل استفاده شد. برتری میانگین داده‌ها نیز با استفاده از آزمون دانکن بررسی شد.

## نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس عملکرد دانه، بهره‌وری آب و سود برای دو سال آزمایش در جدول ۲ ارائه‌شده است. با توجه به جدول ۲ مشاهده می‌شود که میزان عملکرد دانه تحت تأثیر سال و مقادیر آبیاری در سطح یک درصد معنی‌دار است. معنی‌دار شدن عملکرد دانه بر اثر سال و مقادیر آبیاری بیانگر این است که تولید دانه ارتباط بسیار نزدیکی با مقدار آب در دسترس گیاه و شرایط حاکم در سال کشت محصول دارد. به‌علاوه عملکرد دانه در ارقام مختلف کلزا نیز متفاوت است و در سطح احتمال یک درصد اثر معنی‌دار را نشان می‌دهد. ضریب تغییرات آزمایش برای عملکرد دانه، بهره‌وری آب و سود نیز به ترتیب ۵/۱۰، ۶/۰۷ و ۸/۱۱ درصد است که بیانگر تغییرات متعارف در نتایج آزمایش می‌باشد.

### عملکرد دانه

مقایسه عملکرد دانه تحت اثر مقادیر آبیاری در سال اول آزمایش با استفاده از آزمون دانکن در سطح یک درصد انجام و خلاصه نتایج در جدول ۳ ارائه‌شده است. بیشترین عملکرد کلزا در سال اول آزمایش در سطح آبیاری $IP_3$ و برابر با ۴۱۲۴ کیلوگرم بر هکتار به دست آمد. $IP_2$ تیمار بیش‌آبیاری برابر با ۱۲۰ درصد نیاز آبی گیاه می‌باشد و عملکرد ۳۵۵۱ کیلوگرم بر هکتار داشته است که به کاهش ۱۴ درصدی عملکرد منجر شده است. $IP_1$ نیز تیمار بیش‌آبیاری است که عملکردی برابر با ۳۹۹۷ کیلوگرم بر هکتار داشته است. اعمال آبیاری بیش از نیاز آبی گیاه منجر به کاهش سه‌درصدی عملکرد نسبت به آبیاری کامل شده است. نتایج ارائه‌شده نشان می‌دهد که اعمال بیش‌آبیاری سبب کاهش عملکرد دانه می‌شود و هر چه میزان آب‌داده شده بیش‌تر از نیاز آبی گیاه باشد، کاهش عملکرد بیشتر خواهد بود. $IP_4$ تیمار کم‌آبیاری است که اعمال آن سبب کاهش ۸ درصدی عملکرد نسبت به آبیاری کامل شده است و بالاترین عملکرد در بین سایر تیمارهای کم‌آبیاری را نشان داد. سایر تیمارهای کم‌آبیاری ($IP_5$ تا $IP_8$) سبب کاهش عملکرد در حدود ۲۴ تا ۶۵ درصد نسبت به آبیاری کامل شده‌اند. در سال دوم انجام آزمایش نیز بیشترین عملکرد کلزا، تحت سطح آبیاری $IP_1$ حاصل شد. میزان عملکرد دانه در این سطح آبیاری برابر با ۴۱۴۹ کیلوگرم بر هکتار به دست آمد. تحت تیمارهای آبیاری $IP_2$ و $IP_3$ عملکرد دانه به ترتیب برابر با ۳۵۸۹ و ۳۹۳۸ کیلوگرم بر هکتار می‌باشد که به ترتیب سبب کاهش ۱۳/۵ و

پنج‌درصدی عملکرد نسبت به آبیاری کامل شده است. تیمار آبیاری $IP_4$ عملکردی برابر با ۳۷۱۸ کیلوگرم بر هکتار دارد و در گروه آماری c قرارگرفته است. با اعمال تیمار $IP_4$ عملکرد دانه ۱۰ درصد نسبت به تیمار $IP_1$ کاهش می‌یابد. سایر تیمارهای کم‌آبیاری سبب کاهش عملکرد به میزان ۲۰/۵ تا ۶۷ درصد شده‌اند. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، مشاهده می‌شود که کم-آبیاری و بیش‌آبیاری سبب کاهش عملکرد دانه در کلزا می‌شود.

**جدول ۲- تجزیه واریانس صفات موردمطالعه کلزا (تیمار: سطوح آبیاری و ارقام کلزا)**

| منابع تغییرات | درجه آزادی | میانگین مربعات | | |
|---|---|---|---|---|
| | | عملکرد دانه | بهره‌وری | سود |
| سال | ۱ | **۳۷۶/۵۸ | **۰/۰۷ | **۰/۱۱ |
| مقدار آبیاری | ۷ | **۱۵۸۹۲/۰۵ | **۰/۳۱ | **۰/۷۹ |
| ارقام کلزا | ۲ | **۷۱۱/۲۹ | **۰/۰۶۶ | **۰/۰۱ |
| مقدار آبیاری × ارقام کلزا | ۱۴ | **۲۳/۹۵ | **۰/۰۰۲ | **۰/۰۰۲ |
| خطا | ۶۴ | ۲۵/۵۲ | ۰/۰۰۴ | ۰/۰۰۶ |
| درصد ضریب تغییرات | - | ۵/۱ | ۶/۰۷ | ۸/۱۱ |

** معنی‌داری در سطح یک درصد، * معنی‌داری در سطح پنج درصد و ns معنی‌دار نبودن را بیان می‌کند.

در سال دوم انجام آزمایش نیز بیشترین عملکرد کلزا، تحت سطح آبیاری $IP_1$ حاصل شد. میزان عملکرد دانه در این سطح آبیاری برابر با ۴۱۴۹ کیلوگرم بر هکتار به دست آمد. تحت تیمارهای آبیاری $IP_2$ و $IP_3$ عملکرد دانه به ترتیب برابر با ۳۵۸۹ و ۳۹۳۸ کیلوگرم بر هکتار می‌باشد که به ترتیب سبب کاهش ۱۳/۵ و پنج‌درصدی عملکرد نسبت به آبیاری کامل شده است. تیمار آبیاری $IP_4$ عملکردی برابر با ۳۷۱۸ کیلوگرم بر هکتار دارد و در گروه آماری c قرارگرفته است. با اعمال تیمار $IP_4$ عملکرد دانه ۱۰ درصد نسبت به تیمار $IP_1$ کاهش می‌یابد. سایر تیمارهای کم‌آبیاری سبب کاهش عملکرد به میزان ۲۰/۵ تا ۶۷ درصد شده‌اند. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، مشاهده می-شود که کم‌آبیاری و بیش‌آبیاری سبب کاهش عملکرد دانه در کلزا می‌شود. در صورت اعمال کم‌آبیاری نیز این مقدار نباید از ۹۰ درصد نیاز آبی گیاه (تیمار $IP_4$) کمتر شود زیرا گیاه کلزا به تنش‌های شدید خشکی حساس است. فرناندا درسر و همکاران در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که گیاه کلزا به تنش آبی به‌شدت حساس است (Fernanda Dreccer et al., 2018). نتایج تأثیر متقابل آبیاری و ارقام کلزا در جدول ۴ ارائه‌شده است. با بررسی نتایج ارائه‌شده در جدول ۴، مشاهده می‌شود که بیشترین عملکرد کلزا تحت سطح آبیاری $IP_1$، در هیبرید $T_1$ و برابر ۴۴۵۳ کیلوگرم بر هکتار می‌باشد. تحت عمق آبیاری مذکور، بیشترین عملکرد بعد از هیبرید $T_1$، مربوط به هیبرید $T_2$ و سپس $T_3$ به ترتیب با عملکرد برابر با ۴۱۳۵ و ۳۸۵۲ کیلوگرم بر هکتار حاصل شد. در تیمار آبیاری $IP_2$، بیشترین و کمترین عملکرد محصول به ترتیب مربوط به $T_1$ و $T_3$ می‌باشد. با اعمال تنش آبی و در تیمار آبیاری $IP_4$ نیز بیشترین و کمترین عملکرد محصول به ترتیب مربوط به $T_1$ و $T_3$ می‌باشد. تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی ($IP_8$) در تمامی ارقام کلزا پایین‌ترین عملکرد را ارائه نموده است که با توجه به مقایسه میانگین به روش دانکن این سه تیمار در یک گروه آماری قرار گرفتند. نتایج فوق نشان می-دهد که هیبرید $T_1$ در مقایسه با دو هیبرید دیگر مقاوم‌تر می-باشد.

## بهره‌وری آب

مقادیر بهره‌وری آب در دو سال انجام آزمایش، مورد تجزیه‌وتحلیل آماری قرار گرفت (جدول ۳). با مقایسه مقادیر مربوط به بهره‌وری آب مشاهده می‌شود که بیشترین میزان بهره‌وری آب مربوط به تیمار $IP_3$ می‌باشد. تیمارهای $IP_1$ و $IP_2$ به علت مصرف آب بالاتر و تولید کمتر محصول، بهره‌وری آب پایین‌تری دارند. از بین تیمارهای کم‌آبیاری تنها می‌توان تیمار $IP_4$ به سبب ارائه بالاترین عملکرد و بهره‌وری آب، در بین سایر تیمارهای کم‌آبیاری معرفی نمود. با مقایسه مقادیر مربوط به بهره‌وری آب در سال دوم، بیشترین میزان بهره‌وری آب نیز مربوط به تیمار $IP_3$ می‌باشد. همانند سال اول انجام آزمایش،

تیمارهای $IP_1$ و $IP_2$ به علت مصرف آب بالاتر و تولید کمتر محصول، بهره‌وری آب پایین‌تری دارند. تیمارهای $IP_4$، $IP_5$، $IP_6$ و $IP_7$ در یک گروه آماری قرار گرفته‌اند اما میزان عملکرد در تیمارهای $IP_5$ تا $IP_7$ پایین می‌باشد. با توجه به نتایج ارائه‌شده در جدول ۴، مشاهده شد که هیبرید $T_2$ در سال اول انجام آزمایش و هیبرید $T_1$ در سال دوم انجام آزمایش بیشترین بهره-وری را داشته‌اند. همچنین تیمارهای $IP_3T_2$، $IP_3T_3$ و $IP_5T_2$ به لحاظ بهره‌وری در یک گروه آماری قرار گرفته‌اند؛ اما عملکرد در سه تیمار مذکور به ترتیب برابر با ۴۳۵۲، ۴۱۶۰ و ۳۳۸۸ کیلوگرم بر هکتار می‌باشد. به‌علاوه تیمارهای $IP_6T_2$ و $IP_6T_3$ نیز به لحاظ بهره‌وری با تیمار $IP_3T_1$ در یک گروه آماری قرارگرفته‌اند اما تیمارهای مذکور به لحاظ میزان عملکرد در گروه‌های آماری متفاوت قرارگرفته‌اند.

**جدول ۳- مقایسه میانگین تأثیر مقدار آبیاری و ارقام کلزا بر عملکرد دانه، بهره‌وری آب و سود**

| تیمار | عملکرد دانه (کیلوگرم بر هکتار) | بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب) | سود (میلیون ریال) | عملکرد دانه (کیلوگرم بر هکتار) | بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب) | سود (میلیون ریال) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | سال اول آزمایش | | | سال دوم آزمایش | | |
| $IP_1$ | ۳۹۹۷b | ۰/۹۸b | ۱۰/۰۰c | ۳۹۳۸b | ۰/۹۷b | ۹/۸۰c |
| $IP_2$ | ۳۵۵۱d | ۰/۸۶d | ۸/۶۰e | ۳۵۸۹d | ۰/۸۱c | ۸/۰۰d |
| $IP_3$ | ۴۱۲۴a | ۱/۱۱a | ۱۱/۵۰a | ۴۱۴۹a | ۱/۱۲a | ۱۱/۶۰a |
| $IP_4$ | ۳۷۹۹c | ۱/۰۷b | ۱۰/۶۰ | ۳۷۱۸c | ۱/۱۲a | ۱۱/۲۰b |
| $IP_5$ | ۳۱۲۵e | ۱/۰۵b | ۱۰/۲۰ | ۳۲۹۵e | ۱/۱۱a | ۱۰/۹۰bc |
| $IP_6$ | ۲۶۱۹f | ۱/۰۱b | ۹/۲۰d | ۲۹۶۶f | ۱/۱۵a | ۱۱/۰۰b |
| $IP_7$ | ۱۹۹۲g | ۰/۹۰c | ۷/۳۰f | ۲۴۴۰g | ۱/۱۰a | ۹/۸۰c |
| $IP_8$ | ۱۴۴۹h | ۰/۷۸e | ۵/۲۰g | ۱۳۸۱h | ۰/۷۵d | ۴/۷۰e |

## تحلیل سود

نتایج حاصل از سود آبیاری کامل، بیش‌آبیاری و کم‌آبیاری گیاه کلزا در جدول ۳ ارائه‌شده است. با توجه به نتایج ارائه‌شده در این جدول مشاهده می‌شود که سود در آبیاری کامل در بالاترین حد خود قرار دارد. اعمال بیش آبیاری به علت افزایش هزینه‌ها و نیز کاهش عملکرد گیاه نسبت به آبیاری کامل، سبب کاهش سود شده است. سود حاصل از اعمال کم‌آبیاری در تیمار $IP_4$، در رده دوم پس از آبیاری کامل قرار دارد؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت در صورت اعمال کم‌آبیاری به روش IP، تیمار $IP_4$ (آبیاری به میزان ۹۰ درصد آبیاری کامل) مناسب‌ترین تیمار می‌باشد. چنانچه ذکر شد، $T_2$ هیبرید بهینه کلزا در تمامی سطوح آبیاری است. در سطح آبیاری $IP_3$ هیبرید $T_2$ با سود برابر ۱۲/۲۰ میلیون ریال، در سطح آبیاری $IP_2$ هیبرید $T_2$ با سود برابر ۹/۳۰ میلیون ریال، در سطح آبیاری $IP_1$ هیبرید $T_2$ با سود برابر ۱۰/۶۰ میلیون ریال ارقام بهینه می‌باشند. تحت سطوح کم‌آبیاری، تیمار $IP_4$ هیبرید $T_2$ با سود برابر ۱۱/۵۰ میلیون ریال، در سطح آبیاری $IP_5$ هیبرید $T_2$ با سود برابر ۱۱/۳۰ میلیون ریال، در سطح آبیاری $IP_6$ هیبرید $T_2$ با سود برابر ۹/۸۰ میلیون ریال، در سطح آبیاری $IP_7$ هیبرید $T_2$ با سود برابر ۸/۲۰ میلیون ریال و در سطح آبیاری $IP_8$ هیبرید $T_2$ با سود برابر ۵/۶۰ میلیون ریال، هیبریدهای بهینه می‌باشند. برای سال دوم، در سطح آبیاری $IP_3$ هیبرید $T_1$ با سود برابر ۱۲/۶۰ میلیون ریال، در سطح آبیاری $IP_2$ هیبرید $T_1$ با سود برابر ۹/۱۰ میلیون ریال، در سطح آبیاری $IP_1$ هیبرید $T_1$ با سود برابر ۱۰/۱۰ میلیون ریال ارقام بهینه می‌باشند. تحت سطوح کم-آبیاری، تیمار $IP_4$، هیبرید $T_1$ با سود برابر ۱۲/۳۰ میلیون ریال، در سطح آبیاری $IP_5$ هیبرید $T_1$ با سود برابر ۱۲/۲۰ میلیون ریال، در سطح آبیاری $IP_6$ هیبرید $T_1$ با سود برابر ۱۲/۴۰ میلیون ریال، در سطح آبیاری $IP_7$ هیبرید $T_1$ با سود برابر ۱۰/۶۰ میلیون ریال و در سطح آبیاری $IP_8$ هیبریدهای $T_1$ و $T_2$ مشترک با سود برابر ۴/۸۰ میلیون ریال ارقام بهینه می‌باشند.

مطابق نتایج متقابل آبیاری و ارقام کلزا (جدول ۴)، مشاهده می‌شود که بیشترین عملکرد کلزا تحت سطح آبیاری $IP_3$، در هیبرید $T_2$ و برابر ۴۳۵۲ کیلوگرم بر هکتار می‌باشد. تحت عمق آبیاری مذکور، بیشترین عملکرد بعد از هیبرید $T_2$، مربوط به $T_3$ و سپس $T_1$ با عملکرد برابر ۴۱۶۰ و ۳۸۶۰ کیلوگرم بر هکتار می‌باشد. در تیمار آبیاری $IP_2$، بیشترین و کمترین عملکرد به ترتیب مربوط به $T_2$ و $T_1$ با ۴۰۳۲ و ۳۵۱۲ کیلوگرم بر هکتار می‌باشد. با اعمال تنش آبی و در تیمار آبیاری $IP_4$ نیز بیشترین و کمترین عملکرد محصول به ترتیب مربوط به $T_2$ و $T_1$ می-باشد. تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی ($IP_8$) در تمامی ارقام کلزا پایین-ترین عملکرد را ارائه نموده است که با توجه به مقایسه میانگین به روش دانکن این سه تیمار در یک گروه آماری قرار گرفتند. نتایج فوق نشان می‌دهد که هیبرید $T_2$ در مقایسه با دو هیبرید دیگر، به کم‌آبیاری یا بیش‌آبیاری مقاوم می‌باشد. در حالت کلی اعمال کم‌آبیاری یا بیش‌آبیاری منجر به کاهش عملکرد در

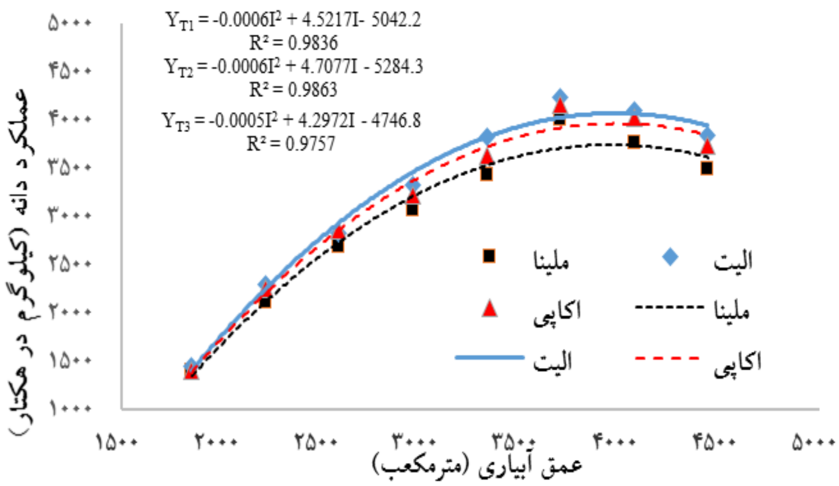
تمامی ارقام کلزا شده است و همان‌گونه که ذکر شد بهترین تیمار آبیاری، تیمار $IP_3$ می‌باشد.

## توابع تولید و بهره‌وری

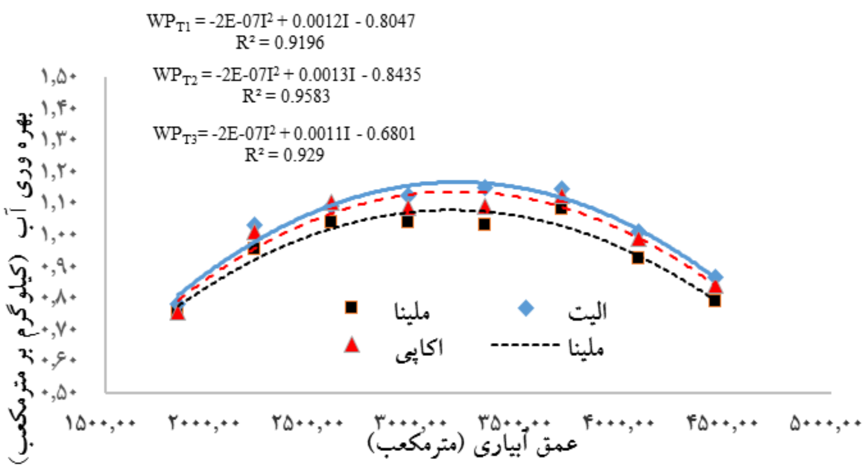
چنانچه ذکر شد، $T_2$ هیبرید بهینه کلزا در تمامی سطوح آبیاری در سال اول کشت می‌باشد. در سال دوم کشت هیبرید $T_1$ بهترین عملکرد را ارائه نموده است. با توجه به اینکه در کشت ارقام کلزا تمامی فاکتورهای مؤثر بر کشت در هر دو سال یکسان بود تنها عامل مورد تغییر شرایط آب و هوایی در سال دوم می‌باشد. در سال دوم انجام آزمایش حداقل دما در دی‌ماه و برابر منفی چهار درجه سانتی‌گراد بود. در سال اول آزمایش نیز حداقل دما در دی‌ماه و برابر منفی شش درجه سانتی‌گراد بود؛ بنابراین حداقل دما در سال دوم بیشتر می‌باشد. حداکثر دما در سال اول و دوم انجام آزمایش به ترتیب برابر ۳۴/۴۵ و ۳۶/۹۵ درجه سانتی‌گراد و در مردادماه می‌باشد که نشان می‌دهد دما در سال دوم انجام آزمایش گرم‌تر می‌باشد. حداقل رطوبت در سال دوم انجام آزمایش برابر ۲۴ درصد و در سال اول برابر ۲۶/۶۳ درصد می‌باشد. حداکثر رطوبت در سال دوم برابر ۸۹/۶۱ درصد و در سال اول برابر ۹۲/۱۳ درصد می‌باشد. به‌علاوه در سال دوم انجام آزمایش، تشعشع دریافتی به میزان ۳ درصد افزایش‌یافته است. در حالت کلی می‌توان نتیجه گرفت که سال دوم به لحاظ شرایط دمایی گرم‌تر از سال اول می‌باشد و این امر سبب افزایش عملکرد هیبرید $T_1$ نسبت به سایر ارقام شده است. فروغی آینه ده و همکاران (۱۳۹۸) در مطالعه خود که در طی دو سال زراعی ۹۴-۹۳ و ۹۵-۹۴ صورت گرفته است به این نتیجه رسیدند که افزایش دما و تشعشعات خورشیدی سبب افزایش عملکرد ارقام کلزا شده است. این محققان با مقایسه تشعشع دریافتی (مگا ژول بر مترمربع در روز) بهار ۹۴ و بهار ۹۵ نشان دادند که مقدار تشعشع دریافتی فروردین، اردیبهشت و خرداد ۹۴ از سال ۹۵ بیش‌تر بوده است. در حالت کلی نیز میزان تشعشع دریافتی از فروردین به خرداد افزایش‌یافته است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، مشاهده می‌شود که کم‌آبیاری و بیش‌آبیاری سبب نمود. نتایج مذکور به‌صورت نقطه‌ای و برای تمامی نقاط، ارائه گردید؛ اما به‌منظور تحلیل اقتصادی، نیاز به تابعی پیوسته می-باشد تا اثر عمق آبیاری در بازه‌ای از عمق آبیاری، بررسی گردد. برای این منظور توابع تولید محصول استخراج گردید. تابع

کاهش عملکرد دانه در کلزا می‌شود و مناسب‌ترین حالت برای این گیاه آبیاری کامل می‌باشد. محتشمی و همکاران در مطالعه خود اهمیت اعمال آبیاری تکمیلی و استفاده از سلنیوم در بهره-وری آب در گیاه کلزا را بررسی نمودند. برای این منظور چهار تیمار آبیاری شامل: عدم آبیاری، آبیاری در مرحله گلدهی، آبیاری در مرحله پر شدن دانه و آبیاری در مراحل گلدهی و پر شدن دانه اعمال کرده و به این نتیجه رسیدند که بالاترین بهره‌وری آب زمانی صورت گرفته است که آبیاری در مراحل پر شدن دانه و گلدهی صورت گرفته است (Mohtashami et al., 2020). دوگان و همکاران نیز در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که برای دستیابی به حالت بهینه عملکرد کلزا انجام آبیاری کامل نیاز است (Dogan et al., 2011). در صورت اعمال کم‌آبیاری نیز این مقدار نباید از ۹۰ درصد نیاز آبی گیاه (تیمار $IP_4$) کمتر شود زیرا گیاه کلزا به تنش‌های شدید خشکی حساس است. غفاری مقدم و فنایی (۱۳۹۵) چهار نوع تابع تولید شامل درجه دوم، ترانسلوگ، لئونتیف و کاب داگلاس را موردبررسی قراردادند که تابع درجه دوم بهترین فرم تابع شناخته شد. با توجه به نتایج تابع تولید درجه دوم تعمیم‌یافته در محصول کلزا، ابتدا با افزایش آب مصرفی، عملکرد افزایش‌یافته و در یک نقطه عملکرد به بیشینه مقدار خود رسید و سپس با افزایش مقدار آب عملکرد کاهش یافت. این محققان معتقدند که در حالت کلی، افزایش آب مصرفی و کود پتاسیم باعث افزایش عملکرد در محصول کلزا می‌شود. گاناسکرا و همکاران نیز در مطالعه خود به این نتیجه رسیده‌اند که گیاه کلزا به تنش خشکی حساس است و با کاهش میزان آب از عملکرد آن نیز کاسته می‌شود (Gunasekera et al., 2003). نکته قابل‌توجه این است که با افزایش دمای هوا میزان عملکرد در تمامی ارقام افزایش می‌یابد. به‌علاوه عملکرد هیبرید $T_1$ به‌شدت وابسته به میزان دما و تشعشع دریافتی است به‌گونه‌ای که این هیبرید در سال اول که میزان تشعشات دریافتی و دمای هوا پایین‌تر بود کمترین عملکرد را ارائه نمود؛ اما با افزایش دما و تشعشعات در سال دوم، این هیبرید بالاترین عملکرد را ارائه برازش غیرخطی درجه دوم، در تمامی تیمارها همبستگی بالا نشان داد. توابع تولید متوسط دوساله عملکرد ارقام مختلف کلزا و روابط آن‌ها در شکل ۲ ارائه گردیده است.

برای استخراج توابع بهره‌وری فیزیکی آب در ارقام کلزا تابع برازش غیرخطی درجه دوم، انطباق قابل قبولی بر داده‌ها نشان داد. توابع بهره‌وری متوسط دوساله مستخرج برای ارقام مختلف به همراه تابع و ضریب تبیین، در شکل ۳ ارائه‌شده است. با توجه به شکل ۳، مقدار بهره‌وری آب در شرایط تنش شدید، کم و با افزایش مقدار آب، افزایش‌یافته و سپس کاهش می‌یابد و به‌طورکلی اعمال کم‌آبیاری باعث افزایش بهره‌وری آب‌شده است. هیبرید $T_2$ با ضریب $R^2$ برابر با ۰/۹۵۸ همبستگی بالاتری نسبت به دو هیبرید دیگر ارائه نمود. روند تغییرات بهره‌وری برای ارقام مختلف در سطوح آبیاری مختلف، به‌صورت شکل ۳ می‌باشد. برای استخراج توابع بهره‌وری فیزیکی آب در ارقام کلزا تابع برازش غیرخطی درجه دوم، انطباق قابل قبولی بر داده‌ها نشان داد. توابع بهره‌وری متوسط دوساله مستخرج برای ارقام مختلف به همراه تابع و ضریب تبیین، در شکل ۳ ارائه‌شده است. با توجه به شکل ۳، مقدار بهره‌وری آب در شرایط تنش شدید، کم و با افزایش مقدار آب، افزایش‌یافته و سپس کاهش می‌یابد و به‌طورکلی اعمال کم‌آبیاری باعث افزایش بهره‌وری آب شده است. هیبرید $T_2$ با ضریب $R^2$ برابر با ۰/۹۵۸ همبستگی بالاتری نسبت به دو هیبرید دیگر ارائه نمود. روند تغییرات بهره‌وری برای ارقام مختلف در سطوح آبیاری مختلف، به‌صورت شکل ۳ می‌باشد. با توجه به شکل ۳، مقدار بهره‌وری از هیبرید $T_1$ تا $T_3$ تغییرات اندکی نسبت به همدیگر دارند. بر اساس شکل ۳، حداقل بهره‌وری در سطح آبیاری $IP_8$ به‌دست‌آمده است. به‌طورکلی بهره‌وری در تیمارهای $IP_3$، $IP_4$، $IP_5$ و $IP_6$، افزایش قابل‌ملاحظه‌ای نسبت به سایر تیمارها داشته است. متوسط بهره‌وری آب در تیمارهای $IP_3$، $IP_4$، $IP_5$ و $IP_6$، به ترتیب برابر با ۱/۱۲، ۱/۰۹، ۱/۰۸ و ۱/۰۸ کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشد. در حالت کلی هیبرید $T_2$ بهره‌وری بالاتری نسبت به سایر ارقام دارد.




**شکل ۲- توابع تولید ارقام مختلف ($T_1$ تا $T_3$) کلزا نسبت به عمق آبیاری**




**شکل ۳-توابع بهره‌وری آب ارقام مختلف کلزا ($T_1$ تا $T_3$)**

**جدول ٤- مقایسهٔ میانگین اثر متقابل مقدار آب و ارقام کلزا بر پارامترهای مورد مطالعه**

| تیمار | سال اول | | | سال دوم | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | عملکرد (کیلوگرم بر هکتار) | بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب) | سود (میلیون ریال) | عملکرد (کیلوگرم بر هکتار) | بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب) | سود (میلیون ریال) |
| $IP_1T_1$ | ۳۷۷۲e | ۰/۹۳c | ۹/۳۰d | ۴۲۷۳ab | ۱/۰۵c | ۱۰/۹۰c |
| $IP_1T_2$ | ۴۱۹۶b | ۱/۰۳b | ۱۰/۶۰c | ۴۰۱۹c | ۰/۹۹d | ۱۰/۱۰c |
| $IP_1T_3$ | ۴۰۲۴c | ۰/۹۹c | ۱۰/۱۰c | ۳۵۲۱f | ۰/۸۷e | ۸/۵۰e |
| $IP_3T_1$ | ۳۸۶۰d | ۱/۰۴b | ۱۰/۶۰c | ۴۴۵۳a | ۱/۲۰a | ۱۲/۶۰a |
| $IP_3T_2$ | ۴۳۵۲a | ۱/۱۸a | ۱۲/۲۰a | ۴۱۳۵b | ۱/۱۲b | ۱۱/۵۰b |
| $IP_3T_3$ | ۴۱۶۰b | ۱/۱۲a | ۱۱/۶۰b | ۳۸۵۲d | ۱/۰۴c | ۱۰/۶۰c |
| $IP_2T_1$ | ۳۵۱۲f | ۰/۷۹e | ۷/۷۰f | ۳۹۷۳e | ۰/۸۹e | ۹/۱۰d |
| $IP_2T_2$ | ۴۰۳۲c | ۰/۹۱c | ۹/۳۰d | ۳۶۴۷f | ۰/۸۲e | ۸/۲۰e |
| $IP_2T_3$ | ۳۸۵۲d | ۰/۸۷d | ۸/۷۰e | ۳۱۴۸g | ۰/۷۱f | ۶/۷۰g |
| $IP_4T_1$ | ۳۲۶۴i | ۰/۹۸c | ۹/۵۰d | ۳۹۹۶e | ۱/۲۰a | ۱۲/۳۰a |
| $IP_4T_2$ | ۳۷۷۶e | ۱/۱۳a | ۱۱/۵۰b | ۳۸۸۹d | ۱/۱۷b | ۱۱/۹۰b |
| $IP_4T_3$ | ۳۶۱۲f | ۱/۰۹b | ۱۰/۹۰c | ۳۲۶۹g | ۰/۹۸d | ۹/۶۰d |
| $IP_5T_1$ | ۲۸۴۰j | ۰/۹۶c | ۹/۰۰d | ۳۶۰۳e | ۱/۲۲a | ۱۲/۲۰a |
| $IP_5T_2$ | ۳۳۸۸g | ۱/۱۵a | ۱۱/۳۰b | ۳۲۷۶g | ۱/۱۰b | ۱۰/۸۰c |
| $IP_5T_3$ | ۳۱۴۸h | ۱/۰۶b | ۱۰/۳۰c | ۳۰۰۵hf | ۱/۰۲c | ۹/۷۰d |
| $IP_6T_1$ | ۲۴۵۶k | ۰/۹۵c | ۸/۵۰e | ۳۲۵۹g | ۱/۲۶a | ۱۲/۴۰a |
| $IP_6T_2$ | ۲۷۲۴j | ۱/۰۵b | ۹/۸۰d | ۲۹۲۹h | ۱/۱۳b | ۱۰/۸۰c |
| $IP_6T_3$ | ۲۶۷۶j | ۱/۰۳b | ۹/۶۰d | ۲۷۰۹hi | ۱/۰۵c | ۹/۷۰d |
| $IP_7T_1$ | ۱۹۲۰v | ۰/۸۷d | ۶/۹۰g | ۲۵۶۵i | ۱/۱۶b | ۱۰/۶۰c |
| $IP_7T_2$ | ۲۱۴۴ k | ۰/۹۷c | ۸/۲۰e | ۲۴۳۳s | ۱/۱۰b | ۹/۸۰d |
| $IP_7T_3$ | ۱۹۱۲v | ۰/۸۶d | ۶/۹۰g | ۲۳۲۳s | ۱/۰۵c | ۹/۲۰d |
| $IP_8T_1$ | ۱۴۰۴w | ۰/۷۶e | ۴/۹۰i | ۱۳۹۲w | ۰/۷۵f | ۴/۸۰i |
| $IP_8T_2$ | ۱۵۱۲w | ۰/۸۲d | ۵/۶۰h | ۱۳۸۷w | ۰/۷۵f | ۴/۸۰i |
| $IP_8T_3$ | ۱۴۳۲w | ۰/۷۷e | ۵/۱۰h | ۱۳۶۵w | ۰/۷۴f | ۴/۶۰i |

## رهیافت ترویجی

با هدف حداکثر سازی عملکرد در واحد سطح، کم آبیاری پیشنهاد نمی‌شود. تیمار آبیاری $IP_3$ تیمار برتر می‌باشد. با هدف عملکرد در واحد سطح $IP_3$، هیبرید $T_2$ در سال اول با عملکرد ۴۳۵۲ کیلوگرم بر هکتار و مقدار سود برابر با ۱۲/۲۰ میلیون ریال و هیبرید $T_1$ در سال دوم با عملکرد ۴۴۵۳ کیلوگرم بر هکتار و مقدار سود برابر با ۱۲/۶۰ میلیون ریال می‌باشند. بهره‌وری آب در این شرایط و برای ارقام مذکور برابر ۱/۱۸ و ۱/۲۰ کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشد. با هدف حداکثر سازی بهره‌وری آب، حداکثر بهره‌وری آب در شرایط کم آبیاری به دست آمد. حداکثر بهره‌وری در ارقام $T_2$ و $T_1$ به ترتیب در سال‌های اول و دوم برابر با ۱/۱۸ و ۱/۲۰ در تیمار آبیاری به ترتیب در تیمارهای $IP_3$ در سال اول و در تیمارهای $IP_3$ و $IP_4$ در سال دوم به دست آمد. در حالت کلی می‌توان نتیجه گرفت که در گیاه کلزا و در خصوص نیاز به اعمال کم‌آبیاری از تیمار ۹۰ درصد نیاز خالص آبیاری می‌توان استفاده نمود. در حالتی که نیاز به اعمال کم‌آبیاری نباشد آبیاری برابر ۱۰۰ نیاز خالص آبیاری توصیه می‌شود. نتایج مقایسه عملکرد دانه تحت اثر ارقام کلزا نشان داد که هیبریدهای $T_1$ و $T_2$ در یک گروه آماری قرار دارند و در صورت کشت، عملکردهای نزدیک به هم خواهند داشت.

## مراجع


زاهدپور یگانه، ح.، رضاوردی‌نژاد، و. و دهقانی‌سانیج، ح. ۱۳۹۶. ارزیابی بازده کاربرد و بهره‌وری سامانه‌های آبیاری سطحی در مزارع منطقه نازلوچای، دشت ارومیه. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. ۴ (۳۱): ۶۹۸-۶۸۵.

شریفی جهان تیغ، غ. و عباسی، م. ۱۳۸۸. کلزای علوفه‌ای. عشق دانش، چاپ دوم، ۴۱ صفحه.

غفاری مقدم، ز. و فنایی، ح. ۱۳۹۵. تحلیل اقتصادی توابع تولید برای کلزا و خردل در شرایط کم‌آبیاری در منطقه سیستان. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. ۳۰ (۳): ۳۵۹-۳۴۷.

فرشی، ع. ا. ۱۳۷۷. برآورد آب موردنیاز گیاهان عمده زراعی و باغی کشور (گیاهان زراعی). آموزش کشاورزی وابسته به دفتر خدمات تکنولوژی آموزشی وزارت جهاد کشاورزی. جلد اول، ۹۱۸ صفحه.

فروغی آینه ده، ع.، بیابانی، ع.، راحمی کاریزکی، ع. و رسام، ق. ۱۳۹۸. بررسی خصوصیات فیزیولوژیک مؤثر بر بهبود عملکرد ارقام کلزا. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران. ۱۷ (۱): ۷۳-۵۳.

نور قلی‌پور، ف.، رضایی، ح.، میرزا شاهی، ک.، حقیقت‌نیا، ح.، رمضانپور، م.، ارزانش، م. ح.، اسدی رحمانی، ه.، میرزاپور، م. ه.، افضلی، م.، طهرانی، م. م.، نبی غیبی، م. ۱۳۹۳. دستورالعمل مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه کلزا. وزارت جهادکشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، موسسه تحقیقات خاک و آب. چاپ اول، ۸۸ صفحه.

Djaman, K., O'Neill, M., Owen, C., Smeal, D., West, M., Begay, D., Angadi, SV., Koudahe, K., Allen, S. & Lombard, K. 2018. Seed Yield and Water Productivity of Irrigated Winter Canola (Brassica napus L.) under Semiarid Climate and High Elevation. Agronomy. 8(6): 90.

Dogan, E., Copur, O., Kahraman, A., Kirnak, H. & Guldur, ME. 2011. Supplemental irrigation effect on canola yield components under semiarid climatic conditions. Agricultural Water Management. 98(9): 1403-1408.

Faraji, A., Latifi, N., Soltani, A. & Rad, AHS. 2009. Seed yield and water use efficiency of canola (Brassica napus L.) as affected by high temperature stress and supplemental irrigation. Agricultural Water Management. 96(1): 132-140.

Gunasekera, CP., Martin, LD., French, RJ., Siddque, KH. & Walton, GH. 2003. Effects of water stress on water relations and yield of Indian mustard (Brassica juncea L.) and canola (Brassica napus L.). In Proceedings of the 11th Annual Agronomy Conference.

Hergert, GW., Margheim, JF., Pavlista, AD., Martin, DL., Supalla, RJ. & Isbell, TA. 2016. Yield, irrigation response, and water productivity of deficit to fully irrigated spring canola. Agricultural Water Management. 168: 96-103.

Kamkar, B., Daneshmand, AR., Ghooshchi, F., Shiranirad, AH. & Langeroudi, AS. 2011. The effects of irrigation regimes and nitrogen rates on some agronomic traits of canola under a semiarid environment. Agricultural Water Management. 98(6): 1005-12.

Pavlista, AD., Hergert, GW., Margheim, JM. & Isbell, TA. 2016. Growth of spring canola (Brassica napus) under deficit irrigation in Western Nebraska. Industrial Crops and Products. 83: 635-4

Water Management in Agriculture
Vol. 7, No. 1, Spring and Summer 2020, 83-94

نشریه مدیریت آب در کشاورزی
جلد ۷، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۹، ص. ۹۴-۸۳

# Determination of Yield and Water Productivity Functions of Common Hybrids of Canola (Case Study of Miandoab City)

**M. Rahimi[1], V. Rezaverdinejad[2*] and H. Tayefe Rezaie[3]**

## Abstract

To evaluate the effect of irrigation on seed yield and water productivity of three common canola hybrids including: Okapi ($T_1$), Elite ($T_2$) and Milena ($T_3$) in the strip-plot statistical design with three repeats for 2004-2005 and 2005-2006 a field experiment was conducted in Miandoab agricultural and natural resources research center. To extract production and water productivity functions, eight treatments of different irrigation levels with $IP_1$ to $IP_8$ symbols including 120, 110, 100, 90, 80, 80, 70, 60 and 50% of water requirement calculated by the Penman Monteith FAO method was considered. The results showed that the production functions in $T_1$, $T_2$ and $T_3$ hybrids have a correlation of 0.98, 0.98 and 0.97. By extracting the productivity functions, it was observed that the amount of water productivity decreased under severe stress conditions and increased with increasing water content. If deficit irrigation is required, $IP_4$ treatment is recommended due to the highest seed yield (average seed yield equal to 3758.5 kg/ha for two years). The results of statistical analysis of studied parameters showed that with 10% reduction in water consumption, benefit decreased 7.83% in the first year and 3.44% in the second year. $T_2$ and $T_1$ hybrids had the highest yield in the first and second years, respectively, and the yield was higher in the second year than in the first year. The reason for this is the increase in temperature and more radiation received in the second year. To maximize productivity, $IP_4$ and $T_2$ hybrid are recommended.

**Key words:** Basin Irrigation, Benefit, Deficit Irrigation, Phonological Stages of Plant Growth, Seed Yield.

1 Ph.D. Student in Irrigation and Drainage, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran
2 Associate Professor of Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran. (*Corresponding Author, Email: v.verdinejad@urmia.ac.ir)
3 Instructor of Agricultural and Natural Resources Research Center of West Azerbaijan Province, Urmia, Iran
Received: 10 September 2020
Accepted: 21 October 2020

Water Management in Agriculture
Vol. 7, No. 1, Spring and Summer 2020, 95-108

نشریه مدیریت آب در کشاورزی
جلد ۷، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۹، ص. ۱۰۸-۹۵

**مقاله علمی-پژوهشی**

# بررسی عملکرد بازار غیررسمی آب در مقایسه با یک نمونه بازار رسمی (مطالعه موردی منطقه مجن)

محمدحسین متین‌جو[1] و حسین علیزاده [2]*

## چکیده

بازار آب پاسخی به افزایش تقاضا در برابر عرضه محدود آب است که به تخصیص مجدد و بهینه آب در یک منطقه می‌پردازد. بازارهای آب به دو نوع رسمی و غیررسمی تقسیم می‌شوند که هر یک دارای ویژگی‌های منحصربه‌فردی هست و در بسیاری از نقاط دنیا، در حال فعالیت است. این تحقیق، به دنبال بررسی این پرسش است که تا چه حدی یک بازار غیررسمی می‌تواند بر تخصیص بهینه آب و عملکرد زارعین و باغداران تأثیرگذار باشد و در ادامه عملکرد بازار غیررسمی منطقه‌ی موردمطالعه، با مکانیسم یک بازار رسمیِ فرضی مقایسه شده است. نتایج حاصل از تحقیق مبین آن است که براثر وجود بازار غیررسمی در منطقه و گسترش روابط تعاملی بین زارعین و باغداران، میانگین تعداد افرادی که قادر به تأمین کامل نیاز آبی خود نبوده‌اند، از ۸۸ نفر به ۵۵ نفر در سال، کاهش‌یافته است. همچنین، این نتیجه به دست آمد که با رفع برخی چالش‌ها و مهیاسازی محیطی تعاملی برای زارعین و باغداران، یک بازار غیررسمی آب می‌تواند، بدون نیاز به تبدیل‌شدن به یک بازار رسمی، عملکردی نزدیک به ۸۰ درصد یک بازار رسمی را داشته باشد. این مسئله بیانگر اهمیت والای بازارهای آب غیررسمی است. عدم کاهش سطح زیر کشت به شکل چشم‌گیر، در مواقع کاهش بارش سالیانه، به‌واسطه‌ی وجود بازار آب، از دیگر نتایج به‌دست‌آمده در این تحقیق است.

**واژه‌های کلیدی:** بازار آب رسمی و غیررسمی، سطح زیر کشت، مدل تعاملی، مدل عامل‌بنیان، منطقه مجن.

## مقدمه

امروزه بازارهای آب در بخش زراعت و باغداری، به‌عنوان یکی از راه‌حل‌های امیدبخش جهت افزایش کارایی اقتصادی آب شناخته می‌شوند که زارعین با فرصت‌های ایجادشده در آن از طریق بهبود شیوه‌های مدیریت تأمین آب، برای اجاره و فروش آب اقدام نموده و در جهت استفاده بهینه از جریان‌های سطحی در راستای تأمین آب قابل‌فروش در بازار تلاش خواهند نمود. این اقدام، در بسیاری از موارد، منجر به کاهش فشار زارعین به منابع آب‌های زیرزمینی می‌شود. بنابراین ویژگی اصلی که موجب معرفی بازار آب در یک منطقه می‌شود، توانایی آن در تخصیص مجدد آب بین مصارف گوناگون است، به‌نحوی‌که آب به مصارفی تخصیص خواهد گرفت که ارزش‌های بالقوه بالاتری از آب ایجاد می‌کنند و طبیعتاً، مطلوبیت منطقی بیش‌تری از منابع آب در مصارف خود به دست می‌آورند. به‌این‌ترتیب، این ابزار اقتصادی، امکان دستیابی به کارایی بیشتر در تخصیص آب و حداکثر شدن رفاه اجتماعی را فراهم می‌کند (احمدی و همکاران، ۱۳۹۵). بازار یک‌نهاد مبادله است که شبکه‌ای برای روابط بین مبادله‌کنندگان (عرضه‌کنندگان و تقاضاکنندگان) ایجاد می‌کند. درواقع، در این نهاد، برخورد عرضه با تقاضای کالا و همچنین تأمین نیازها اتفاق می‌افتد (صدر، ۱۳۸۲). کلید بازار آب، تعریف برداشت قانونی آب، به معنای حقابه است که خریدوفروش آن می‌تواند

[1] دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی و مدیریت منابع آب، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران.
[2] استادیار گروه آب و محیط زیست، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران. (* نویسنده مسئول: Alizadeh@iust.ac.ir)
تاریخ دریافت: ۹۹/۶/۲۴
تاریخ پذیرش: ۹۹/۷/۳
DOR: 20.1001.1.24764531.1399.7.1.9.6

به‌صورت دائم یا موقت انجام گردد. در مبادلات دائمی، شخص خریدار در ازای پرداخت مبلغی معین مقدار مشخصی حقابه را از فروشنده خریداری می‌نماید. پس از انعقاد قرارداد، کلیه حقوق، مزایا و تعهدات ناشی از حقابه مورد مبادله، متوجه خریدار آن خواهد بود. در این نوع مبادله، فارغ از نوع بازار و ذیل هر شرایطی، طرفین معامله معمولاً به‌صورت مکتوب در مکانی رسمی، قرارداد خود را ثبت می‌کنند. معمولاً تغییر شغل، مهاجرت، سرمایه‌گذاری، فوت حقابه‌دار و موارد موروثی ازجمله دلایلی است که طرفین را وادار به انجام این مبادله می‌نماید. به همین دلیل، معمولاً این نوع مبادله سوژه اصلی تحقیقات این موضوع نیست. از طرف دیگر، در مبادلات موقت، خریدار حقابه (به عبارتی اجاره‌کننده حقابه) به ازای پرداخت مبلغ معینی، میزان مشخصی حقابه را از فروشنده آن برای مدت محدودی دریافت می‌کند. دلیل شکل‌گیری این مبادله، اختلاف میزان حقابه زارع یا باغدار با میزان نیاز آبی وی می‌باشد. در حقیقت، این کمبود آب و مازاد آن است که طرفین را ترغیب به انجام معامله می‌کند. حجم این‌گونه مبادلات نسبت به مبادلات نوع اول بسیار بیشتر می‌باشد (Du et al., 2017; Jia et al., 2016).

طهماسبی و عسکری بزایه (۱۳۹۶) در مطالعه‌ای با رویکردی مروری- تحلیلی بر مدیریت تقاضای مبتنی بر بازار آب، مفاهیم و ویژگی‌های آن و ارائه چشم‌اندازی از پتانسیل این رهیافت برای مقابله با چالش‌های کم‌آبی تمرکز نمودند. آن‌ها از تقویت و تحریک صرفه‌جویی در آب، افزایش دسترسی به آب، بهبود انعطاف‌پذیری در جامعه، بهبود بهره‌وری آب و تخصیص آن، بازگرداندن آب به طبیعت و بهبود شرایط دسترس‌پذیری آب به‌عنوان مزایای رهیافت بازار آب برای مدیریت تقاضای آن و مقابله با چالش‌های کم‌آبی یادکردند.

از رفتارهای نامطلوب رایج میان برخی زارعین می‌توان به آبیاری غیرضروری اراضی در زمانی که هنوز زراعتی انجام نشده است و همچنین آبیاری بیش‌ازاندازه اراضی اشاره نمود که به دلیل استفاده از تمامی حقابه شخصی در فصول زراعی انجام می‌شود. بازار آب، زارعین را ترغیب می‌کند تا از حقابه‌شان فقط به‌اندازه نیاز مصرف کرده و حقابه اضافه خود را بفروشند. درنتیجه زارعین سعی می‌کنند تا از ابزارها و سیستم‌های پربازده استفاده کنند و زمین‌های خود را به‌صورت بهینه آبیاری کنند. نتیجه کلی این است که منافع شخصی و اجتماعی افزایش پیدا می‌کند (Dinar and Letey, 1991).

به‌طورکلی بازارهای آب به دو دسته رسمی و غیررسمی تقسیم می‌شوند. در بازارهای رسمی آب، میزان و سهم آب مبادله شده، چه به‌صورت کوتاه‌مدت و چه به‌صورت دائمی، مشخص و ثبت خواهد شد. مهم‌ترین مشخصه‌ی بازار رسمی در یک منطقه، وجود سازمانی یکپارچه و کنترل‌کننده‌ی شرایط در منطقه است که همواره دو وظیفه‌ی کلیدیِ نقل و انتقالات آب و قیمت‌گذاری مبادلات را بر عهده دارد. معمولاً این سازمان کنترل‌کننده، پشتوانه‌های قدرتمندی مانند دولت دارد و به‌صورت محلی اداره نمی‌شود. بازارهای غیررسمی معمولاً شامل فروش جریان‌های غیرقابل‌اندازه‌گیری از آب‌های سطحی از کانال یا آب پمپاژ شده از چاه برای مدت معینی از ساعت است. اگرچه ممکن است واحدهای فروخته‌شده در بازارهای غیررسمی اندازه‌گیری نشوند، اما خریدار و فروشنده، هر دو، اطلاعات خوبی درباره حجم آب منتقل‌شده، دارند. به‌عبارت‌دیگر، تفاوت اصلی بین دو بازار، نحوه اجرای تجارت است. بدین‌صورت که اگر کاربران به علت عدم تعریف حقابه رسمی تحت اداره‌ی سیستمی قانونی یا اداری، مبادله را به‌صورت خودمحور انجام دهند، بازار، غیررسمی است (Easter et al., 1999).

در یک بازار غیررسمی، زارعین برای خرید و یا فروش حقابه‌شان مجبور به شناخت یکدیگر می‌باشند. ازاین‌رو ممکن است سهام‌داران زمان و تمرکز زیادی را صرف شناخت دیگران و چانه زدن سر قیمت از دست بدهند (Pujol et al., 2005). در ادبیات موضوع بازار آب، روش‌های متفاوت و کارایی برای عملکرد بازار آب پیشنهادشده است اما این روش‌ها محدود به بازارهای آب رسمی می‌شوند و به دلیل فقدان یک سازمان کنترل‌کننده رسمی و دقیق در بازارهای غیررسمی، این روش‌ها به شکل مؤثر و حقیقی قادر به پیاده‌سازی در این نوع بازارها نمی‌باشند. ازجمله‌ی این روش‌ها می‌توان به حراج دوگانه با قیمت متغیر، حراج دوگانه با قیمت یکنواخت و ساختار بازار با قیمت تعادلی اشاره کرد (Xu et al., 2018; Du et al., 2017; Aghaie et al., 2020a). در تمامی این ساختارها،

سازمانی کنترل‌کننده موردنیاز است و به همین دلیل ساختارهای مذکور در بازارهای غیررسمی معمولاً قابل‌استفاده نیست.

پویول و همکاران طی تحقیقی تأثیر وجود بازار آب را بر کارایی استفاده از آب در بخش زراعت بررسی کردند. این تحلیل در سطح حوضه آبریز در حالت با و بدون بازار آب بررسی شد و همچنین برای قیمت‌گذاری بر حقابه نیز از شیوه آنالیز خوشه‌ای استفاده شد. این تحقیق که هم‌زمان بر روی دو منطقه کشاورزی در جنوب اسپانیا و ایتالیا بررسی شد، تأثیر مشخص بازار آب را بر روی استفاده بهینه آب در بخش زراعت نشان داد. بااین‌وجود آن‌ها بازار آب را همواره دارای چالش‌هایی می‌دانستند. تعیین قیمت مبادله آب در بازار آب برای مبادله حقابه‌ها، از جمله‌ی این چالش‌ها بود. همچنین آن‌ها معتقد بودند که عملکرد بازار آب (به‌ویژه بازارهای آب غیررسمی)، سهام‌داران آب را وادار می‌کند، به‌منظور فراهم آوردن مقدمات خریدوفروش آب، همدیگر را بشناسند؛ بنابراین، ممکن است سهام‌داران زمان و تمرکز زیادی را صرف شناخت دیگران و چانه زدن سر قیمت از دست بدهند. احتمال وجود اثرات خارج منفی یا اثرات شخص ثالث نیز از دیگر چالش‌های مکانیسم بازار آب ذکر گردید (Pujol et al., 2005). جمالی و برومر نیز طی مطالعه‌ای بر بازار آب فرضی در منطقه رفسنجان ایران، بازار آب را روشی بهینه برای تخصیص منابع محدود آب دانستند که البته دارای نقاطی بحرانی و قابل‌بحث نیز می‌باشند. آن‌ها یکی از این موارد را تفهیم عملکرد بازار برای تمامی حقابه‌داران هنگام تشکیل بازار دانستند که در نوع خود چالشی پردردسر، چه در بازارهای رسمی و چه در بازارهای غیررسمی، به‌شمار می‌رود. همچنین طبق این تحقیق، تشویق افراد بومی به ترک منطقه، امکان کاهش جریان رودخانه و تأثیر منفی بر زارعین پایین‌دست از دیگر موارد چالش‌برانگیز بازار آب، به‌ویژه در موارد توسعه بازارهای غیررسمی و تبدیل آن به بازارهای رسمی است که تصمیم‌گیران و مدیران بازار بایستی کنترل آن‌ها را در دستور کار قرار دهند (Jamali and Brümmer, 2015).

زکری و ایستر مؤثربودن بازارهای رقابتی را درگرو وجود نهاد و قوانینی سازنده دانسته‌اند (Zekri and Easter, 2005). منظور از بازار رقابتی، بازاری است که در آن دو ویژگی همواره موجود است؛ اول آن‌که تعداد زیادی خریدار و فروشنده وجود داشته باشد و دوم آن‌که محصول مورد خریدوفروش، به‌طور وسیعی، از یک نوع باشد. نتیجه این بازار آن است که هیچ‌یک از خریداران و فروشندگان به‌تنهایی قدرت تأثیرگذاری زیاد بر روی بازار را ندارند. به‌عبارت‌دیگر در یک بازار رقابتی، فروش زیاد یا عدم فروش زیاد و یا حجم خرید یک سهام‌دار تأثیر چشمگیری بر روند بازار نخواهد گذاشت، چراکه حجم خرید یا تقاضای هر خریدار نسبت به‌کل تقاضای بازار بسیار ناچیز است (Gregory Mankiw, 2020).

بیشتر تحقیقات پیشین پیرامون بازار آب، بر بازارهای آب رسمی دلالت دارد، این در حالی است که بسیاری از کشورها، به‌خصوص کشورهای درحال‌توسعه، دارای بازارهای غیررسمی‌اند، چراکه دولت در این کشورها، نمی‌تواند هزینه‌ها و مسئولیت‌های یک بازار رسمی را متقبل شود؛ بنابراین، زارعین و باغداران، به‌صورت طبیعی روی به خریدوفروش حقابه‌هایشان در قالب یک بازار غیررسمی می‌آورند. در این تحقیق، ضمن ارائه‌ی مدلی پیرامون شبیه‌سازی تعامل زارعین و باغداران با یکدیگر در محیط بازار آب غیررسمیِ منطقه مجن، واقع در استان سمنان، مدلی برای شبیه‌سازی بازار رسمی منطقه، استفاده شده است. اولین تحلیل مدل ساخته‌شده، شامل تأثیر بازار آب غیررسمی بر تأمین نیاز آبی زارعین و باغداران است. در ادامه، مقایسه‌ی بازار رسمی و غیررسمی، بر رفتار حقابه‌داران و انعکاس این رفتارها بر مجموع مساحت اراضی زیر کشت منطقه، اندازه‌گیری شده است.

## مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر با هدف بررسی میزان رضایت‌مندی زارعین و باغداران از تأمین نیاز آبی خود، در حالت کنونی منطقه مجن (وجود بازار غیررسمی) در گام اول و بررسی مقایسه سطح زیر کشت در دو سناریوی بازار آب غیررسمی و بازار آب رسمی (حالت فرضی منطقه) در گام دوم، انجام شد. نهایتاً این مسئله مورد بررسی قرار گرفت که آیا برای رسیدن به شرایطی بهینه و کارا در مدیریت منابع آب بخش زراعت و باغداری، الزامی برای تبدیل یک بازار غیررسمی آب به بازاری رسمی وجود دارد. در این بخش، مدل بازار آب به‌صورت عامل‌بنیان و با در نظرگیری

شرایط منطقه، در دوره زمانی سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۵ شبیه‌سازی شد. این مدل‌سازی در قالب دو سناریو مجزای بازار غیررسمی و بازار رسمی آب پیشنهاد گردید و در نهایت، تغییر در میانگین تعدادی از زارعین و باغدارانی که در شرایط وجود بازار غیررسمی قادر به تأمین نیاز آبی خود نیستند و همچنین مجموع سطح زیر کشت منطقه در این دوره زمانی برای هر یک از سناریوها بررسی شد. لازم به ذکر است که گام‌های زمانی این مدل به‌صورت سالانه در نظر گرفته شده است.

## منطقه مورد مطالعه

منطقه مُجِن با بافت روستاشهری، در ۳۵ کیلومتری شمال‌غربی شاهرود قرار دارد و در میان دره‌ای به نسبت پهناور، میان دو رودخانه پی‌حصار و پیش‌ده، بنا شده است. اکثر مردم منطقه دارای شغل زراعت و باغداری می‌باشند. پیرامون شهر مجن را زمین‌های زراعی و باغات فرا گرفته است و رودخانه پیش‌ده با دبی پایه ۳۰۰ لیتر در ثانیه مهم‌ترین تأمین‌کننده آب موردنیاز اراضی این شهر است. این شهر با حدود ۲۰۰۰ متر ارتفاع از سطح دریا دارای متوسط سالانه دمای ۲/۷ سانتی‌گراد و متوسط بارش ۲۸۴ میلی‌متر می‌باشد. گندم و سیب‌زمینی در کنار باغات زردآلو، محصولات مهم منطقه می‌باشد (رجب‌پور، ۱۳۹۷). اراضی زراعت مجن از لحاظ تأمین آب به سه بخش منطقه پی‌حصار، منطقه پیش‌ده و منطقه مربوط به رودخانه تاش، تقسیم می‌شود.

منطقه پیش‌ده، وسعت بیشتری از دو منطقه دیگر دارد. این منطقه تحت نظارت شرکت آبیاری مجن می‌باشد و به همین دلیل، به‌عنوان منطقه مورد مطالعه در این پژوهش، انتخاب شده است. سرد و خشک بودن اقلیم منطقه، باعث شده است تا زراعت، وابستگی شدیدی به آب داشته باشد. نکته حائز اهمیت در منطقه مجن آن است که منبع آب سطحی (رودخانه) با آب زیرزمینی (قنوات و چاه‌ها) ترکیب شده و درون یک کانال اصلی جریان می‌یابد. این کانال‌ها در سرتاسر اراضی به نحوی شاخه‌شاخه می‌شوند که تمامی زارعین و باغداران بتوانند از آب درون کانال برای آبیاری بهره ببرند. ادغام آب زیرزمینی و سطحی این فایده را به دنبال خواهد داشت که اگر کسی حقابه‌ی آب زیرزمینی دارد و زمین زراعی یا باغ او در مکانی نیست که بتواند از حقابه‌اش استفاده کند، می‌تواند به میزان همان حقابه از آب درون کانال بهره‌برداری کند. کاهش احتمال تخلف در استفاده از آب زیرزمینی نیز از دیگر مزیت‌های ادغام آب سطحی و زیرزمینی در منطقه می‌باشد (رجب‌پور، ۱۳۹۷). لازم به ذکر است که مالکیت زمین در منطقه مجن کاملاً مستقل از مالکیت حقابه‌ها می‌باشد.

## سناریو اول؛ بازار غیررسمی آب

این سناریو دلالت بر بازار آب غیررسمی در منطقه دارد و از آن‌جا که درحال‌حاضر بازار آب رسمی در منطقه مجن موجود نیست، این سناریو، نسبت به سناریوی دوم، به واقعیت نزدیک‌تر است. در حقیقت، تفاوت اصلی یک بازار آب غیررسمی با یک بازار رسمی در عدم وجود سازمانی یکپارچه و کنترل‌کننده در ساختار بازار است؛ بنابراین هر زارع یا باغداری به صورت مستقل، بنا بر شناخت خود از منطقه، باید نیاز خود را برطرف کند؛ بدین صورت که اگر نیاز به آب بیشتر برای آبیاری زمین یا باغ خود داشته باشد از افراد آشنا، حقابه مازاد اجاره کند و یا اگر حقابه‌ی او بیش از نیاز آبی‌اش باشد، به منظور سود بیشتر، به افرادی که با آن‌ها در تعامل است، آب اجاره دهد.

برای شبیه‌سازی مدل عامل‌بنیان بر اساس این سناریو، دو نوع عامل شرکت آبیاری و حقابه‌داران (زارعین یا باغداران) در نظر گرفته شده است. در ادامه، به توضیح در مورد هر یک از این دو عامل، پرداخته شده است.

– عامل شرکت آبیاری: قبل از شروع فصل زراعی، شرکت آبیاری، وضعیت دبی کانال را موردبررسی قرار می‌دهد. اگر دبی کانال، به علت بارش‌های اخیر میزانی بیش‌ازحد انتظار باشد، مازاد آب درون کانال را با بهایی جداگانه (معمولاً بیشتر از آب‌بها) بین سهام‌داران داوطلب به فروش می‌رساند. گفتنی است که شرکت آبیاری مجن هرساله قبل از شروع فصل آبیاری، اقدام به برآورد میزان آب‌بها و صدور فیش برای حقابه‌داران می‌نماید. ازجمله مهم‌ترین هزینه‌های شرکت می‌توان به تأمین حقوق ۱۳ میراب و ۱ سرمیراب و ۴ موتوربان (طی ۶ ماه فصل آبیاری)، تأمین هزینه پرسنلی شرکت، تأمین هزینه‌های مجتمع پرورش ماهی و باغ‌های متعلّق به اهالی منطقه مجن، تأمین هزینه‌های احداث و تعمیر کانال‌ها و لایروبی قنوات، اشاره کرد.

– عامل زارع و باغدار: زارعین و باغداران پس از انتخاب نوع کشت، در پی تأمین نیاز آبی‌شان می‌باشند. محصول اصلی منطقه مجن تا سال ۱۳۸۸ تناوب گندم و سیب‌زمینی بوده است و بعد از سال مذکور نیز برخی زارعین زمین‌های زراعی‌شان را به باغ زردآلو تبدیل کردند و در ادامه، به علت سودآور بودن این عمل در اکثر مواقع، بعضی دیگر از زارعین اقدام به این عمل نمودند؛ بنابراین، در حال حاضر، گندم، سیب‌زمینی و زردآلو سه محصول اصلی منطقه مجن می‌باشند که متفاوت بودن حساسیت زارعین به رطوبت خاک و تمایل آن‌ها به کم‌آبیاری، باعث تفاوت در نیاز آبی آن‌ها می‌شود. در مدل ساخته‌شده میزان تمایل به کم‌آبیاری زارعین عددی بین صفر و یک می‌باشد که هرچه عدد بزرگتر باشد دلالت بر آن دارد که زارع میل بیشتری به پس‌انداز آب و استفاده کمتر از حقابه‌اش برای آبیاری و در نهایت فروش مازاد حقابه‌اش را دارد. در گام زمانی اول مدل، این پارامتر به صورت توزیع یکنواخت به زارعین تخصیص داده می‌شود و در گام‌های زمانی بعدی هر زارع با توجه به رفتار خود در گام‌های قبلی و مقایسه سود خالص به دست آمده از کاشت محصول و فروش آب تصمیم به تغییر مقدار این پارامتر (کاهش یا افزایش آن) می‌گیرد.

اگر حقابه زارع یا باغداری بیش از نیاز آبی او باشد، به‌عنوان عرضه‌کننده (اجاره دهنده) و اگر حقابه کم‌تر از نیاز آبی او باشد به‌عنوان تقاضاکننده (اجاره‌کننده) شناخته می‌شود. برای تأمین این تقاضا، عامل زارع، می‌تواند از سهام‌دار دیگری آب را بخرد. لازم به ذکر است که منظور از خریدوفروش حقابه در این تحقیق، تنها مبادله موقت (اجاره) حقابه‌ها است. به علت عدم وجود سازمانی رابط و کنترل‌کننده در بازارهای غیررسمی، در این طیف بازارها، زارعین برای خرید و یا فروش حقابه‌شان مجبور به شناخت یکدیگر می‌باشند، چراکه لازمه یک مبادله، شناخت و رابطه تعاملی با یکدیگر است. در این تحقیق، اطلاعات این قسمت، تماماً از مصاحبه‌ها، پرسش‌نامه‌ها و تحقیقات میدانی به دست آورده شده است. درمجموع، تعداد افرادی که با آن‌ها مصاحبه به عمل آورده شده است شامل ۱۰ نفر از مسئولین شرکت‌های سهامی آبیاری، جهاد کشاورزی، تعاونی تولید، خدمات کشاورزی و شهرداری منطقه مجن و همچنین ۴۰ نفر از زارعین و باغداران منطقه می‌باشد. همچنین، اطلاعات پیرامون رابطه‌ی اجتماعی مدل، از تکمیل پرسش‌نامه توسط ۴۲ نفر از زارعین و باغداران منطقه، به‌صورت تصادفی، به دست آمده است.

یافته‌های تحقیقات میدانی در منطقه حاکی از آن است که برای شبیه‌سازی ایجاد تعاملات بین زارعین لازم است سه پارامتر در نظر گرفته شود.

۱- تجربه: زارعین یا باغداران در زمان شروع زراعت یا باغداری به‌صورت مستقل، معمولاً در زمان جوانی، به‌طور متوسط با تعداد اندکی از افراد پیرامون آشنا هستند. در سال‌های اولیه زراعت، عامل زارع در تلاش است تا با محیط خود ارتباط برقرار نماید اما به علت کم‌تجربگی نمی‌تواند هر سال با تعداد چشمگیری از افراد در تعامل باشد و تنها با تعداد کمی از دیگر زارعین ارتباط برقرار می‌کند. پس طبیعتاً در این سال‌ها، به علت کم بودن تعامل با محیط پیرامون، عامل شانس کمتری در مقایسه با زارعین باتجربه دارد تا بتواند در مبادلات حقابه‌ها شرکت نماید. پس درصورتی‌که نیاز آبی‌اش بیش‌تر از حقابه او باشد، احتمال آن‌که نتواند نیاز آبی خود را به‌طور کامل تأمین نماید کمتر است. همچنین، درصورتی‌که نیاز آبی عامل کمتر از حقابه او باشد، احتمال فروش مازاد حقابه نیز در این حالت زیاد نیست. نرخ آشنایی با دیگران در ادامه با سرعت بیشتری افزایش می‌یابد و پس از گذشت حدود ده سال سرعت این نرخ رشد مجدداً کم می‌شود. این بار دلیل پایین بودن سرعت این نرخ، کم‌تجربگی زارعین نیست، بلکه بی‌نیازی آن‌ها از شناخت هر چه بیشتر زارعین دیگر، دلیل این پدیده می‌باشد. به‌عبارت‌دیگر، هر زارع به‌اندازه نیاز خود با تعدادی از زارعین و باغداران در رابطه تعاملی قرارگرفته است و دیگر سعی بر گسترش آن نمی‌کند.

۲- میزان مساحت مالکیت: شواهد مبین آن است که افرادی که دارای زمین‌های وسیع‌تری در منطقه می‌باشند نیز شناخته‌شده‌تر هستند و به‌عبارت‌دیگر شناخت آن‌ها از محیط با سرعت بیشتری امکان می‌پذیرد. برای در نظرگیری این پارامتر در مدل‌سازی، تمامی زارعین بنا بر مساحت زمین‌های زراعی یا باغ‌هایشان به سه دسته کلی تقسیم شده‌اند. دسته اول، شامل زارعینی است که اصطلاحاً خرده‌مالک‌اند و مجموع مساحت‌های

دارایی آن‌ها کمتر از ۵۰۰۰ مترمربع می‌باشد. دسته دوم متشکل از زارعینی است که دارای مجموع زمین‌های بین ۵۰۰۰ مترمربع و ۲۰۰۰۰ مترمربع می‌باشند. دسته سوم زارعین، آن دسته از افرادی هستند که مجموع مساحت زمین‌هایشان بیشتر از ۲۰۰۰۰ مترمربع می‌باشد.

۳- شناخت اولیه از محیط: بعضی از عاملین زارع یا باغدار، به علت زارع بودن پدر و یا برادر بزرگتر با تعدادی زارع دیگر آشنا هستند؛ بنابراین، آن‌ها با این افراد به صورت خودکار در تعامل‌اند.

برای مدل‌سازی رابطه تعاملی بین عامل‌های زارع از رگرسیون مبتنی بر اطلاعات حاصل از پرسش‌نامه استفاده شد. با توجه به اطلاعات جمع‌آوری‌شده، برای مدل‌سازی تعداد آشنایان یک عامل زارع، از تابع سیگموئید بهره‌گیری شده است:

$$\gamma_{i,t} = \left[\frac{\theta_1}{1+e^{-\theta_2(\beta_{i,t}-\theta_3)}}\right]+\lambda_i \qquad (۱)$$

در این رابطه، $\gamma_{i,t}$ تعداد افراد آشنا با عامل $i$ام ، در سال $t$ام است. همچنین، $\beta_{i,t}$ میزان تجربه عامل $i$ام در گام زمانی سالانه $t$ام است. $\lambda_i$ پارامتری است که دلالت بر شناخت قبلی از زارعین و محیط دارد و دربردارنده‌ی تعداد عامل‌های آشنا با عامل $i$ام در ابتدای شروع زراعت یا باغداری اوست. معمولاً علت این شناخت، زارع بودن یکی از اعضای خانواده یا آشنایان نزدیک می‌باشد. $\theta_1$، $\theta_2$ و $\theta_3$ مقادیر ثابتی هستند که به دسته زارعین بستگی دارد. میزان بهینه‌ی این مقادیر برای زارعین دسته اول به ترتیب برابر با ۱۲/۸۴، ۰/۳۹ و ۶/۷۸ و برای زارعین دسته دوم به ترتیب برابر با۲۱/۵۲، ۰/۴۱ و ۶/۵۴ و برای زارعین دسته سوم به ترتیب برابر با ۳۲/۲۶، ۰/۴۴ و ۶/۱۷ می‌باشد. از این مقادیر، به‌منظور برازش بهتر داده‌های استخراجی از پرسش‌نامه‌ها استفاده شده است. این مقادیر ثابت با استفاده از رگرسیون و حداقل‌کردن میزان مجموع مربعات اختلاف مقادیر مشاهده‌شده و پیش‌بینی‌شده (مقادیر به‌دست‌آمده از رابطه ۱) به دست آمده است. لازم به ذکر است که مقدار ضریب تعیین در مدل رابطه ۱ برای دسته‌های یک، دو و سه به ترتیب برابر با ۰/۸۵، ۰/۹۴ و ۰/۹۲ می‌باشد و از آن‌جا که مدل ساخته‌شده، مدلی اجتماعی است، این اعداد بیانگر برازش خوب و قابل‌اطمینان داده‌ها و رابطه‌ی به‌دست‌آمده است.

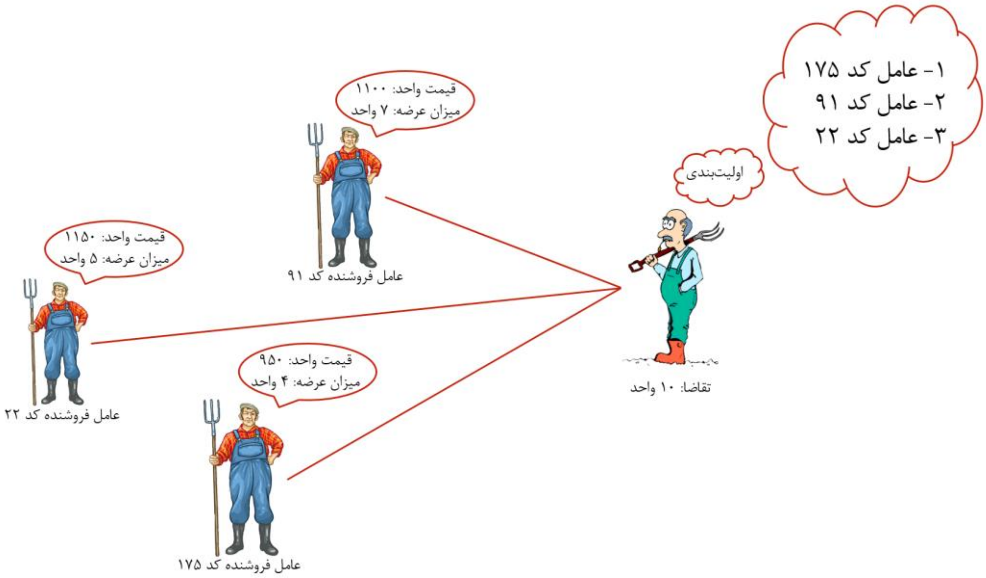
برای شبیه‌سازی قیمت‌گذاری عامل‌های زارع بر روی حقابه‌های خودشان در هر گام زمانی، از رابطه ۲ استفاده شده است (Du et al., 2017).

$$p_{i,t} = \begin{cases} (1-\mu_{i,t})\times\eta_{i,t} & (\text{For buyer},\ \ 0 \le \mu_{i,t} \le 1) \\ (1+\mu_{i,t})\times\eta_{i,t} & (\text{For seller},\ \ 0 \le \mu_{i,t}) \end{cases} \qquad (۲)$$

در رابطه فوق، $p_{i,t}$ قیمت پیشنهادی عامل $i$ام در سال $t$ام می‌باشد. $\mu_{i,t}$، پارامتر رفتاری سودجویی را برای عامل $i$ام در سال $t$ام نشان می‌دهد که در حقیقت بر قیمت پیشنهادی توسط خریدار یا فروشنده تأثیر مستقیم می‌گذارد. $\eta_{i,t}$ معرف میزان حد بالای قیمت معقول برای عامل خریدار $i$ام در سال $t$ام و همینطور حد پایین قیمت عرف برای عامل فروشنده $i$ام در سال $t$ام است (تومان).

پیرامون شبیه‌سازی پارامتر $\mu$ در رابطه۲، باید گفت این پارامتر بی‌بعد، در طول زمان همراه با تجربه‌ای که عامل زارع، پیرامون پیشنهاد قیمت در گام‌های قبلی به دست آورده است، تغییر می‌کند. به‌عنوان‌مثال، اگر در یک گام زمانی، یک عامل زارع بسیار سودجو باشد و بخواهد حقابه مازاد خود را بفروشد، طبیعتاً قیمت پیشنهادی او نسبت به دیگر فروشندگانی که پارامتر سودجویی کم‌تری دارند بالاتر می‌باشد. حال شکل ۱ را در نظر بگیرید که عامل خریداری را نشان می‌دهد که می‌خواهد بین افراد آشنای عرضه‌کننده آب یکی را انتخاب نموده تا از او آب بخرد. سؤال اساسی آن است که عامل خریدار چگونه فرد موردنظر را انتخاب می‌کند. برای شبیه‌سازی این قسمت، از اولویت‌بندی، طبق قیمت‌های پیشنهادی عاملان فروشنده‌ی آشنا استفاده شده است؛ بنابراین عامل خریدار تمامی قیمت‌های پیشنهادی را دریافت نموده و آن‌ها را در ذهن خود به‌صورت صعودی مرتب می‌کند و به ترتیب از اولین نفر (عاملی که کمترین میزان پارامتر سودجویی را در این گام دارد و درنهایت کمترین میزان قیمت را پیشنهاد داده است) شروع به خرید آب می‌کند. در نمونه‌ی شکل ۱، عامل خریدار از بین آشنایان خود که تعداد آن از رابطه ۱ به‌دست‌آمده است، سه نفر را که فروشنده‌ی مازاد حقابه‌شان هستند شناسایی کرده است.

همان‌طور که در این شکل مشخص است، عامل‌های فروشنده بر اساس قیمت‌های پیشنهادی، اولویت‌بندی شده و به ترتیب، با اولین عامل، مبادلات صورت می‌گیرد. با خرید ۴ واحد آب از عامل کد ۱۷۵ و همچنین خرید ۶ واحد از ۷ واحد عرضه‌ی عامل کد ۹۱، نیاز آبی عامل خریدار تأمین می‌شود. حال عامل کد ۲۲ را در نظر بگیرید که به علت قیمت پیشنهادی بالا، در اولویت قرار نگرفته و درنتیجه در این شرایط انتخابی، هیچ میزانی از عرضه خود را به فروش نرسانده است. طبق مدل شبیه‌سازی‌شده، اگر این عامل نتواند در انتخاب‌های بعدی که توسط خریداران دیگر انجام می‌شوند، عرضه خود را بفروش برساند، در گام بعدی میزان سودجویی خود را کاهش می‌دهد. البته این نکته در مورد عامل کد ۹۱ نیز صادق است. به‌نحوی‌که اگر او نتواند میزان باقی‌مانده از عرضه خود را به فروش برساند، سودجویی خود را در گام بعدی تا حدی کاهش می‌دهد. طبیعی است که این کاهش سودجویی به اندازه کاهش سودجویی عامل کد ۲۲ نخواهدبود، چراکه عامل کد ۹۱ تنها قسمتی از عرضه خود را به فروش نرسانده است.




**شکل ۱- یک نمونه حالت انتخاب عامل خریدار**

پیرامون شبیه‌سازی پارامتر $\eta$ در رابطه ۲، می‌توان گفت که با استفاده از مصاحبه‌های صورت گرفته با زارعین، این پارامتر با میزان حجم آب کانال، رابطه دارد. به عبارتی اگر دبی آب در ابتدای یک سال آبی، به تشخیص شرکت آبیاری مجن، بیشتر از حد مطلوبی باشد (حدود ۳۰۰ لیتر در ثانیه)، مبین وجود پُرآبیِ آن سال است و این حقیقت، احتمالاً ناشی از فزونی بارش در شش ماه اخیر بوده است؛ بنابراین در آن سال، قیمت حقابه‌ها خیلی بالا نیست. به‌عبارتی‌دیگر، افزایش عرضه در بازار که به‌موجب بارش زیاد صورت می‌گیرد، منجر به آن می‌شود که زارعین عرضه‌کننده، قیمت‌های بالایی را پیشنهاد ندهند. در مقابل در سال‌های خشک، به دلیل بارش کمتر در شش ماه قبل شروع آبیاری، قیمت حدودی آب بالا می‌رود و این پدیده نیز امری طبیعی است.

## سناریو دوم؛ بازار رسمی آب

مشخصه‌ی اصلی این نوع بازار، وجود عاملی دیگر تحت عنوان سازمانی کنترل‌کننده بر قیمت‌ها و مبادلات است که تمامی انتقالات حقابه‌ها را ثبت و ضبط می‌نماید. مدیریت و کنترل شرایط در این طیف بازارها انواع گوناگونی دارد، به‌طوری‌که ممکن است قوانین کاملاً متفاوتی در بازار یک کشور با بازاری در کشور دیگری وجود داشته باشد. نکته مهم آن است که در این نوع بازارها، زارعین معمولاً مجبور نیستند همدیگر را بشناسند و با یکدیگر رابطه تعاملی به‌منظور تبادل

حقابه‌ها برقرار نمایند. به همین علت، ممکن است به‌صورت کلی یک حقابه‌دار هیچ رابطه‌ای با عامل زارع دیگر نداشته باشد اما به‌واسطه‌ی وجود سازمان بازار آب، بین آن‌ها آب مبادله شده باشد. مدل‌سازی این قسمت، با توجه به این‌که در منطقه موردمطالعه درواقع بازاری رسمی موجود نیست به‌صورت فرضی و با روش حراج دوگانه با قیمت متغیر شبیه‌سازی شده است. Du و همکاران این ساختار را برای بازار آب مورد تحقیق خود در نظر گرفتند؛ به‌این‌ترتیب که فروشندگان به‌صورت صعودی نسبت به قیمت پیشنهادی خود مرتب می‌شوند. خریداران نیز به‌صورت نزولی نسبت به قیمت پیشنهادی خود مرتب شده، سپس خریدار اول (با بالاترین قیمت پیشنهادی) به فروشنده اول (با پایین‌ترین قیمت پیشنهادی) تطبیق داده می‌شود. اصولاً تراکنش زمانی انجام می‌شود که بدون توجه به حجم‌های پیشنهادی، قیمت‌های پیشنهادی خریدار سر صف و فروشنده سر صف با یکدیگر برابر شوند یا قیمت پیشنهادی خریدار بیشتر از قیمت پیشنهادی فروشنده باشد. سپس قیمت نهایی معامله، میانگین دو قیمت پیشنهادی، قرار داده می‌شود و درنهایت حجم مبادله برابر حداقل دو حجم پیشنهادی در نظر گرفته می‌شود. در ادامه، اگر حجم عرضه‌ی (تقاضای) فروشنده‌ای (خریداری) تمام شده باشد از این ساختار خارج می‌شود، ولی اگر این مقدار تمام نشده باشد در بازار می‌ماند تا تمام عرضه‌ی (تقاضای) خود را در صورت وجود خریدار (فروشنده) به اتمام رساند. این روند تا جایی ادامه می‌یابد تا تقاضا یا عرضه‌ای وجود نداشته باشد و یا قیمت پیشنهادی خریداران دیگر بالاتر یا مساوی قیمت پیشنهادی فروشنده نباشد (Du et al., 2017). قیمت پیشنهادی عامل زارعین در این سناریو نیز مانند سناریوی اول از رابطه۲ به دست می‌آید، با این تفاوت که شبیه‌سازی میزان تغییر پارامتر سودجویی متفاوت خواهد بود. خریداران و فروشندگان فقط وقتی ممکن است تمایل به سودجویی خود را افزایش دهند که در دور قبلی بازار موفق به تراکنش شده باشند. در مقابل، شرکت‌کننده‌هایی که موفق به تراکنش نشده‌اند این تمایل را فقط کاهش می‌دهند. روند به‌روزرسانی تمایل به سودجویی عاملان زارع بدین‌صورت است که فروشندگانی که موفق شده‌اند تمامی میزان عرضه خود را با نرخ دلخواه خود به فروش برسانند و خریدارانی که موفق شده‌اند تقاضای خود را با قیمتی مطلوب بخرند، تمایل به سودجویی خود را افزایش می‌دهند. از طرف دیگر، فروشندگانی که موفق شده‌اند تنها قسمتی از عرضه خود را با قیمت دلخواه خود بفروشند و یا آن‌که به علت بالا بودن قیمت پیشنهادی، نتوانستند عرضه خود را بفروش برسانند و خریدارانی که توانستند تنها قسمتی از نیاز خود (و نه کل نیازشان) را با قیمت مطلوبی (از دید خود) تأمین کنند، تمایل به کاهش سودجویی خود دارند. به‌روزرسانی تغییر پارامتر سودجویی عاملان زارع از رابطه ۳ (Aghaie et al., 2020b) دست خواهد آمد.

$$\mu_{i,t+1} = \mu_{i,t} + \frac{\beta_i(\tau_t - p_{i,t})}{\eta_{i,t}} \qquad (۳)$$

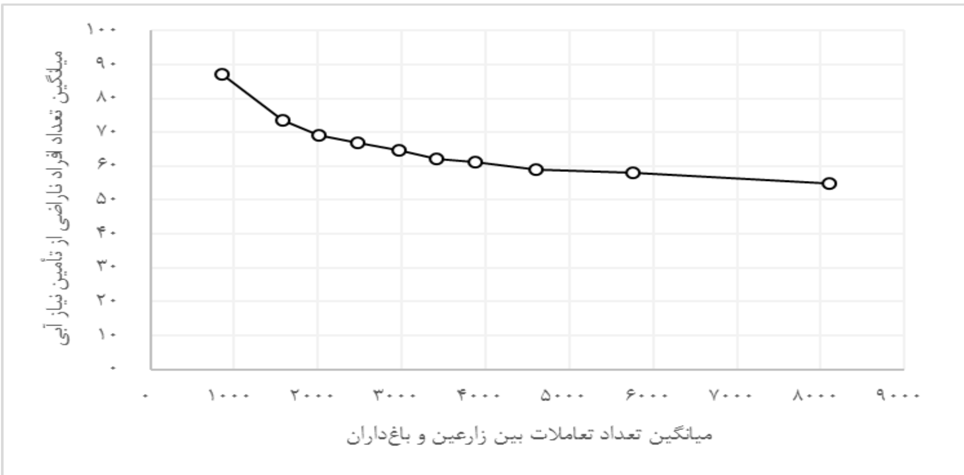
در رابطه اخیر، $\mu_{i,t+1}$ حریص بودن عامل $i$ام درسال $t+1$ام، $\mu_{i,t}$ حریص بودن عامل $i$ام در سال $t$ام، $\beta_i$ نرخ یادگیری عامل $i$ام، $p_{i,t}$ قیمت پیشنهادی عامل $i$ام در سال $t$ام، $\eta_{i,t}$ حد معقولی از قیمت برای عامل $i$ام در سال $t$ام و $\tau_t$ نیز قیمت هدف می‌باشد. اگر عامل $i$ام در گام زمانی قبلی، موفق به انجام تراکنش شده باشد $\tau_t$، برابر با قیمت آن تراکنش است ولی اگر فرد در گام زمانی قبل، موفق به انجام این امر نشده باشد و یا اصلاً در بازار شرکت نکرده باشد، این پارامتر برابر با میانگین قیمت تراکنش در گام زمانی قبل در نظر گرفته می‌شود. منطق این قضیه در آن است که فرض بر این می‌باشد که پس از هر گام زمانی، بازار آب با اعلام قیمت‌های معامله‌شده در گام زمانی اخیر، دید بیشتری به عامل‌های متقاضی در شرکت در بازار آب برای پیشنهاد قیمت می‌دهد. علاوه بر این، تأثیرگذاری عامل‌ها بر همدیگر و خبررسانی آن‌ها به هم منجر می‌شود که در هر گام زمانی، عامل‌ها از قیمت‌های معامله‌شده در گام قبلی باخبر شوند.

در مورد پارامتر نرخ یادگیری در رابطه ۳، باید گفت این پارامتر نیز از پارامترهای رفتاری عاملان زارع است که تأثیر

مستقیم بر تغییر پارامتر سودجویی زارع در گام‌های زمانی بعدی دارد. این پارامتر عددی بین صفر و یک خواهد بود و هرچه بزرگ‌تر باشد تأثیر بیشتری بر میزان حریص بودن عامل در گام‌های زمانی بعدی دارد و برعکس. به‌گونه‌ای که اگر برای یک عامل این عدد برابر صفر باشد، در تمامی گام‌های زمانی میزان نرخ سودجویی، ثابت خواهد ماند.

## نتایج و بحث

درمجموع، بازار آب دارای مزیت‌هایی به‌صورت جزئی (سود هر زارع و افزایش درآمد) و به‌صورت کلی (افزایش سطح زیر کشت و جلوگیری از بایر شدن زمین‌های منطقه) است. قسمت اول نتایج و بحث این تحقیق به بررسی تعداد افراد ناراضی از تأمین نیاز آبی خود می‌پردازد. طبیعی است که اگر زارعین نتوانند نیاز آبی خود را به‌طور کامل برآورده سازند مجبور به کاهش سطح زیر کشت خود می‌شوند که درنهایت کاهش درآمد را برای زارعین در پی دارد. شکل ۲، نمودار ارتباط بین میانگین تعداد افراد ناراضی از تأمین نیاز آبی و میانگین تعداد تعاملات بین زارعین در منطقه را در سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۵ نشان می‌دهد. این شکل، بیانگر آن است که درمجموع، با افزایش ارتباطات بین زارعین و شناخت آن‌ها از همدیگر، به‌تدریج میزان میانگین تعداد افراد ناراضی کاهش می‌یابد؛ به‌طوری‌که این تعداد از ۸۸ نفر به ۵۵ نفر در سال کاهش یافته است. این بدان معنی است که تعداد بیشتری از افراد قادر به تأمین کل نیاز آبی‌شان هستند. به‌عنوان یک نتیجه‌گیری می‌توان گفت که هر چه تعاملات بین زارعین و باغداران بیشتر باشد و توانایی آن‌ها در برقراری ارتباط با همدیگر بیشتر باشد، آن‌ها بهتر می‌توانند نیاز آبی خود را تأمین کنند.



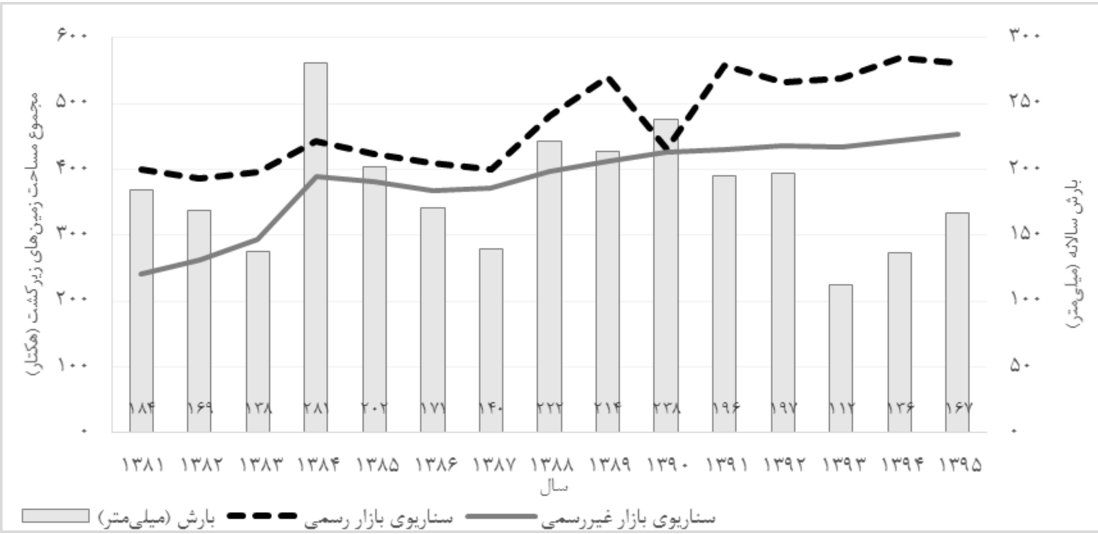

**شکل ۲- رابطه‌ی بین میانگین‌های تعداد افراد ناراضی از تأمین نیاز آبی و تعداد تعاملات بین زارعین و باغداران**

قسمت دوم نتایج و بحث این تحقیق، تأثیر بازار آب بر میزان افزایش سطح زیر کشت را مورد مطالعه قرارداده است. دلیل استفاده از این شاخص برای مقایسه، وجود زمین‌های بایر منطقه در سال‌های مدل‌سازی می‌باشد. در سال‌های گذشته که مبادلات موقت حقابه‌ها به شکل امروزی مرسوم نبوده است، تعداد قابل‌توجهی از زارعین و باغداران به علت عدم تأمین نیاز آبی، زمین‌های خود را به‌صورت بایر رها می‌کردند. برای رسیدن به مطلوب تحقیق، دو سناریوی بازار غیررسمی و بازار رسمی نیز مدل‌سازی شد. شکل ۳، مقایسه‌ی بین مجموع مساحت‌های زیر کشت در سناریوی اول (بازار غیررسمی) و سناریوی دوم (بازار رسمی) را نشان می‌دهد. درواقع، شکل ۳، ادغام دو نمودار بارش و مجموع مساحت زمین‌های زیر کشت در واحد زمان می‌باشد و

مبین تغییرات مجموع مساحت اراضی زیر کشت در گام‌های مختلف سالانه بر مبنای دو سناریوی بازار رسمی و غیررسمی است.

از شکل ۳ نتایج ذیل به دست می‌آید:

۱- هر دو سناریو، نشان‌گر شبیه‌سازی بازار آب در منطقه مجن است و نکته جالب‌توجه آن است که حتی در سال‌هایی که بارش به طرز قابل‌توجهی کاهش یافته است، مکانیسم بازار آب از افزایش چشم‌گیر زمین‌های بایر جلوگیری کرده است. وقوع این امر، دقیقاً مبتنی بر هدف تشکیل بازار در یک منطقه است. به‌گونه‌ای که هر زارع را تشویق به آبیاری بهینه اراضی شخصی و عرضه‌ی مازاد حقابه به دیگران می‌کند. در این صورت، از طرفی زارع حقابه‌دار از هر دو جهت (فروش محصولات و فروش مازاد حقابه) به سوددهی می‌رسد و از طرف دیگر امکان مهیا شدن اختلاف نیاز آبی و حقابه‌ی شخصیِ زارعین یا باغدارانی که حقابه‌ی کمتری نسبت به نیاز آبی خود دارند، فراهم می‌شود. به‌این‌ترتیب حتی در سال‌های با بارش کمتر تنها تا حدود قابل قبولی کاهش سطح زیر کشت اتفاق می‌افتد.




**شکل ۳- مقایسه‌ی مجموع مساحت‌های زیر کشت در دو سناریو با در نظرگیری میزان بارش سالانه**

۲- با دقت به نموداری که نشان‌دهنده‌ی سناریوی بازار رسمی است، می‌توان به این نکته پی برد که این نمودار در مقایسه با نمودار سناریوی بازار غیررسمی، دارای فراز و فرود بیشتری است. دلیل این امر نیز به واقعیت تعریف بازار رسمی برمی‌گردد. همان‌طور که پیش‌تر گفته شد، قیمت‌گذاری در بازار، مبتنی بر میزان نرخ سودجویی عامل زارع است و به‌صورت شخصی، توسط هر عامل تعیین می‌شود. از آن‌جا که در یک بازار رسمی، طرف مقابل یک فروشنده یا خریدار آب، عامل زارع نیست و درواقع این عامل سازمان بازار آب است که طرف مبادله قرار می‌گیرد و از طرفی وجود پارامتری به نام نرخ یادگیری که در به‌روزرسانی نرخ سودجویی لحاظ می‌گردد، اثر نرخ سودجویی در قیمت‌گذاری سناریوی بازار آب رسمی مشهودتر است. عاملی عرضه‌کننده را در نظر بگیرید که بنا بر نرخ سودجویی بالا قیمتی را پیشنهاد داده است که نمی‌تواند عرضه خود را اجاره دهد. در سناریوی بازار رسمی او به‌راحتی از سازمان کنترل‌کننده بازار حذف می‌شود و شانس اجاره آب در آن گام زمانی را به‌طور کامل از دست می‌دهد. درواقع، این شانس به شخص دیگری که قیمت مناسب‌تری را پیشنهاد داده

است منتقل می‌شود، حال آن‌که در سناریوی بازار آب غیررسمی این عامل، اگرچه قیمتی بالاتر از دیگر عرضه‌کنندگان پیشنهاد داده است اما او در حقیقت حذف نمی‌شود و تنها در اولویت‌های پایین عامل‌های متقاضی آشنایش قرار می‌گیرد؛ بنابراین ممکن است بخشی از عرضه خود را بتواند به فروش برساند. درنتیجه، به‌صورت کلی، به علت آن‌که عامل مذکور، در اولویت‌های پایین آشناهایش قرار می‌گیرد ممکن است سه حالت رخ دهد: الف- در این حالت، شخص عرضه‌کننده تمام میزان عرضه‌ی خود را بفروش می‌رساند. این حالت معمولاً هنگامی رخ می‌دهد که آشنایان عامل عرضه‌کننده با تعداد بسیار کمی رابطه تعاملی داشته باشند به‌گونه‌ای که مجبور به اجاره‌ی آب از آن عامل باشند. به‌عنوان‌مثال، اگر عاملی تنها با دو نفر در تعامل باشد که از این دو، تنها یکی از آن‌ها فروشنده مازاد حقابه‌اش باشد، در این هنگام، حتی اگر قیمت بالایی پیشنهاد گردد، احتمالاً شخص خریدار با عامل فروشنده به مبادله می‌پردازد. البته رخ دادن این حالت بسیار نادر است، زیرا اکثر زارعین و باغداران منطقه مورد مطالعه بومی هستند و به‌صورت خودکار از قبل از شروع زراعت یا باغداری به‌صورت مستقل تعدادی را می‌شناسند و این تعداد (طبق رابطه ۱) سال‌به‌سال افزایش پیدا خواهد کرد؛ بنابراین حتی اگر یک زارع عرضه‌کننده بتواند، از روی خوش‌اقبالی، در یک گام زمانی با قیمت بالایی تمام حقابه‌ی خود را بفروشد، قطعاً در گام‌های بعدی بازار، او موفق به فروش مازاد حقابه‌اش نخواهد شد. ب) در این حالت، شخص عرضه‌کننده ممکن است تنها بخشی از تمام میزان عرضه‌ی خود را بفروش برساند. پس از وقوع این رخداد، شخص عرضه‌کننده به میزانی که قادر نبوده است موفق عمل کند نرخ سودجویی خود را کاهش می‌دهد؛ بنابراین در این حال هم این عامل حذف نخواهد شد و تنها به علت این‌که در اولویت‌های بالاتری نزد آشناهایش قرار ندارد از فروش تمامی عرضه خود ناکام مانده است. ج- این حالت مبین آن است که فرد عرضه‌کننده، حتی قسمتی از مازاد حقابه خود را هم نتوانسته است به فروش برساند و در حقیقت یک نوع شکست را متقبل شده است. فقط در این حالت است که عامل فروشنده به‌نوعی از مبادله با دیگران محروم می‌شود. در گام بعدی در این حالت، این عامل با کاهش نرخ سودجویی (کاهش بیشتر نسبت به حالت پیشین) تلاش به پیشنهاد قیمت مناسب‌تری می‌کند.

۳- در بیشتر نقاط نمودار سناریوی بازار غیررسمی می‌توان افزایش مساحت زیر کشت را که با شیبی بسیار اندک اتفاق می‌افتد، مشاهده نمود. دلیل این اتفاق، آشنایی تدریجی عامل‌های زارع و باغدار با یکدیگر است. البته در بعضی از نقاط مانند سال ۱۳۸۴ و سال ۱۳۸۷ که منطقه به ترتیب با افزایش و کاهش چشم‌گیر بارش روبرو بوده است تغییراتی با شیب بیشتر در نمودار رخ داده است.

۴- درمجموع در اکثر مواقع، بازار رسمی عملکرد موفق‌تری نسبت به بازار غیررسمی داشته است، اما در برخی نقاط عملکرد بازار غیررسمی بسیار نزدیک به بازار رسمی در منطقه می‌شود. با یک نگاه کلی به شکل می‌توان به این نکته رسید که در سال‌هایی که بارش به‌صورت قابل‌توجهی تغییر نکرده است (کاهش نیافته است) عملکرد بازار غیررسمی به بازار رسمی بسیار نزدیک است، به‌گونه‌ای که در سال ۱۳۹۰ بعد از ثابت ماندن تقریبی میزان بارش در سه سال، عملکرد بازار آب رسمی و غیررسمی تقریباً برابر است.

۵- درمجموع، با توجه به نیاز به برنامه‌ریزی‌های کلان و انجام پروژه‌های پرهزینه برای ایجاد یک بازار رسمی، با بهبود شرایطی ازجمله مهیا ساختن بستری برای انتقال حقابه‌ها و شناسایی افراد نیازمند به مبادله با سرعت بیشتر و عملکرد بهتر می‌توان از بازار آب غیررسمی به شکل مطلوبی بهره برد. چنانچه در شکل مشاهده می‌شود، با مقایسه میانگین سطوح زیر کشت بین دو سناریو در این دوره‌ی زمانی، می‌توان دریافت که نسبت این میانگین در سناریوی بازار غیررسمی به این میانگین در سناریوی بازار رسمی، حدوداً برابر با عدد ۰/۸ است. این عدد تا حد قابل‌قبولی عملکرد مطلوب و بهینه‌ی بازارهای غیررسمی را نشان می‌دهد.

## نتیجه‌گیری

با توجه به مقایسه‌ی انجام‌شده، در اکثر مواقع، بازار رسمی عملکرد موفق‌تری نسبت به بازار غیررسمی داشته است، اما در برخی نقاط عملکرد بازار غیررسمی بسیار نزدیک به بازار رسمی

در منطقه می‌شود. چنانچه، با یک نگاه کلی به شکل ۳، می‌توان به این نکته رسید که در سال‌هایی که بارش به‌صورت قابل‌توجهی تغییر نکرده است (کاهش نیافته است) عملکرد بازار غیررسمی به بازار رسمی بسیار نزدیک است، به‌گونه‌ای که در سال ۱۳۹۰ بعد از ثابت ماندن تقریبی میزان بارش در سه سال، عملکرد بازار آب رسمی و غیررسمی تقریباً برابر است.

وجود تعداد قابل‌توجهی از بازارهای آبی که طبق تعاریف در زمره‌ی بازار آب رسمی قرار نمی‌گیرند و همچنین در اولویت نبودن تشکیل بازارهای رسمی در برنامه‌های بودجه‌بندی و سرمایه‌گذاری‌های برخی از حکومت‌ها، این سؤال را ایجاد می‌کند که آیا بازارهای غیررسمی، با مدیریت‌های مستقل و محدود می‌توانند عملکردی مطلوب و قابل‌قبول در مقایسه با بازارهای بروز و رسمی آب داشته باشند. در این تحقیق، به‌وضوح مشاهده شد که بازارهای غیررسمی نیز از مزایای شگرفی برخوردارند. تا حدی که در برخی شرایط، بسیار شبیه به یک بازار رسمی عمل می‌کند. درنتیجه، با بیشتر جدی گرفتن این طیف بازارها و همچنین تلاش برای هرچه‌بهترشدن روندها در آن، می‌توان به استفاده بهینه از آب در زمینه زراعت و باغداری که عمده‌ترین زمینه‌ی استفاده‌ی منابع آب است، کمک کرد.

توصیه کاربردی این مطالعه بر اهمیت بازارهای غیررسمی اشاره دارد. از آن‌جا که اهمیت والای وجود تعاملات مؤثر در یک بازار غیررسمی، انکارناپذیر است، شاید ساخت یک اپلیکیشن گوشی همراه و استفاده از آن توسط زارعین و باغداران برای مبادله‌ی آب، کمک به ارتقای سطح تعاملات بین زارعین و درنتیجه، استفاده‌ی بهینه‌تر از آب در محیط بازار غیررسمی آب، نماید. از طرفی کنترل قیمت‌های مبادله، چالشی است که با مدیریت آن می‌توان یک بازار آب پویا و بهینه داشت.

## مراجع


احمدی، آ.، ذوالفقاری‌پور، م.ا.، نیکویی، ع. و درعلی، م.ی. ۱۳۹۵. ارزیابی اقتصادی پیاده‌سازی بستر فنی بازار آب کشاورزی، مطالعه موردی: بخشی از شبکه آبیاری مهیار. تحقیقات منابع آب ایران. ۱۲(۳):۳۵-۴۹.

رجب‌پور، ص. ۱۳۹۷. چگونگی شکل‌گیری نظام توزیع آب در شهر مجن. دومین کنفرانس دوسالانه اقتصاد آب. تهران. ۱۶ص.

صدر، س.ک. ۱۳۸۲. نقش نهاد بازار و بخش عمومی در مدیریت و توسعه پایدار بخش آب. شرکت سهامی مدیریت منابع آب ایران. ۵۴ صفحه. دی‌ماه. دفتر اقتصاد آب.

طهماسبی، ا. و عسکری بزایه، ف. ۱۳۹۶. بازار آب و وعده‌های آن برای مدیریت تقاضای آب. نشریه مدیریت آب در کشاورزی. ۴(۲):۴۵-۵۲.

Aghaie, V., Alizadeh, H. and Afshar, A. 2020a. Agent-based hydro-economic modelling for analysis of groundwater-based irrigation water market mechanisms. Agricultural Water Management. 234:106140.

Aghaie, V., Alizadeh, H. and Afshar, A. 2020b. Emergence of social norms in the cap-and-trade policy: an agent-based groundwater market. Journal of Hydrology. 588:125057.

Dinar, A. and Letey, J. 1991. Agricultural water marketing, allocative efficiency, and drainage reduction. Journal of Environmental Economics and Management. 20(3):210-223.

Du, E., Cai, X., Brozović, N. and Minsker, B. (2017) Evaluating the impacts of farmers' behaviors on a hypothetical agricultural water market based on double auction. Water Resources Research. 53(5):4053-4072.

Easter, K.W., Rosegrant, M.W. and Dinar, A. (1999) Formal and informal markets for water: institutions, performance, constraints. The World Bank Research Observer. 14(1):99-116.

Gregory Mankiw, N. 2020. Essentials of economics. Cengage Learning, 594p.

Jamali Jaghdani, T. and Brümmer, B. (2015) Determinants of willingness to pay for groundwater: insights from informal water markets in rafsanjan, Iran. International Journal of Water Resources Development. 32(6):944-960.

Jia, S., Sun, Y., Svensson, J. and Mukherjee, M. 2016. Comparative analysis of water rights entitlements in India and China. Water Policy. 18(1):50-67.

Pujol, J., Raggi, M. and Viaggi, D. 2005. agricultural water markets: exploring limits and opportunities in Italy and Spain. 1:1-13.

Xu, T., Zheng, H., Zhao, J., Liu, Y., Tang, P., Ethan Yang, Y.C. and Wang, Z. 2018. A two-phase model for trade matching and price setting in double auction water markets. Water Resources Research. 54(4):2999-3017.

Zekri, S. and Easter, K.W. 2005. Estimating the potential gains from water markets: a case study from Tunisia. Agricultural Water Management. 72(3):161-175.

# Determination of Operation of the Informal Water Market In Comparison With One Type of the Formal Market (The Case Study of Mojen Region)

**M.H. Matinju[1] and H.Alizadeh[2*]**

## Abstract

The water market is a worthwhile mechanism in order to address increasing demands, and it helps rewarding redistribution of water in a given zone. Water markets can be both formal and informal, that is, each of them has exclusive features and is being used in lots of regions throughout the world. This study is seeking to answer the question that what extent an informal market can affect the optimal allocation of water and farmers' performance. Furthermore, the performance of the informal water market is been compared with that of the hypothetical formal water market. The results of the study show that due to the existence of informal markets in the region and the expansion of interactive relationships between farmers and gardeners, the average number of people who have not been able to meet their water needs has decreased from 88 to 55 people per year. It was also concluded that by solving some challenges and providing an interactive environment for farmers, the informal water market would have a performance of nearly 80% of a formal market without the need to become a formal market. This result highlights the importance of informal water markets. The lack of considerable reduction in crop area, at relatively low rainy years, due to the existence of the water market, is another result obtained in this study.

**Keywords:** Agent-based model; Cultivated area; Formal and informal water market; Interactive model; Mojen region.

[1] MSc student of Water Resources Management and Engineering, School of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology.
[2] Assistant Professor, Water and Environment Department, School of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology. (*Corresponding Author: Alizadeh@iust.ac.ir)
Received: 14 September 2020
Accepted: 24 September 2020

Water Management in Agriculture
Vol. 7, No. 1, Spring and Summer 2020, 109-120

نشریه مدیریت آب در کشاورزی
جلد ۷، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۹، ص. ۱۲۰-۱۰۹

مقاله علمی-پژوهشی

# تأثیر آب مغناطیسی و پرایمینگ بر شاخص‌های جوانه‌زنی تربچه جهت بهبود بهره‌وری آب

معصومه متانت[۱]، حسین بانژاد[۲*]، مرتضی گلدانی [۳] و مصطفی قلی‌زاده [۴]

## چکیده

جوانه‌زنی بذرها از مراحل تعیین‌کننده در چرخه زندگی بذر به شمار می‌رود و استفاده از تکنیک‌های مختلف برای تولید گیاهچه‌های قوی‌تر به بقای گیاهان و بهبود بهره‌وری آب کمک می‌کند. تأثیر آب مغناطیسی متأثر از شدت میدان، نوع گیاه و آب مورداستفاده می‌باشد و با توجه به اینکه آزمایش مشابهی بر گیاه تربچه به‌عنوان گیاهی پرمصرف و آب‌بر انجام نشده است، این آزمایش به‌منظور بررسی اثر متقابل تیمار پرایمینگ و آبیاری با آب مغناطیسی بر صفات جوانه‌زنی بذور تربچه، در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. تیمارها شامل چهار نوع پرایمینگ و سه نوع آب بودند. نتایج نشان داد که اثر متقابل تیمارهای پرایمینگ و آبیاری با آب مغناطیسی در مدت زمان یک ساعت به ترتیب باعث افزایش ۲۵، ۲۷ و ۷۱ درصد در طول ساقه‌چه، وزن‌تر ساقه‌چه و ریشه‌چه شد، هم‌چنین باعث افزایش چشمگیری در وزن خشک ریشه‌چه مشاهده شد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده تیمار پرایمینگ و آبیاری با آب مغناطیسی یک ساعت را می‌توان به‌عنوان بهترین تیمار در این آزمایش نام برد. درنهایت می‌توان نتیجه گرفت که هیدروپرایمینگ بذور به‌خصوص با آب مغناطیسی، اثرات مثبتی بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذرهای تربچه داشته است.

**واژه‌های کلیدی:** پرایم با آب مغناطیسی، بهره‌وری آب، سرعت جوانه‌زنی، درصد جوانه‌زنی، گیاهچه‌های قوی

## مقدمه

جوانه‌زنی و استقرار مطلوب گیاه یکی از مهم‌ترین مشکلات کشاورزان در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد (آذرنیا و عیسوند، ۱۳۹۲). جوانه‌زنی بذر با جذب و آغشتگی به آب آغاز و به‌وسیله حوادث پیاپی بیوشیمیایی در دانه دنبال می‌شود که شامل فعال‌سازی متابولیسم، هضم مواد ذخیره‌ای و انتقال به جنین، تقسیم سلولی و رشد است (فرزانه و همکاران، ۱۳۹۰). تکنولوژی استفاده از آب مغناطیسی در کشاورزی امروزه به‌طور گسترده در بیشتر کشورها مانند استرالیا، آمریکا، چین و ژاپن موردمطالعه قرار گرفته است. گزارش‌های متعددی در خصوص کاربرد آب مغناطیسی در کشاورزی وجود دارد. استفاده از آب مغناطیسی در ایران در مقایسه با سایر کشورهای پیشرفته دنیا متداول نبوده و تحقیقات صورت گرفته به‌خصوص در زمینه کشاورزی بسیار اندک است (رستگار و همکاران، ۱۳۹۳). شواهد فراوانی در مورد تغییرات جوانه‌زنی بذر ایجادشده توسط میدان مغناطیسی ثابت وجود دارد. تیمار بذر قبل از کاشت باعث بهبود سرعت جوانه‌زنی و قدرت گیاهچه می‌شود (Reina et al., 2001).

یکی از تکنیک‌هایی که به‌منظور افزایش میزان جوانه‌زنی استفاده می‌شود؛ تکنیک پرایمینگ است. این روش شامل خیساندن بذرها در آب، خشک‌کردن و کاشت است (Murungu

۱. دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۲. دانشیار قطب علمی مدیریت کم آبیاری و آب‌های نامتعارف، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران (*: نویسنده مسئول: banejad@um.ac.ir)
۳. دانشیار گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۴. استاد گروه شیمی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

تاریخ دریافت: ۹۹/۸/۵
تاریخ پذیرش: ۹۹/۷/۱۰
DOR: 20.1001.1.24764531.1399.7.1.10.7

et al., 2003). پرایمینگ بذر تکنیکی است که به‌واسطه آن بذر قبل از قرار گرفتن در بستر خود و مواجه‌شدن با شرایط اکولوژیکی محیطی ازلحاظ فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی آمادگی جوانه‌زنی را به‌دست می‌آورد. این تکنیک به‌خاطر هزینه کم و کاهش ریسک یک روش مناسب برای افزایش کیفیت بذر شناخته شده است (Harris et al., 1999).

گیاه تربچه از خانواده Brassicaceae؛ با نام علمی Raphanus sativus و نام انگلیسی Raddish شناخته می‌شود (امیری خوریه و فردانشیان، ۱۳۹۴). این گیاه یک محصول مهم است که در سراسر جهان تولید می‌شود (Wang et al., 2015). اخیراً محققان به این گیاه علاقه‌مند شدند زیرا به ترکیبات تربچه که دارای خواص درمانی و مزایای زیادی است پی بردند. آن‌ها اثرات آنتی‌اکسیدانی تربچه بر روی سلول‌های سرطانی موش‌های صحرایی را گزارش داده‌اند (Hara et al., 2011). طبق مطالعات به‌دست‌آمده دمای مناسب برای جوانه‌زنی گیاه تربچه را حدود ۲۵ درجه سانتی‌گراد است (Craker et al., 1983; Jones and Hampton, 2010; Wang et al., 2015).

طبق مطالعات صورت گرفته میدان مغناطیسی اثرات مفیدی بر جوانه‌زنی بذر، رشد گیاه، رسیدن و عملکرد محصولات زراعی داشته است (مهرابی و حمزه، ۱۳۹۳؛ Yadollahpour et al., 2014). همچنین قرار گرفتن بذرهای ذرت در معرض میدان مغناطیسی با شدت ۵۰ میلی تسلا باعث افزایش توده بافت تازه و خشک، رنگ‌دانه، اسیدهای نوکلئیک و طول گیاه می‌شود (Răcuciu et al., 2006). تیمار کردن بذور چغندرقند با میدان مغناطیسی ۵ میلی‌تسلا باعث افزایش درصد جوانه‌زنی، میزان کلروفیل و عملکرد ریشه گیاه شده است (Rochalska et al, 2008). در مطالعه‌ای که به‌منظور بررسی تأثیر میدان مغناطیسی و هیدروپرایمینگ بر جوانه‌زنی بذر گوجه‌فرنگی انجام شد، نتایج نشان داد که خیساندن بذر در حضور میدان مغناطیسی باعث افزایش سرعت جوانه‌زنی، شاخص بنیه بذر و طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه شده است که می‌تواند نقش مهمی در بهبود جوانه‌زنی و تسریع رشد اولیه بذر گوجه‌فرنگی ایفا کند (فیضی و همکاران، ۱۳۹۰). نیکبخت و همکاران (۱۳۹۳) معتقدند که آبیاری با آب مغناطیسی اثر محرکی بر پارامترهای رشد اولیه ازجمله طول ساقه‌چه و ریشه-چه، وزن خشک ساقه‌چه و ریشه‌چه و درصد و سرعت جوانه‌زنی بذرهای گیاه ذرت رقم ماکسیما داشته است. همچنین بذرهای آبیاری شده با آب مغناطیسی در دو رقم گوجه‌فرنگی سانسید و صادین باعث افزایش قابل‌توجهی در سرعت و درصد جوانه‌زنی، شاخص بنیه بذر، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه، وزن ساقه‌چه و ریشه‌چه و ترکیباتی مانند کلروفیل و کارتنوئید شده است (رستگار و همکاران، ۱۳۹۳). پرایمینگ بذرهای کنجد توسط میدان مغناطیسی با شدت میدان ۷۵ میلی‌تسلا باعث افزایش سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه، وزن خشک ریشه‌چه و گیاهچه و شاخص بنیه گیاه شده است (جانعلی‌زاده قزوینی و همکاران، ۱۳۹۵). تیمارهای مختلف میدان مغناطیسی بر روی بذور نخود سبب تأثیر معنی‌داری بر روی میزان ماده خشک تولیدی نخود می‌شود (محمودی و همکاران، ۱۳۹۵). مطالعات انجام‌شده توسط الگیزاوی و همکاران (۲۰۱۶) نشان داد که بذرهای سیب‌زمینی در معرض میدان مغناطیسی ۳۰ میلی‌تسلا در مدت ۱۰ دقیقه باعث افزایش قابل‌توجهی در مقدار درصد جوانه‌زنی، طول گیاه، تعداد برگ در بوته، خصوصیات عملکرد غده (تعداد غده، وزن تازه غده در بوته و قطر غده سیب‌زمینی) و هم‌چنین محتوای شیمیایی سلول‌های سیب‌زمینی ازجمله فسفر و پتاسیم شد. همچنین در مطالعه‌ای نتایج نشان داد که تیمار میدان مغناطیسی می‌تواند گزینه مناسبی برای افزایش جوانه‌زنی بذر و متغیرهای رشد زودرس گیاهچه یونجه در شرایط مختلف شوری باشد (Hozaynet al., 2019).

بر کسی پوشیده نیست که اگر گیاهان در مرحله جوانه‌زنی جوانه‌های مقاوم و خوبی تولید کنند یا با افزایش سرعت جوانه-زنی بذرها طول دوره رشد گیاه کوتاه شود کمک بزرگی در بهبود بهره‌وری آب می‌کند. با توجه به مطالعات صورت گرفته در رابطه با جوانه‌زنی بذور به‌وسیله تیمار کردن آن‌ها با آب مغناطیسی، می‌توان به نتایج مثبت آب مغناطیسی بر جوانه‌زنی بذور امیدوار بود؛ اما لازم به ذکر است که تأثیر آب مغناطیسی متأثر از شدت میدان، نوع گیاه و آب مورداستفاده نیز می‌باشد و با توجه به محاسن متعدد فرایند پرایمینگ و همچنین با توجه به اهمیت فاز دوم (فعالیت متابولیکی جوانه‌زنی) اهمیت تأثیر آب مغناطیسی را نیز بر این مرحله (فاز دوم) بر گیاه تربچه به‌عنوان یک گیاه پرمصرف و آب‌بر آزمایش شد. چرا که با توجه به

بررسی منابع انجام‌شده گزارشی بر انجام این کاربر روی تربچه مشاهده نشده است.

## مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر آب مغناطیسی و پرایمینگ بر شاخص‌های جوانه‌زنی گیاه تربچه رقم Comet F1 پژوهشی در آزمایشگاه دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد به‌صورت طرح کاملاً تصادفی با دو تیمار پرایمینگ و نوع آب در چهار تکرار اجرا شد. آب‌های آماده‌شده در این آزمایش به‌وسیله دستگاهی به نام دستگاه مغناطیس کننده سیالات که به‌صورت یک سیستم چرخشی با شدت میدان‌های مغناطیسی مختلف ساخته‌شده بود، تهیه شدند (قلی‌زاده، ۲۰۱۹). تیمارهای پرایمینگ شامل بذور بدون پرایم (شاهد، P1) هیدروپرایمینگ با آب مقطر (P2)، هیدروپرایمینگ با آب مغناطیسی یک‌بار گذر (P3، آب تنها یک‌بار با دبی ۲۵ لیتر در دقیقه از میدان مغناطیسی عبور کرده است) و هیدروپرایمینگ با آب مغناطیسی با مدت زمان یک ساعت (P4، آب به مدت یک ساعت با دبی ۲۵ لیتر در دقیقه در میدان مغناطیسی در حال چرخش بوده است) و تیمارهای نوع آب شامل آب مقطر (شاهد، M1)، آب مغناطیسی یک‌بار گذر (M2)، آب مغناطیسی با مدت زمان یک ساعت (M3) انتخاب شد. لازم به ذکر است، شدت میدان مغناطیسی استفاده‌شده در این آزمایش با توجه به مقاله متانت و همکاران (۱۳۹۷)، ۰/۶۶ تسلا انتخاب شد همچنین آب مورداستفاده در تمام طول این پژوهش آب مقطر به‌عنوان یک آب با استانداردهای بین‌المللی انتخاب گردید.

## پرایمینگ بذر

برای پرایم کردن بذور به دو پارامتر دما و زمان نیاز بود؛ دمای استاندارد که دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد بود از منابع در اختیار به‌دست آمد (Craker et al., 1983; Jones and Hampton, 2010; Wang et al., 2015). برای به‌دست آوردن زمان مطلوب چهار پتری دیش یک اندازه انتخاب گردید که در هرکدام ۲۵ عدد بذر قرار داده شد و در مرحله اول به میزان ۵ سی‌سی به هرکدام از پتری دیش‌ها آب داده شد و در ژرمیناتور در دمای ۲۵ درجه قرار داده شد. همه پتری دیش‌ها در تمام مراحل در شرایط یکسان بودند. این کار در ساعت ۲۰ شروع شد و بعد از ۱۲ ساعت همه پتری‌ها به‌صورت مرتب، هر یک ساعت مورد بررسی قرار گرفتند تا زمانی که ظهور اولین جوانه که در ساعت ۱۶ روز بعد ظاهر شد ثبت گردید در جدول ۱ زمان و تعداد جوانه‌ها در هر پتری مشخص گردید است.

**جدول ۱- تعیین زمان جوانه‌زنی**

| تکرار / ساعت | ۱۶:۰۰ | ۱۷:۰۰ | ۱۹:۰۰ | ۲۰:۰۰ | ۷:۰۰ | ۹:۰۰ | ۱۲:۰۰ | ۱۳:۰۰ | ۱۴:۰۰ | ۱۵:۰۰ | ۱۷:۰۰ | ۱۸:۰۰ | ۲۰:۰۰ | ۷:۰۰ | ۱۰:۰۰ | ۷:۰۰ | ۱۴:۰۰ | ۱۵:۰۰ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| R1 | ۱ | ۳ | ۳ | ۴ | ۱۷ | ۱۹ | ۱۹ | ۲۰ | ۲۰ | ۲۰ | ۲۰ | ۲۲ | ۲۲ | ۲۲ | ۲۳ | ۲۳ | ۲۳ | ۲۳ |
| R2 | ۰ | ۰ | ۲ | ۲ | ۹ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۳ | ۱۳ | ۱۵ | ۱۶ | ۱۸ | ۱۸ | ۲۱ | ۲۲ | ۲۳ | ۲۳ | ۲۴ |
| R3 | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۶ | ۷ | ۸ | ۸ | ۱۰ | ۱۳ | ۱۵ | ۱۷ | ۱۷ | ۱۹ | ۱۹ | ۲۰ | ۲۰ | ۲۰ |
| R4 | ۰ | ۰ | ۰ | ۱ | ۱۲ | ۱۲ | ۱۵ | ۱۵ | ۱۶ | ۱۶ | ۱۷ | ۱۷ | ۱۷ | ۱۹ | ۱۹ | ۲۰ | ۲۰ | ۲۰ |

***اعداد داخل جدول تعداد بذرهای جوانه‌زده در هر پتری دیش را با توجه به زمان به‌صورت فراوانی تجمعی نشان می‌دهد**

با توجه به این‌که پرایمینگ یعنی قرار گرفتن بذر در آستانه جوانه‌زنی و بذور نباید در این مرحله جوانه بزنند زمان ۱۹ ساعت برای این مرحله انتخاب گردید. برای مرحله بعد چهار پتری دیش یک اندازه انتخاب شد و حدود ۴۰۰ عدد بذر در هرکدام از پتری‌ها قرار داده شد، سپس در هر پتری دیش به‌ترتیب آب مقطر، آب مغناطیسی یک‌بار گذر، آب مغناطیسی با مدت زمان یک ساعت به میزان پنج سی‌سی در آن‌ها ریخته شد و پتری دیش چهارم را نیز بدون آب برای داشتن شرایط یکسان در درون ژرمیناتور و در دمای ۲۵ درجه به مدت ۱۹ ساعت قرار داده شد در مدت زمان ۱۹ ساعت بذرها به‌صورت مرتب بررسی

می‌شدند و در صورت نیاز به آب مجدد حدود سه سی‌سی آب موردنظر به هرکدام از پتری‌ها داده‌شده. بعد از مدت زمان ۱۹ ساعت آب بذور گرفته شد و بذرهایی که پوسته آن‌ها کمی شکافته شده بود جدا گردید و به بقیه بذرها اجازه داده شد تا کاملاً هوا خشک شوند.

## مرحله جوانه‌زنی

بعد از هوا خشک شدن کامل بذور ۴۸ عدد پتری یک اندازه انتخاب گردید و در هر پتری ۲۵ عدد بذر از بذوری که قبلاً پرایم شده بودند قرار داده‌شده و با سه سی‌سی از آب موردنظر در هر روز خیسانده می‌شدند. پتری‌ها به مدت ۱۰ روز و در دمای ۲۵ درجه درون ژرميناتور قرار گرفتند (Wagenvoort and Bierhuizen, 1977; Jones and Hampton, 2010) و در طول این ۱۰ روز به‌صورت مرتب در یک ساعت مشخص در ۹ صبح تعداد جوانه‌ها در هر پتری شمارش شدند (شکل ۱).

## محاسبات و آنالیز آماری

مرتب کردن و محاسبه فرمول‌ها با استفاده از نرم‌افزار Excel و آنالیز داده‌ها نیز با استفاده از نرم‌افزار Minitab با آزمون حداقل میانگین مربعات تجزیه‌وتحلیل شدند.

## مرحله اندازه‌گیری صفات

بعد از ۱۰ روز با استفاده از فرمول‌های (۱)، (۲) و (۳) درصد و سرعت جوانه‌زنی بذور محاسبه شدند؛ و از هر پتری دیش تعداد ۵ گیاهچه به‌طور تصادفی انتخاب و طول ریشه‌چه و ساقه‌چه آن‌ها با خط‌کش اندازه‌گیری شد و ریشه‌چه‌ها و ساقه‌چه‌ها به‌صورت جداگانه با ترازوی مدل gf-600 و با دقت اندازه‌گیری ۰/۰۲ گرم وزن شدند و در انتها داخل آون با دمای ۷۰ درجه به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفتند و وزن خشک دو قسمت نیز با همان ترازو مجدداً توزین شد.

$$\text{سرعت جوانه‌زنی} = \sum(\text{تعداد بذرهای جوانه زده تا روز } i \times \mathbf{100})/i \qquad (۱)$$

$$\text{درصد جوانه‌زنی} = (\text{تعداد بذرهای جوانه زده تا روز } i \times \mathbf{100})/\text{تعداد کل بذرها} \qquad (۲)$$

$$\text{شاخص بنیه بذر} = (\text{درصد جوانه‌زنی} \times \text{میانگین طول ساقه‌چه})/\mathbf{100} \qquad (۳)$$


**شکل ۱- پتری دیش‌های حاوی بذر قرارگرفته در ژرميناتور**

## نتایج و بحث

## سرعت جوانه‌زنی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس دادها نشان داد که تیمار پرایمینگ باعث افزایش سرعت جوانه‌زنی در سطح احتمال یک درصد گردید (جدول ۲)؛ اما تیمار نوع آب و اثر متقابل آن‌ها تأثیر معنی‌داری نداشت. باتوجه به جدول ۳ تیمارهای پرایم شده با آب مغناطیسی بیش‌ترین میانگین سرعت جوانه‌زنی را به خود اختصاص دادند. تیمار P4 باعث افزایش حدود بیش از دو برابری در سرعت جوانه‌زنی نسبت به تیمار شاهد شد. مطالعات مساح و همکاران (۲۰۱۹) نیز نشان داد که استفاده از آب مقطر در معرض میدان مغناطیسی باعث افزایش در سرعت جوانه‌زنی گیاه گندم شده است، همچنین نتایج به‌دست‌آمده با نتایج شیائو هوان و همکاران (۲۰۰۹) بر هیدروپرایمینگ بذر سویا، کایمک و همکاران (۲۰۰۹) با پرایم کردن بذر تربچه با ریزوباکتریوم، الحق و همکاران (۲۰۱۶) بر گیاه ترب که در آزمایش‌های آن‌ها نیز

پرایم کردن بذور و پرایم با آب مغناطیسی باعث افزایش سرعت جوانه‌زنی در گیاهان شده مطابقت دارد. احتمالاً خیساندن بذور با آب مغناطیسی باعث افزایش آنزیم‌هایی که مسئولیت جوانه‌زنی سریع را برعهده دارند شده است.

## درصد جوانه‌زنی

نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد که تنها اثر ساده نوع آب بر درصد جوانه‌زنی تیمارها اثر معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد دارد. بیش‌ترین و کم‌ترین درصد جوانه‌زنی تیمارها مربوط به تیمار M3 و M1 با مقدار ۹۶/۶۸ و ۹۴/۵۰۰ بوده است (جدول ۳). پناهی و همکاران (۱۳۹۰) بر گیاه چغندرقند، نیمی و مدهو (۲۰۰۹) بر گیاه فلفل چیلی، هاچیچا و همکاران (۲۰۱۶) بر گیاه ذرت، الحق و همکاران (۲۰۱۶) بر گیاه ترب نیز مشاهده کردند که استفاده از آب مغناطیسی باعث افزایش درصد جوانه‌زنی شده است که با نتایج به‌دست‌آمده در این آزمایش مشابه است. به نظر می‌رسد که طبق مطالعات گلدانی و همکاران (۱۳۹۵) آب مغناطیسی وارد شده در داخل سلول‌ها باعث تراکم یون کلسیم و یون‌های دیگر نظیر پتاسیم در سراسر غشاء سلولی می‌شود که فشار اسمزی و قدرت بافت‌های سلول برای جذب آب را افزایش می‌دهد. با افزایش درصد جوانه‌زنی به کمک آب مغناطیسی میزان تلفات بذر در مزرعه کاهش می‌یابد که به اقتصاد کشاورز و افزایش بهره‌وری آب کمک می‌کند.

## شاخص بنیه بذر

باتوجه به جدول تجزیه واریانس اثرات ساده تیمار پرایمینگ و نوع آب در سطح احتمال پنج درصد بر این صفت معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج جدول ۳ بیان می‌کند که در بین تیمارهای پرایمینگ بیش‌ترین شاخص بنیه بذر مربوط به تیمار P4 با ۱۲/۳۵۶ و کم‌ترین آن مربوط به تیمار P1 با ۱۰/۹۹ است. تیمار P4 باعث افزایش ۱۲ درصدی نسبت به تیمار شاهد شد. کاربرد استفاده از آب مغناطیسی باعث افزایش شاخص بنیه بذر می‌شود، به‌طوری‌که تیمار M3 باعث افزایش ۱۸ درصدی نسبت به تیمار شاهد گردید. نتایج به‌دست‌آمده با نتایج روچالسکا و همکاران (۲۰۰۸) با قرار دادن آب در شدت میدان پنج میلی‌تسلا در گیاه چغندرقند، فیضی و همکاران (۱۳۹۰) با قرار دادن بذرهای گوجه‌فرنگی در شدت میدان ۲۵ میلی‌تسلا در مدت زمان‌های متفاوت، رستگار و همکاران (۱۳۹۳) در گیاه گوجه‌فرنگی، جانعلی‌زاده قزوینی و همکاران (۱۳۹۵) با خیساندن بذور در آب مغناطیسی با شدت میدان‌ها و مدت زمان‌های مختلف در گیاه کنجد، گلدانی و همکاران (۱۳۹۵) با خیساندن بذور با آب مغناطیسی به همراه تنش شوری در گیاه لوبیا و الحق و همکاران (۲۰۱۶) در گیاه ترب مطابقت دارد. همه آن‌ها گزارش کردند که خیساندن بذور با آب مغناطیسی باعث افزایش شاخص بنیه بذر می‌شود. به‌نظر می‌رسد که پرایم کردن بذور با آب مغناطیسی و آب دادن بذرها با آب مغناطیسی باعث تحریک سلول‌ها و فعال شدن انرژی بالقوه در بذرها می‌شود این عوامل ممکن است شاخص بنیه بذر را افزایش دهد و منجر به افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی در بذور شود.

## طول ساقه‌چه (میلی‌متر)

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان می‌دهد که اثر ساده تیمار پرایمینگ در سطح احتمال پنج درصد و اثر متقابل تیمارهای پرایمینگ و نوع آب در سطح احتمال یک درصد بر این صفت معنی‌دار شد (جدول ۲). در بین اثرات ساده تیمار پرایمینگ بیش‌ترین طول ساقه‌چه با ۴/۳۴۱ به تیمار P4 اختصاص دارد و باعث افزایش ۱۲ درصدی نسبت به تیمار شاهد شده است. افزایش طول ساقه‌چه در بذرهای پرایم شده به این دلیل است که بذرها در دو مرحله در شرایط جوانه‌زنی قرار گرفته‌اند و دارای بنیه و کیفیت بالاتری نسبت به بذرهای غیر پرایم هستند (بیات و همکاران، ۱۳۹۳). باتوجه به جدول ۴ در بین اثر متقابل تیمارهای پرایمینگ و نوع آب بیش‌ترین طول ساقه‌چه به تیمار P4M2 اختصاص دارد که باعث افزایش ۳۷ درصدی نسبت به تیمار شاهد شده است. نتایج به‌دست‌آمده با نتایج نیمی و مدهو (2009) بر گیاه فلفل چیلی با آب مغناطیسی در مدت زمان‌های مختلف، نیکبخت و همکاران (۱۳۹۳) بر گیاه ذرت و الحق و همکاران (۲۰۱۶) بر گیاه ترب مطابقت دارد. نتایج نشان می‌دهد که احتمالاً استفاده از آب مغناطیسی باعث افزایش تحرک عوامل وابسته به رشد ازجمله آنزیم‌های رشد گیاهان در مرحله اولیه می‌شود.

## وزن‌تر ساقه‌چه (گرم بر گیاه)

داده‌های ارائه‌شده در جدول ۲، نشان می‌دهد که اثر ساده پرایمینگ و نوع آب در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل

تیمارهای پرایمینگ و نوع آب در سطح احتمال پنج درصد بر این صفت معنی‌دار شد. در بین تیمارهای اثر ساده هیدروپرایمینگ، بذرهای پرایم شده با آب مغناطیسی بیش‌ترین وزن تر ساقه‌چه را داشتند و کم‌ترین وزن‌تر ساقه‌چه مربوط به تیمار شاهد بود. هم‌چنین در بین تیمارهای نوع آب بیش‌ترین وزن‌تر ساقه‌چه مربوط به تیمار M3 و کم‌ترین آن به تیمار M1 (شاهد) اختصاص داشت. باتوجه به نتایج به‌دست آمده از جدول ۴ بیش‌ترین وزن تر ساقه‌چه مربوط به اثر متقابل تیمارهای P4M2 (۰/۴۳۹ گرم بر گیاه) و کم‌ترین آن نیز مربوط تیمار P1M1 (۰/۳۱۰ گرم بر گیاه) بود. روچالسکا و همکاران (۲۰۰۸) در گیاه چغندرقند، جانعلی‌زاده قزوینی و همکاران (۱۳۹۵) در گیاه کنجد، گلدانی و همکاران (۱۳۹۵) در گیاه لوبیا و الحق و همکاران (۲۰۱۶) در گیاه ترب نیز با هیدروپرایم کردن بذور با آب مغناطیسی با افزایش ساقه‌چه روبرو شده‌اند. همان‌طور که قبلاً نیز ذکر گردید ممکن است استفاده از پرایم و آب مغناطیسی هر دو باعث بهبود رشد جوانه‌زنی، رشد گیاه‌چه و فعالیت آنزیمی شود که منجر به تولید گیاه‌چه‌های بزرگ‌تر می‌شود همچنین ممکن است میدان مغناطیسی منجر به تسریع آب در بذرها شود که باعث آماس گیاه‌چه‌ها و افزایش وزن می‌شود.

## وزن‌تر ریشه‌چه (گرم بر گیاه)

تیمار اثر ساده پرایمینگ و اثر متقابل پرایمینگ و نوع آب در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد بر وزن‌تر ریشه‌چه معنی‌دار شد (جدول ۲). تیمارهای هیدروپرایمینگ با آب مغناطیسی بیش‌ترین وزن تر ریشه‌چه را به خود اختصاص دادند و کم‌ترین وزن‌تر ریشه‌چه مربوط به تیمار شاهد بود. تیمار P4 باعث افزایش ۴۸ درصدی وزن تر ریشه‌چه نسبت به تیمار شاهد شد. هم‌چنین باتوجه به جدول ۴ بیش‌ترین وزن‌تر ریشه‌چه در بین تیمارهای اثر متقابل پرایمینگ و نوع آب مربوط به تیمار P4M3 و کم‌ترین وزن تر ریشه‌چه مربوط به تیمار P2M1 است. تیمار P4M3 باعث افزایش ۷۱ درصدی نسبت به تیمار شاهد (P1M1) در وزن‌تر ریشه‌چه شده است. نتایج به‌دست‌آمده با نتایج افضل و همکاران (۲۰۰۲) بر گیاه ذرت، مورونگو و همکاران (۲۰۰۳) بر گیاه ذرت و پنبه و شیائو هوان و همکاران (۲۰۰۹) بر پرایم بذر سویا مشابه است. ممکن است پرایمینگ بذر قادر باشد برخی از آسیب‌های ناشی از فرسایش دانه را اصلاح کند و سبب افزایش نیروی بذر شود این اتفاقات هم‌چنین طبق گفته‌های جیشا و همکاران (۲۰۱۳) ممکن است منجر به افزایش رونوشت DNA در گیاه شود.

## وزن خشک ساقه‌چه (گرم بر گیاه)

باتوجه به نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها اثر ساده تیمار پرایمینگ در سطح احتمال پنج درصد و اثر ساده تیمار نوع آب در سطح احتمال یک درصد بر وزن خشک ساقه‌چه معنی‌دار است (جدول ۲). باتوجه به نتایج جدول ۳ تیمار پرایمینگ که بیش‌ترین وزن خشک ساقه‌چه را به خود اختصاص داده است تیمار P3 است. پرایم کردن بذور قبل از کاشت باعث افزایش سنتز DNA، RNA و پروتئین‌ها می‌شود (افضل و همکاران، ۲۰۰۲) که احتمالاً به همین علت عملکرد گیاه جوانه‌زده نسبت به بذوری که پرایم نشده‌اند کاهش پیدا می‌کند. در بین تیمارهای نوع آب بیش‌ترین وزن خشک ساقه‌چه مربوط به تیمارهای M3 و M2 است این دو تیمار با یکدیگر اختلاف معنی‌داری ندارد و کم‌ترین وزن خشک ساقه‌چه مربوط به تیمار M1 است. نتایج به دست آمده با نتایج افضل و همکاران (افضل و همکاران، ۲۰۰۲) بر گیاه ذرت، روچالسکا و همکاران (۲۰۰۸) بر گیاه چغندرقند، شیائو هوان و همکاران (۲۰۰۹) بر پرایم بذر سویا، فیضی و همکاران (۱۳۹۰) بر گیاه گوجه‌فرنگی، الحق و همکاران (۲۰۱۶) بر گیاه ترب که پرایم کردن بذور با آب مغناطیسی باعث افزایش وزن خشک ساقه‌چه در آزمایش‌های آن‌ها نیز شده است مطابقت دارد. شاید بهبود کیفیت آب و افزایش فعالیت‌های آنزیمی منجر به افزایش جوانه‌زنی در بذرهای آبیاری شده با آب مغناطیسی شده است.

## وزن خشک ریشه‌چه (گرم بر گیاه)

نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد که اثرات ساده تیمار پرایمینگ و نوع آب و اثر متقابل آن‌ها در سطح احتمال یک درصد بر وزن خشک ریشه‌چه معنی‌دار شد. بیش‌ترین وزن خشک ریشه‌چه در بین تیمارهای اثر ساده پرایمینگ مربوط به تیمار P4 و کم‌ترین آن نیز مربوط به تیمار P1 است. در بین تیمارهای بیش‌ترین و کم‌ترین اثر ساده پرایم به‌ترتیب مربوط به تیمار P3 با مقدار

۰/۰۴۲ و بذر P1 با مقدار ۰/۰۳۴ گرم است. بیش‌ترین و کم‌ترین اثر ساده پرایم به‌ترتیب مربوط به تیمارهای M3 با مقدار ۰/۰۰۷ و M1 با مقدار ۰/۰۰۵ گرم بر گیاه بود. با توجه به جدول ۳ بیش‌ترین و کم‌ترین وزن خشک ریشه مربوط به تیمار P4M3 و کم‌ترین وزن خشک ریشه مربوط به تیمار P1M1 بود. تیمارها P4M3 باعث افزایش ۷۱ درصدی نسبت به تیمار شاهد شده است. نتایج به‌دست‌آمده با نتایج جانعلی‌زاده و همکاران (۱۳۹۵) بر گیاه کنجد که با قرار دادن بذور در میدان مغناطیسی باعث افزایش ۱۵ درصدی شده است، هم‌چنین نتایج به‌دست‌آمده با نتایج الحق و همکاران (۲۰۱۶) که اثر آب مغناطیسی را بر گیاه ترب و هاچیچا و همکاران (۲۰۱۶) بر گیاه ذرت بررسی کردند مشابه است.

**جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تأثیر تیمارهای آزمایش بر صفات جوانه‌زنی بذر تربچه**

| تیمارها | درجه آزادی | سرعت جوانه‌زنی | درصد جوانه‌زنی | شاخص بنیه بذر | طول ساقه‌چه | طول ریشه‌چه | وزن‌تر ساقه‌چه | وزن‌تر ریشه‌چه | وزن خشک ساقه‌چه | وزن خشک ریشه‌چه |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| پرایمینگ | ۳ | ۲۳۳/۶۵$^{**}$ | ۰/۹۴ $^{ns}$ | ۴/۰۴$^{*}$ | ۳/۱۶$^{*}$ | ۰/۹۳ $^{ns}$ | ۴/۸۳$^{**}$ | ۹/۲۸$^{**}$ | ۳/۸۳$^{*}$ | ۱۶/۸۸$^{**}$ |
| نوع آب | ۲ | ۰/۷۰ $^{ns}$ | ۳/۶۰$^{*}$ | ۴/۶۲$^{*}$ | ۲/۱۴ $^{ns}$ | ۱/۴۱ $^{ns}$ | ۵/۵۰$^{**}$ | ۱/۰۵ $^{ns}$ | ۶/۴۴$^{**}$ | ۹/۱۰$^{**}$ |
| پرایمینگ و نوع آب | ۶ | ۰/۴۹ $^{ns}$ | ۱/۸۸ $^{ns}$ | ۱/۳۳ $^{ns}$ | ۴/۳۸$^{**}$ | ۰/۷۶ $^{ns}$ | ۲/۷۷$^{*}$ | ۳/۰۸$^{*}$ | ۱/۱۵ $^{ns}$ | ۳/۴۵$^{**}$ |
| خطا | ۳۶ | ۱/۰۰۳ | ۶/۵۲۸ | ۳/۱۳۹ | ۰/۱۸۶ | ۵/۳۱۸ | ۰/۰۰۲ | ۰/۰۰۰۵ | ۰/۰۰۰۰۰۸ | ۰/۰۰۰۰۰۱ |
| ضریب تغییرات | -- | ۰/۲۸۳ | ۰/۰۲۹ | ۰/۱۸ | ۰/۱۳۵ | ۰/۲۷۹ | ۰/۱۵۲ | ۰/۲۹۴ | ۰/۱۳۳ | ۰/۲۳۶ |

**ns، * و**: به‌ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح پنج درصد و معنی‌داری در سطح یک درصد**

**جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات ساده تیمارهای آزمایش بر صفات جوانه‌زنی بذر تربچه**

| تیمارها | سرعت جوانه‌زنی | درصد جوانه‌زنی | شاخص بنیه بذر | وزن خشک ساقه‌چه (گرم بر گیاه) |
|---|---|---|---|---|
| $P_1$ | ۷/۵۴$^{c}$ | ۹۴/۹۱$^{a}$ | ۱۰/۹۹$^{b}$ | ۰/۰۲۲$^{b}$ |
| $P_2$ | ۱۴/۲۷$^{b}$ | ۹۶/۰۸$^{a}$ | ۱۱/۳۰$^{ab}$ | ۰/۰۲۴$^{b}$ |
| $P_3$ | ۱۶/۵۲$^{a}$ | ۹۵/۶۶$^{a}$ | ۱۲/۱۶$^{a}$ | ۰/۰۲۶$^{a}$ |
| $P_4$ | ۱۷/۲۳$^{a}$ | ۹۴/۵۰$^{a}$ | ۱۲/۳۵$^{a}$ | ۰/۰۲۴$^{b}$ |
| $M_1$ | ۱۳/۹۷$^{a}$ | ۹۴/۵۰$^{b}$ | ۱۰/۴۳$^{b}$ | ۰/۰۲۲$^{b}$ |
| $M_2$ | ۱۳/۶۵$^{a}$ | ۹۴/۶۸$^{b}$ | ۱۱/۶۹$^{ab}$ | ۰/۰۲۵$^{a}$ |
| $M_3$ | ۱۴/۰۵$^{a}$ | ۹۶/۶۸$^{a}$ | ۱۲/۳۰$^{a}$ | ۰/۰۲۵$^{a}$ |

**اعداد دارای حروف مشترک، در سطح پنج درصد در آزمون فیشر معنی‌دار نیستند**

*$P_1$: بذر بدون پرایم، $P_2$: پرایم با آب مقطر، $P_3$: پرایم با آب مغناطیسی یک بار گذر، $P_4$: پرایم با آب مغناطیسی یک ساعت، $M_1$: آب مقطر، $M_2$: آب مغناطیسی یک بار گذر، $M_3$: آب مغناطیسی یک

جدول ٤- مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارهای آزمایش بر صفات جوانه‌زنی بذر تربچه

| تیمارها | | طول ساقه‌چه (میلی‌متر) | وزن‌تر ساقه‌چه (گرم بر گیاه) | وزن‌تر ریشه‌چه (گرم بر گیاه) | وزن خشک ریشه‌چه (گرم بر گیاه) |
|---|---|---|---|---|---|
| $P_1$ | $M_1$ | ۳/۳۷$^{d}$ | ۰/۳۱$^{d}$ | ۰/۰۸$^{def}$ | ۰/۰۰۴$^{e}$ |
| $P_1$ | $M_2$ | ۳/۷۲$^{cd}$ | ۰/۳۲$^{cd}$ | ۰/۰۷$^{ef}$ | ۰/۰۰۵$^{cd}$ |
| $P_1$ | $M_3$ | ۴/۳۵$^{ab}$ | ۰/۴۲$^{a}$ | ۰/۰۸$^{def}$ | ۰/۰۰۵$^{cde}$ |
| $P_2$ | $M_1$ | ۳/۷۷$^{bcd}$ | ۰/۳۳$^{bcd}$ | ۰/۰۷$^{f}$ | ۰/۰۰۴$^{de}$ |
| $P_2$ | $M_2$ | ۴/۵۵$^{a}$ | ۰/۴۲$^{a}$ | ۰/۱۰$^{bcd}$ | ۰/۰۰۶$^{bc}$ |
| $P_2$ | $M_3$ | ۳/۵۰$^{d}$ | ۰/۳۷$^{abc}$ | ۰/۰۸$^{cdef}$ | ۰/۰۰۶$^{bc}$ |
| $P_3$ | $M_1$ | ۴/۲۲$^{abc}$ | ۰/۳۷$^{abc}$ | ۰/۱۰$^{bcde}$ | ۰/۰۰۶$^{bc}$ |
| $P_3$ | $M_2$ | ۳/۸۷$^{bcd}$ | ۰/۴۳$^{a}$ | ۰/۱۳$^{ab}$ | ۰/۰۰۶$^{bc}$ |
| $P_3$ | $M_3$ | ۳/۶۷$^{cd}$ | ۰/۴۳$^{a}$ | ۰/۱۱$^{abc}$ | ۰/۰۰۷$^{b}$ |
| $P_4$ | $M_1$ | ۴/۲۵$^{abc}$ | ۰/۴۱$^{a}$ | ۰/۱۲$^{ab}$ | ۰/۰۰۷$^{b}$ |
| $P_4$ | $M_2$ | ۴/۶۲$^{a}$ | ۰/۴۳$^{a}$ | ۰/۰۹$^{cdef}$ | ۰/۰۰۶$^{bc}$ |
| $P_4$ | $M_3$ | ۴/۲۲$^{abc}$ | ۰/۳۹$^{ab}$ | ۰/۱۴$^{a}$ | ۰/۰۰۹$^{a}$ |

**اعداد دارای حروف مشترک، در سطح پنج درصد در آزمون فیشر معنی‌دار نیستند**

*$P_1$: بذر بدون پرایم، $P_2$: پرایم با آب مقطر، $P_3$: پرایم با آب مغناطیسی یک بار گذر، $P_4$: پرایم با آب مغناطیسی یک ساعت، $M_1$: آب مقطر، $M_2$: آب مغناطیسی یک بار گذر، $M_3$: آب مغناطیسی یک ساعت

## نتیجه‌گیری

براساس نتایج به‌دست‌آمده و باتوجه به هدفی که در این پژوهش بررسی شد. استفاده از آب مغناطیسی و پرایم کردن بذور با آب مغناطیسی می‌تواند تأثیرات قابل‌توجهی بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذور تربچه داشته باشد و گیاهچه‌هایی مقاوم‌تر نسبت به تنش‌ها محیطی تولید کند. به‌طوری‌که طبق نتایج به‌دست‌آمده استفاده از پرایم با آب مغناطیسی یک ساعت باعث افزایش سرعت جوانه‌زنی، شاخص بنیه بذر، طول ساقه‌چه، وزن‌تر ریشه‌چه و ساقه‌چه و وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه شده است هم‌چنین استفاده از آب مغناطیسی یک ساعت نیز باعث افزایش درصد جوانه‌زنی، شاخص بنیه بذر، وزن‌تر ساقه‌چه، وزن خشک ساقه‌چه و ریشه‌چه شده؛ و اثر متقابل این دو تیمار باعث افزایش طول ساقه‌چه، وزن‌تر ساقه‌چه و ریشه‌چه شده است، هم‌چنین افزایش قابل‌توجهی نیز در وزن خشک ریشه‌چه مشاهده شد. با استفاده از آب مغناطیسی سرعت جوانه‌زنی بذر افزایش پیدا می‌کند که در افزایش سرعت رشد گیاه مؤثر است و منجر به کاهش طول دوره رشد گیاه و صرفه‌جویی در میزان آب مصرفی می‌شود. همچنین به کمک این روش درصد جوانه‌زنی افزایش پیدا می‌کند که مانع از تلفات بذر شده و از کمترین مقدار بذر بیشترین تولید را به همراه خواهد داشت که همه این موارد به بهبود بهره‌وری آب در کشاورزی کمک می‌کند. با انجام آزمایش‌های مشابه بر روی گیاهان مختلف می‌توان این روش را به کشاورزان معرفی کرد تا با کمک این تکنیک به اقتصاد کشاورز و بهره‌وری آب در کشاورزی کمک کرد.

## مراجع


آذرنیا، م. و عیسوند، ح.ر. ۱۳۹۲. پرایمینگ روشی برای بهبود کیفیت بذر جهت افزایش رشد و عملکرد گیاهان زراعی. نشریه علمی ترویجی یافته‌های تحقیقاتی در گیاهان زراعی و باغی. ۲ (۴): ۲۷۷ تا ۲۸۷.

امیری خویه، م.م. و فردانشیان، ج. ۱۳۹۴. سبزیجات+(ویتامین‌ها). چاپ اول. فصل تربچه. انتشارات آموزش و ترویج کشاورزی. ۲۶۶ صفحه.

بیات، م.، رحمنی، آ.، امیرنیا، ر. و علوی سینی، م. ۱۳۹۳. تعیین بهترین روش و مدت زمان پیش تیمار بذر در گیاه دارویی سرخارگل در شرایط آزمایشگاهی و گلدان Echinacea (purpurea). علوم و تحقیقات بذر ایران ۱ (۱): ۱-۱۵.

پناهی، م.، فربودی، م.، فرامرزی،. و شاهرخی، ش. ۱۳۹۰. بررسی اثر مغناطیسی کردن بذر و آب در سطوح مختلف شوری بر جوانه‌زنی چغندر علوفه‌ای. همایش ملی دستاوردهای نوین در زراعت. ۴ صفحه. ۲۵ تا ۲۶ آبان. شهر قدس.

جانعلی‌زاده قزوینی، م.، نظامی. ا.، خزاعی، ح. ر.، فیضی، ح. و گلدانی، م. ۱۳۹۵. اثر میدان‌های مغناطیسی بر جوانه‌زنی

بذر و رشد گیاه چه کنجد (Sesamum Indicum L). مجله پژوهش‌های بذر ایران. ۳ (۱): ۱–۱۳.

رستگار، س.، صادقی لاری، ع. و سالاری، م. ۱۳۹۳. اثر آب مغناطیسی بر جوانه‌زنی و خصوصیات رشد اولیه بذر گوجه‌فرنگی lycopercicum esculentum. اولین همایش الکترونیکی یافته‌های نوین در محیطزیست و اکوسیستم‌های کشاورزی. ۹ صفحه. ۱ آذر. تهران.

فرزانه، م.، جوانمرد، ش.، افتخاریان جهرمی، ع.ر. و قنبری، م. ۱۳۹۰. بررسی اثر هیدروپرایمینگ بذر تربچه (*Raphanus sativus*) بر جوانه‌زنی و صفات مرتبط با آن. اولین همایش ملی مباحث نوین در کشاورزی. ۵ صفحه. ۱۷ آبان. دانشگاه آزاد ساوه.

فیضی، ح.، رضوانی‌مقدم، پ. و برهمند، ع.ا. ۱۳۹۰. بررسی عملکرد و صفات کیفی ریشه چغندرقند تحت تأثیر میدان مغناطیسی و کاربرد نانو ذرات نقره. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران. ۹ (۱): ۸۸–۹۴.

گلدانی، م.، جوادی، م. و نظامی، ا. ۱۳۹۵. تأثیر آب مغناطیسی و تنش شوری بر خصوصیات جوانه‌زنی و رشد گیاه چه لوبیا (*Phaseolus vulgaris L*). نشریه پژوهش‌های حبوبات ایران. ۷ (۱): ۸۱–۹۲.

متانت، م.، بانژاد، ح.، قلی‌زاده، م. و گلدانی، م. ۱۳۹۷. بررسی تأثیر شدت‌های مختلف آب مغناطیسی بر عملکرد کمی و کیفی گیاه تربچه. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۲ (۱۲): ۴۸۰–۴۷۲.

محمودی، ق.، قنبری، ع.، راستگو، م.، قلی زاده، م. و طهماسبی، ا. ۱۳۹۵. بررسی اثر میدان مغناطیسی بر رشد و عملکرد نخود (*Cicer arietinum L.*) در شرایط آب و هوایی مشهد. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران. ۱۴(۲): ۳۹۱–۳۸۰.

مهرابی، م.، و حمزه، س. ۱۳۹۳. بررسی اثر آب مغناطیسی بر تغییرات کیفی آب آبیاری و عملکرد محصولات کشاورزی. دومین همایش ملی تخصصی پژوهش‌های محیط زیست ایران. ۱۱ صفحه. ۱۶ مرداد. دانشکده شهید مفتح همدان.

نیکبخت، ج.، خنده‌رویان، م.، توکلی، ا. و طاهری، م. ۱۳۹۳. اثر آبیاری مغناطیسی بر خصوصیات جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاه ذرت *Zea mays* . نشریه زراعت پژوهش و سازندگی. ۱۰۵: ۱۴۷–۱۴۱.

Afzal, I., Basra, S. M. A., Ahmad, N., Cheema, M. A., Warraich, E. M. and Khaliq, A. (2002). Effect of priming and growth regulator treatments on emergence and seedling growth of hybrid maize (Zea mays L.). International Journal of Agriculture and Biology, 4 (2), 303-306.

Craker, L. E., Seibertf, M. and Clifford, J. T. (1983). Growth and development of radish (Raphanus sativus L.) Under selected light environments. Annals of Botany, 51 (1), 59-64.

El-Gizawy, A. M., Ragab, M. E., Helal, N. A. S., El-Satar, A. and Osman, I. H. (2016). Effect of magnetic field treatments on germination of true potato seeds, seedlings growth and potato tubers characteristics. Middle East Journal of Agriculture, 5 (1), 74-81.

Gholizadeh, M., 2019. Process of chemical reaction in magnetized solvents. USA Patent 10 507 450. Date issued: 17 Dec.

Hachicha, M., Kahlaoui, B., Khamassi, N., Misle, E. and Jouzdan, O. (2016). Effect of electromagnetic treatment of saline water on soil and crops. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 17 (2), 154-162.

Hara, M., Torazawa, D., Asai, T. and Takahashi, I. (2011). Variations in the soluble sugar and organic acid contents in radish (Raphanus sativus L.) Cultivars. International Journal of Food Science and Technology, 46, 2387-2392.

Harris, D., Josh, A., Khan, P. A., Gothkar, P. and Sodhi, P. S. 1999. On-farm seed priming in semi-arid agriculture: development and evaluation in maize. Rice and chickpea in India using participatory methods. Experimental Agriculture, 35 (1), 15-29.

Hozayn, M., Ahmed, A.A., El-Saady, A.A. and Abd-Elmonem, A.A. (2019). Enhancement in germination, seedling attributes and yields of alfalfa (medicago sativa, l.) Under salinity stress using static magnetic field treatments. Eurasian journal of biosciences, 13, 369-378.

Jisha, K. C., Vijayakumari, K. and Puthur, J. T. (2013). Seed priming for abiotic stress tolerance: an overview. Acta Physiol Plant, 35, 1381-1396.

Jones, S. and Hampton, J. (2010). Internatinol rules for seed testing. International Seed Testing Asociation. Bassersdorf, Switzerlandv.

Kaymak, H. Ç., Güvenç, I., Yarali, F. & Dönmez, M. F. (2009). The effects of bio-priming with pgpr on germination of radish (Raphanus sativus L.) Seeds under saline conditions. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 33 (2), 173-179.

Massah, M., Dousti, A., Khazaei, J. and Vaezzadeh, M. (2019). Effects of water magnetic treatment on seed germination and seedling growth of wheat. Journal of plant nutrition, 42 (11), 1283–1289.

Murungu, F. S., Nyamugafata, P., Chiduza, C., Clark, L. J. and Whalley, W. R. (2003). Effects of seed priming, aggregate size and soil matric potential on emergence of cotton (Gossypium hirsutum L.) And maize (Zea mays L). Soil and Tillage Research, 74, 161-168.

Nimmi, V. and Madhu, G. (2009). Effect of pre-sowing treatment with permanent magnetic field on germination and growth of Chilli (Capsicum annum L). International Agrophysics, 23, 195-198.

Rãcuciu, M., Creangã, D. and Horga, I. (2006). Plant growth under static magnetic field influence. Rom. Journ. Phys, 53, (1–2), 353–359

Reina, F. G., Pascual, L. A. and Fundora, I.A. (2001). Influence of a stationary magnetic field on water relations in lettuce seeds. Bioelectromagnetics, 22, 596-602.

Rochalska, M., Grabowska, K. and Ziarnik, A. (2008). Impact of low frequency magnetic fields on yield and quality of sugar beet. International Agrophysics, 23 (2), 163-174.

Ul Haq, Z., Iqbal, M., Jamil, Y., Anwar, H., Younis, A., Arif, M., Fareed, M. Z. and Hussain, F. (2016). Magnetically treated water irrigation effect on turnip seed germination, seedling growth and enzymatic activities. Information Processing in Agriculture, 3, 99-106.

Wagenvoort, W. A. and Bierhuizen, J. F. (1977). Some aspects of seed germination in vegetables. II. The effect of temperature fluctuation, depth of sowing, seed size and cultivar, on heat sum and minimum temperature for germination. Scientia Horticulturae, 6 (4), 259-270.

Wang, L., Zhu, J., Wu, Q, and Huang, Y. (2015). Effects of silver nanoparticles on seed germination and seedling growth of radish (Raphanus sativus L). Proceedings of the 2nd International Conference on Civil, Materials and Environmental Sciences, March 13-14., London, England.

Xiao Huan, Y., Yu Guo, W., Wen Xiu, Y., Hong Fu, W. and JIN HU, M. (2009). Effect of seed priming on physiological characteristics of soybean seedling under water stress. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 17 (6), 1191-1195.

Yadollahpour,A., Rashidi, S. and Kavakebian, F. (2014). Applications of magnetic water technology in farming and agriculture development: a review of recent advances. Current World Environment, 9 (3), 695-703

Water Management in Agriculture
Vol. 7, No. 1, Spring and Summer 2020, 10٩-120

نشریه مدیریت آب در کشاورزی
جلد ۷، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۹، ص. ۱۲۰-۱۰۹

# The Effect of Magnetized Water and Priming on Radish Germination Indices to Improve Water Productivity

**M .Metanat[1], H .Banejad[2*], M .Goldani[3] and M .Gholizadeh[4]**

## Abstract

Seed germination is a crucial step in the seed life cycle, and the use of various techniques to produce more robust seedlings helps plant survival and improve water productivity. The effect of magnetized water is affected by the field's intensity, the type of plant, and the water used. Since no similar experiment has been performed on the radish plant as a high-consumption and water-repellent plant, this experiment was conducted to investigate the treatment's interaction effect. Priming and irrigation with magnetized water on radish seeds' germination traits were performed in a completely randomized design. Treatments included four types of priming and three types of water. The results showed that the interaction effect of priming and irrigation treatments with magnetic water for one hour increased 25, 27, and 71% in shoot length, shoot fresh weight. Root, respectively, and also caused a significant increase in root dry weight. According to the obtained results, priming and irrigation with magnetic water for one hour can be considered as the best treatment in this experiment. Finally, it can be concluded that seed hydropriming, especially with magnetized water, has positive effects on radius seed germination indices.

**Keywords:** Prime with Magnetized Water, Water Productivity, Germination Rate, Germination Percentage, Powerful Seedlings

[1] Ph.D Student of Irrigation and Drainage Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University Of Mashhad, Mashhad, Iran.
[2] Associate Professor Department of Water science Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. (*. Corresponding Author Email: Banejad@um.ac.ir)
[3] Associate Professor Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University Of Mashhad, Mashhad, Iran.
[4] Professor Department of Chemistry, Faculty Of science, Ferdowsi University of Mshhad, Mashhad, Iran.
Received: 1 October 2020
Accepted: 26 October 2020

Water Management in Agriculture
Vol. 7, No. 1, Spring and Summer 2020, 121-130

نشریه مدیریت آب در کشاورزی
جلد ۷، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۹، ص. ۱۳۰-۱۲۱

**مقاله علمی-پژوهشی**

# بررسی اثر آبیاری با پساب صنعتی توأم با تنش کمبود آب بر عملکرد و اجزای عملکرد جو

**یحیی چوپان[۱*]، عباس خاشعی سیوکی[۲] و علی شهیدی[۳]**

## چکیده

به‌منظور بررسی اثر آبیاری با پساب کارخانه قند بر عملکرد دانه و اجزای عملکرد در محصول جو (Hordeum vulgare)، یک آزمایش مزرعه‌ای به‌-صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در شهرستان تربت‌حیدریه در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ اجرا شد. فاکتورهای آزمایشی شامل، آب چاه (۱۰۰٪ آب معمولی) ($I_1$)، پساب کارخانه قند ($I_2$)، ترکیب آب چاه و پساب (پساب ۱۲/۵٪ و ۸۷/۵٪ آب معمولی) ($I_3$) در دو سطح آبیاری کامل ($S_1$) و اعمال ۷۵ درصد تنش آبی ($S_2$) بودند و تیمار آب معمولی ($I_1S_1$)، به‌عنوان شاهد انتخاب شد. نتایج نشان داد تغییرات تیمار تنش آبی ($S_2$)، در سطح ۱ درصد بر عملکرد دانه، وزن هزار دانه، وزن کاه و کلش و تعداد خوشه تأثیر معنی‌داری داشت. وزن هزار دانه در تیمارهای $I_3S_1$ و $I_2S_1$ به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار را با وزن ۹/۴ و ۷/۶ گرم را داشت. تیمار $I_2S_1$ در عملکرد کاه و کلش با وزن ۲۵۴۵ کیلوگرم در هکتار و تعداد خوشه برابر با ۸۲/۲، بیش‌ترین مقدار را در بین سایر تیمارها نشان داد. همچنین تغییرات نوع آب آبیاری در سطح ۱ درصد بر عملکرد کیفی محصول جو همچون ارتفاع گیاه، پروتئین دانه و عملکرد دانه تأثیر معنی‌داری داشت. به‌طورکلی، نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از پساب کارخانه قند برخلاف تنش آبی، ضمن افزایش عملکرد دانه جو، تأثیر منفی بر عملکرد زیستی و کیفی گیاه نداشته بلکه باعث صرفه‌جویی در هزینه‌ها و مصرف کودهای شیمیایی می‌شود.

**واژه‌های کلیدی:** آب نامتعارف، عملکرد دانه، تنش آبی، عملکرد کیفی

## مقدمه

با توجه به رشد روزافزون جمعیت و استفاده بیش‌ازحد از منابع آب شیرین در بخش کشاورزی که سبب کاهش منابع آبی شده است، استفاده از منابع آبی نامتعارف بسیار حائز اهمیت بوده و بایستی موردتوجه قرار گیرد. بحران کمبود آب و محدودیت منابع آب شیرین در کشور از چالش‌هایی است که توجه ذی‌نفعان را به استفاده از منابع آبی نامتعارف، به خود معطوف نموده است. درصورتی‌که بتوان کاربرد پساب را با روش‌های مناسب آبیاری در هم آمیخت، هم‌زمان می‌توان در راستای برطرف نمودن مشکلات بهداشتی، آلودگی و بحران آب گامی مهم برداشت (Khosh-goftarmanesh and Siadat, 2002). باوجود این‌که در حالت عادی، پساب با ورود به آب، موجب ایجاد آلودگی می‌شود اما دارای مقادیر زیادی عناصر غذایی بوده و به‌صورت کود محلول جهت کشت می‌تواند مورداستفاده قرار گیرد (Kafi et al., 2010).

در راستای استفاده از پساب‌ها به‌خصوص در بخش کشاورزی، محققان بیان نموده‌اند که آبیاری با پساب صنعتی تصفیه نشده باعث افزایش معنی‌دار عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک گیاهان مختلفی همچون جو، پنبه و... شده است (Choopan et al., 2016). در همین راستا نتایج تحقیقی روی بررسی تأثیر آبیاری با پساب صنعتی و تنش آبی بر عملکرد و اجزاء کمی و کیفی عملکرد گیاه جو رقم یوسف در شهرستان تربت‌حیدریه نشان داد که

[۱] دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. ایران (*نویسنده مسئول: Yahyachoopan68@gmail.com)
[۲] دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
۳ دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
تاریخ دریافت: ۹۹/۷/۱۱
تاریخ پذیرش: ۹۹/۷/۳۰
DOR: 20.1001.1.24764531.1399.7.1.11.8

تغییرات تنش بر عملکرد و اجزاء کمی و کیفی عملکرد گیاه جو تأثیر معنی‌داری داشته است (Choopan et al., 2016). به‌منظور بررسی خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی ژنوتیپ‌های جو دیم در تنش خشکی و آبیاری تکمیلی و تعیین ارتباط این خصوصیات با عملکرد دانه، دوازده ژنوتیپ پیشرفته جو در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۸۸-۱۳۸۷ در ایستگاه تحقیقاتی مراغه مطالعه شدند. نتایج حاصل از تجزیه واریانس صفات نشان داد که در شرایط تنش خشکی بین ژنو تیپ‌ها ازنظر صفات تعداد روز تا ظهور سنبله و تعداد دانه در سنبله در سطح احتمال ۱ درصد و ازنظر صفات طول سنبله و شاخص برداشت در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار وجود داشت (Dolatpanah et al., 2013). بررسی اثر تنش کم‌آبیاری بر برخی خصوصیات فیزیولوژیک رشد ارقام جو نشان داد که در سال اول اعمال تیمار تنش خفیف، تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه اکثر ارقام نداشت. با افزایش شدت تنش این اثر معنی-دار بود. در سال دوم اعمال تیمار ۷۵ درصد، اثر معنی‌داری بر کاهش عملکرد دانه و اجزا عملکرد جو نداشت. این اثر برای تیمار آبیاری ۵۰ درصد معنی‌دار شد. هم‌چنین با افزایش شدت تنش میانگین محتوای نسبی آب کاهش یافت (Hasanpour, et al., 2008).

در تحقیق دیگری نتیجه گرفته شد که با اعمال تنش آبی تمام اجزای عملکرد دانه و نیز عملکرد دانه جو به‌طور معنی‌داری کاهش نشان داد .(Sammak et al., 2014) محققین گزارش کردند که در شرایط تنش رطوبتی، عملکرد دانه، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه جو نسبت به شرایط بدون تنش کاهش چشمگیری پیدا کردند (Gonzalez et al., 1999).

نتایج بررسی روی تأثیر آبیاری با پساب صنعتی و تنش خشکی بر عملکرد دانه، ارتفاع گیاه، طول ریشه و پروتئین دانه جو نشان داد تغییرات تنش بر ارتفاع گیاه، عملکرد دانه و طول ریشه و هم-چنین تغییرات نوع آب آبیاری بر ارتفاع گیاه، پروتئین دانه عملکرد دانه و طول ریشه تأثیر معنی‌داری داشته است. کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار درصد پروتئین دانه به ترتیب در تیمار $I_1S_1$ (آب معمولی) به میزان ۱۲/۳۷ درصد و تیمار $I_2S_2$ (پساب کارخانه قند و تنش آبی) با مقدار ۱۳/۴۷ درصد و بیش‌ترین ارتفاع گیاه (۸۲/۹ سانتی‌متر) در شاهد مشاهده شد (Tadayon, 2006). اختلاط پساب صنعتی با آب آبیاری موجب افزایش غلظت عناصر کروم، کادمیوم، سرب و نیکل در آب شده و pH آب آبیاری تحت اثر پساب کاهش می‌یابد. هم‌چنین تجمع عناصر کروم، کادمیوم، نیکل و سرب در اندام¬های کلزا تحت اثر پساب افزایش می‌یابد (Sayadmanesh et al., 2015).

نتایج بررسی اثر مقادیر مختلف پساب شهری بر عملکرد پنبه به شیوه آبیاری قطره‌ای و باهدف مقایسه سه سطح نیاز آبی (۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد) و دو کیفیت آب آبیاری (آب چاه و پساب حاصل از فاضلاب شهری تصفیه‌شده) نشان داد که به دلیل بالا بودن غلظت کاتیون‌هایی نظیر Na و K در پساب، شوری خاک افزایش و کارایی مصرف آب افزایش ۱۸ درصدی یافته است (Khosh-goftarmanesh and Siadat, 2002). در بررسی دیگری نشان داده شد که در صورت اعمال مدیریت در مصرف پساب و افزایش راندمان بهره‌برداری، علاوه بر امکان گسترش سطح زیر کشت، شیوع آلودگی‌های خاص پساب نیز وجود خواهد داشت (Feizi et al., 2008). آزمایش‌های انجام‌شده با استفاده از آبیاری با پساب تصفیه‌شده شهری بر عملکرد یونجه در ایستگاه تحقیقاتی چهار تخته شهرکرد نشان داد عملکرد علوفه تر در تیمارهای آبیاری با پساب نسبت به تیمارهایی که از آب معمولی استفاده کرده‌اند، بیش‌تر بود (Millero et al., 2008). تحقیقی که به‌منظور بررسی اثر دور آبیاری بر عملکرد دانه، اجزای عملکرد و شاخص برداشت ژنوتیپ‌های گندم نان، به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در سال زراعی ۸۶-۱۳۸۵ در مزرعه پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد انجام گرفت، نتیجه گرفته شد که بیش-ترین عملکرد ماده خشک، بیوماس، دانه و کارایی مصرف آب، در تیمار ۱۰۰ درصد استفاده از پساب شهری، حاصل می‌گردد (Senobar et al., 2010). آبیاری با پساب در هند باعث افزایش عناصر غذایی ماکرو (ازت، پتاسیم و کربن آلی) خاک و عملکرد بیش‌تر محصول نسبت به کرت‌های آبیاری با آب معمولی شد (Feizi et al., 2008). نهال‌های آبیاری شده با پساب در مقایسه با آب معمولی از رشد طولی و قطری بیش‌تری برخوردار بوده و

غلظت عناصر سدیم، پتاسیم، فسفر، نیتروژن و آهن در خاک و گیاه افزایش می‌یابد (Javani et al., 2016).

با توجه به کاربردهای وسیع محصول جو در تهیه مواد خوراکی و وابسته بودن جامعه از لحاظ غـذایی بـه آن، محصـول مـوردنظر دارای نقش بارز و اهمیت فراوانی است. در پژوهش حاضر، به دلیل قرار گرفتن منطقه تربت‌حیدریه در مسیر عبور پساب کارخانه قند و استفاده کشـاورزان از ایـن منبـع آب نامتعـارف جهـت کشـاورزی، انتخاب گردید. هم‌چنین معیار کشت جو در تحقیـق حاضـر، انجـام این کشت در منطقه به وسعت زیاد می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر آبیاری بـا پسـاب کارخانـه قنـد (پسـاب صنعتی تصفیه نشده) و تنش آبی بر عملکرد کمی محصول جـو بـا اعمال شرایط سطوح مختلف آبیاری، پژوهشی در طی سال زراعـی ۹۳-۱۳۹۲ در اراضی کشاورزی تربت‌حیدریـه در زمینـی بـا خـاک شنی لومی با اسیدیته ۷/۵، درصد مواد آلی ۰/۶ درصد، شوری ۴/۴ دسی زیمنس بر متر و درصد آهک ۱۸/۲۵ به‌صـورت فاکتوریـل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و چهار تکرار (R) انجـام شـد. تیمارهـای مورداسـتفاده در تحقیـق شـامل، آب چـاه (I1)، پسـاب کارخانه قند (I2)، ترکیب آب چاه و پساب (پساب ۱۲/۵٪ و ۸۷/۵٪ آب معمـولی) ($I_3$) در دو سـطح آبیـاری کامـل (S1) و اعمـال ۷۵ درصد تنش آبی (S2) و با در نظر گـرفتن تیمـار I1S1 بـه‌عنـوان شاهد انجام شد. قابل‌ذکر است که زمین مورداستفاده در سال‌هـای قبل به‌صورت آیش بوده و پس از مراحل آماده‌سازی زمین (شـخم عمقـی و شـخم سـطحی) و بـر اسـاس آزمـایش خـاک، مطـابق پیشنهادهای آزمایشگاه آب‌وخاک و بررسی خاک مزرعه، مقـدار ۳۰ تن کود حیـوانی از نـوع گـاوی و ۱۸۰ کیلـوگرم کـود اوره در سـه مرحله اضافه گردیـد. هـم‌چنـین ۲۵۰ کیلـوگرم کـود فسـفر و ۵۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم به‌صورت یکجا و در ابتدای کشت اعمـال شد. کاشت محصول در تاریخ ۱۰ آبان ماه سـال ۱۳۹۲ بـه‌صـورت دستی و با روش آبیاری کرتی انجام گرفت.

آنالیز شیمیایی آب، پساب کارخانه قند، ترکیب آب و پسـاب و برخی خصوصیات شیمیایی خاک (قبل و بعد آزمایش) در جدول ۱ آورده شده است.

**جدول ۱- آنالیز شیمیایی آب، پساب و ترکیب آب و پساب**

| نوع آزمایش | واحد | آب آبیاری | ترکیب آب و پساب | پساب کارخانه قند |
|---|---|---|---|---|
| هدایت الکتریکی | دسی زیمنس بر متر | ۲/۵ | ۵ | ۵/۸ |
| اسیدیته | - | ۶/۸ | ۷/۷ | ۸/۲ |
| نسبت جذب سدیم | - | ۳/۰۴ | ۵/۷ | ۸/۵ |
| جمع کلسیم و منیزیم | میلی‌اکی‌والانت بر لیتر | ۴ | ۱۳/۴ | ۱۲۰ |
| کلسیم | میلی‌اکی‌والانت بر لیتر | ۱/۲ | ۱۰ | ۵۸ |
| منیزیم | میلی‌اکی‌والانت بر لیتر | ۲/۸ | ۳/۴ | ۶۲ |
| سدیم | میلی‌اکی‌والانت بر لیتر | ۱۸/۴ | ۲۵/۷۴ | ۶۵/۲ |
| مجموع کاتیون | میلی‌اکی‌والانت بر لیتر | ۲۲/۴ | ۳۹/۱۴ | ۱۸۵/۲ |
| بی‌کربنات | میلی‌اکی‌والانت بر لیتر | ۳/۴ | ۳/۴ | ۸/۵ |
| کلر | میلی‌اکی‌والانت بر لیتر | ۱۰/۵ | ۳۰/۵ | ۵۷ |
| سولفات | میلی‌اکی‌والانت بر لیتر | ۱۰/۸ | ۷/۸۳ | ۱۲۰/۴ |
| مجموع آنیون | میلی‌اکی‌والانت بر لیتر | ۲۴/۷ | ۴۱/۷۳ | ۱۸۷/۴ |

مقدار بذر توصیه‌شده توسط سازمان جهاد کشاورزی برای یک هکتار کشت جو، ۲۵۰ کیلوگرم می‌باشد که برای کـرت‌هـای ایـن تحقیق که اندازه ۴ مترمربعی (۲ × ۲ متر) داشتند، مقدار ۱۰۰ گـرم بذر استفاده شد. فاصله کرت‌ها یک متر و فاصله بلوک‌ها دو متـر از یکدیگر در نظر گرفته شدند. با استفاده از مـدل کراپ وات میـزان تبخیر و تعرق، بارش مؤثر و نیاز آبی محاسبه شـد. بـرای محاسـبه نیاز آبی گیاه در ایـــن مـدل، داده‌هـای دمـای حـداقل و حـداکثر، رطوبت نسبی، میانگین ساعات آفتابی، باد برحسب متـر بـر ثانیـه، برای محاسبه تبخیر و تعرق به روش پنمن مانتیـث (فـائو، ۱۹۹۲)، داده‌های بـارش بـرای محاســبه بـــارش مـؤثر بـر اسـاس روش USDA، اطلاعـات جغرافیـایی منطقـه موردمطالعـه، نـوع گیـاه و ضرایب تعیین‌شده توسط فائو برای آن‌ها در دوره‌های مختلف رشد، مشخص نمودن نوع و خصوصیات خاک موردنیاز است. درنهایت با ضرب تبخیر و تعرق گیاه در ضریب گیاهی تعیین‌شده از سوی فائو و تفاضل آن با بارش مؤثر، می‌توان نیاز آبیـاری را محاسـبه نمـود.

همچنین مقدار نیاز آبی برای تیمارهای تحت تنش، بر اساس ۷۵ درصد نیاز آبی محاسبه و به‌وسیله کنتور حجمی به کرت‌ها تحویل داده شد. برداشت محصول پس از رسیدن کامل بوته‌ها، در تاریخ ۱۵ خردادماه ۱۳۹۳ صورت گرفت. به دلیل حذف اثر حاشیه‌ای از یک مترمربعی مرکز هر کرت، بوته‌ها از سطح خاک برداشت شد و صفات وزن هزار دانه، تعداد خوشه، قطر خوشه، عملکرد دانه و عملکرد کاه و کلش اندازه‌گیری شدند. سپس داده‌های به‌دست‌آمده با استفاده از روش آماری آزمون توکی و با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1.3 تحلیل شدند.

## نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تنش آبی و نوع منبع آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد جو در جدول ۲ ارائه‌شده است. نتایج جدول ۲ نشان داد که تنش آبی بر صفات وزن هزار دانه، عملکرد کاه و کلش و تعداد خوشه در سطح ۱ درصد تأثیر معنی‌دار آماری داشت، ولی برای قطر خوشه تأثیر معنی‌دار آماری نداشت. نوع آب آبیاری بر وزن هزار دانه در سطح ۱ درصد و بر تعداد خوشه، قطر خوشه و عملکرد کاه و کلش تأثیر معنی‌دار آماری نداشت. مطابق نتایج جدول ۳، نتایج میانگین مربعات نشان می‌دهد تغییرات تنش در سطح ۱ درصد بر ارتفاع گیاه و عملکرد کل تأثیر معنی‌داری آماری داشت. نوع آب آبیاری در سطح ۱ درصد بر ارتفاع گیاه، پروتئین دانه و عملکرد دانه تأثیر معنی‌داری آماری داشت.

نتایج جدول ۲ نشان داد که تنش آبی بر صفات وزن هزار دانه، عملکرد کاه و کلش و تعداد خوشه در سطح ۱ درصد تأثیر معنی‌دار آماری داشت، ولی برای قطر خوشه تأثیر معنی‌دار آماری نداشت. نوع آب آبیاری بر وزن هزار دانه در سطح ۱ درصد و بر تعداد خوشه، قطر خوشه و عملکرد کاه و کلش تأثیر معنی‌دار آماری نداشت. مطابق نتایج جدول ۳، نتایج میانگین مربعات نشان می‌دهد تغییرات تنش در سطح ۱ درصد بر ارتفاع گیاه و عملکرد کل تأثیر معنی‌داری آماری داشت. هم‌چنین تغییرات نوع آب آبیاری در سطح ۱ درصد بر ارتفاع گیاه، پروتئین دانه و عملکرد دانه تأثیر معنی‌داری آماری داشت.

## عملکرد دانه

بر طبق نتایج، تیمارهای بدون تنش آبی ($I_3S_1$،$I_2S_1$ ،$I_1S_1$) در مقایسه با تیمارهای با تنش آبی ($I_1S_2$ $I_3S_2$,$I_2S_2$)، تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد نداشتند؛ بنابراین به دلیل وجود مقدار نسبتاً زیاد نسبت جذب سدیم، کلسیم و منیزیم در پساب بر عملکرد دانه در تیمارهای بدون تنش که میزان آب وارده به کرت برابر نیاز آبی گیاه بوده تأثیری نداشته است. کاهش عملکرد دانه براثر دو عامل شوری پساب و تنش آبی می‌باشد که تیمار شاهد $I_1S_1$ دارای بیش‌ترین عملکرد دانه (با ۴۰۳۴ کیلوگرم در هکتار) و تیمار $I_2S_2$ کم‌ترین عملکرد دانه (با ۱۵۶۴ کیلوگرم در هکتار) را داشتند (شکل ۱).

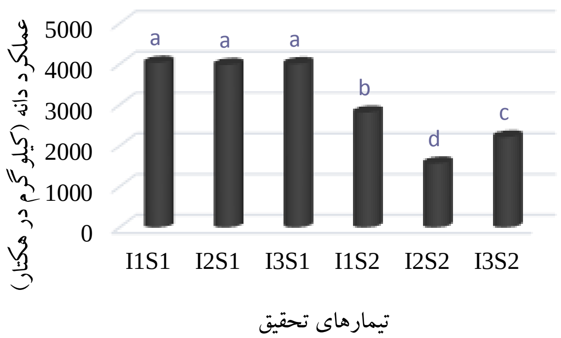
**جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تنش آبی و نوع منبع آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد جو**

| منابع تغییر | درجه آزادی | وزن هزار دانه | عملکرد کاه و | تعداد خوشه | قطر خوشه |
|---|---|---|---|---|---|
| تکرار | ۳ | ۰/۰۰۵ ns | ۳۱۹۵۳/۰ * | ۳۹/۰ ns | ۰/۱۲ ns |
| تنش آبی | ۱ | ۱/۰۷ ** | ۱۷۳۱۷۳۳/۳ ** | ۵۱۳۳/۳۸ ** | ۰/۶۳ ns |
| نوع آب آبیاری | ۲ | ۱/۷ ** | ۲۷۱۰۳/۹۱ ns | ۵۵/۱ * | ۰/۶۵ ns |
| تنش آبی* نوع آب | ۲ | ۲/۷ ** | ۱۳۲۲۲۶/۶ ** | ۷۴۲/۶ ** | ۱/۵۵ * |
| خطا | ۱۵ | ۰/۰۸ | ۷۷۳۱/۷۳ | ۱۴/۷ | ۰/۳۲ |
| ضریب تغییرات (CV) | | ۳/۴ | ۱۰/۵ | ۶/۷ | ۶/۵ |

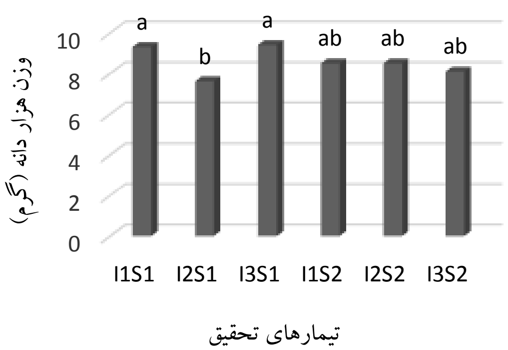
**ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد می‌باشد.**

## وزن هزار دانه

وزن هزار دانه پارامتری است که وابسته به مساحت نبوده، بلکه معرف معیار وزن هزار دانه از محصول موردنظر می‌باشد. در تحقیق حاضر نتایج نشان داد که وزن هزار دانه در تیمار $I_2S_1$ با توجه به شوری بالای پساب خالص، کاهش ۲۳ درصد نسبت به تیمار $I_3S_1$ (با بیش‌ترین مقدار برابر با ۹/۴ گرم)، دارد. هم‌چنین تیمار شاهد با تیمار $I_3S_1$ در یک گروه قرارگرفته و تفاوت معنی‌دار نشان ندادند. تنش آبی در تیمارهای دارای تنش ($I_3S_2$,$I_2S_2$ و $I_1S_2$)، باعث کاهش وزن هزار دانه شد ولی این کاهش نسبت به حالت بدون تنش آبی معنی‌دار نبود که با نتایج محققان هم‌خوانی دارد (Choopan et al., 2016, Ali Dinar et al., 1999, Feizi and Moghadam, 2008). وزن هزار دانه در تیمارهای تحقیق در شرایط بدون تنش آبی در شکل ۲ نشان داده شده است. محققان گزارش کردند تنش خشکی در جو، طول سنبله، تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبله بارور در گیاه، وزن هزار دانه، شاخص برداشت، عملکرد زیستی و عملکرد دانه را به‌طور معنی‌داری کاهش داد (Choopan et al., 2016). در بررسی دیگری مشخص شد که تنش خشکی با کاهش تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه، عملکرد دانه را در جو کاهش داد. هم‌چنین کاهش معنی‌دار وزن هزار دانه در تیمار تنش خشکی در مرحله پر شدن دانه را می‌توان به پدید آمدن دانه‌های چروکیده با وزن کم‌تر که در سایر پژوهش‌ها نیز گزارش‌شده نسبت داد (Choopan et al., 2016, Tadayon, 2006).




**شکل ۱- عملکرد دانه در تیمارهای تحقیق (تیمارهای آب چاه، ترکیب آب چاه و پساب و ۷۵ درصد تنش آبی، ترکیب آب چاه و پساب)**




**شکل ۲- وزن هزار دانه در تیمارهای تحقیق (با و بدون تنش آبی) (تیمارهای آب چاه، ترکیب آب چاه و پساب و ۷۵ درصد تنش آبی، ترکیب آب چاه و پساب)**

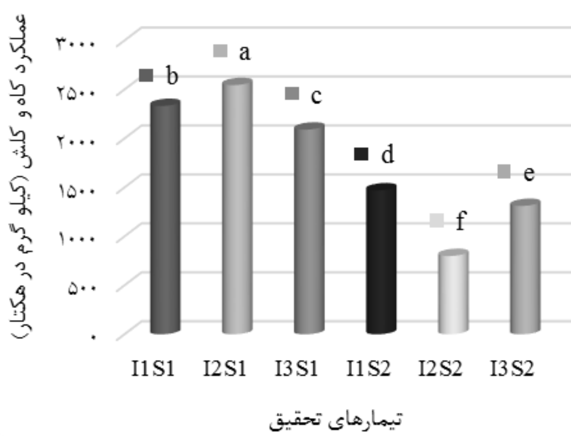
**جدول ۳- میانگین مربعات صفات موردبررسی گیاه جو**

| منابع تغییر | درجه آزادی | عملکرد کل | ارتفاع گیاه | پروتئین دانه |
|---|---|---|---|---|
| تکرار | ۳ | ۱۷۶۶۸/۸۴ $^{ns}$ | ۱۳/۸۱$^{ns}$ | ۰/۰۶۵۶$^{ns}$ |
| تنش آبی | ۱ | ۴۴۲۲۷۳۳/۳$^{**}$ | ۲۸۸/۰۸$^{**}$ | ۰/۹۵۶$^{**}$ |
| نوع آب آبیاری | ۲ | ۱۹۰۵۶۱/۳$^{**}$ | ۱۶۲/۲۹$^{**}$ | ۱/۲$^{**}$ |
| تنش آبی* نوع آب | ۲ | ۱۶۰۰۲۷/۱$^{**}$ | ۱۱۷/۷۲$^{**}$ | ۰/۲۵ $^{ns}$ |
| خطا | ۱۵ | ۶۴۰۱/۲۸ | ۱۱/۷۸ | ۰/۱۱۹۶ |
| ضریب تغییرات (cv) | | ۵/۴۳ | ۴/۹۰ | ۲/۶۶ |

## عملکرد کاه و کلش

نتایج نشان داد تیمارهای با اعمال تنش ($I_3S_2$,$I_2S_2$ و $I_1S_2$)، با کاهش شدید عملکرد کاه و کلش نسبت به تیمارهای بدون تنش آبی مشاهده شدند. تیمار $I_2S_2$ با مقدار ۸۰۰ کیلوگرم در هکتار کمترین مقدار را داشت. تیمار $I_3S_1$ نسبت به شاهد ۱۱/۵۷ درصد کاهش عملکرد داشته است. در بین تیمارهای با اعمال تنش آبی

($I_1S_2$ ،$I_3S_2$،$I_2S_2$)، تیمار $I_2S_2$ و $I_3S_2$ با کاهش ۸۳ درصد و ۱۲ درصد نسبت به شاهد مشاهده شدند. بر اساس نتایج، کاهش یکسانی در تیمارهای آب چاه و ترکیب آب و پساب همراه با اعمال تنش آبی برای صفت عملکرد کاه و کلش مشاهده شد که در شکل ۳ (عملکرد کاه و کلش در تیمارهای تحقیق) به‌خوبی دیده می‌شود. نتایج به‌دست‌آمده با نتایج محققان نیز هم‌خوانی دارد (Choopan et al., 2016, Tadayon, 2006).

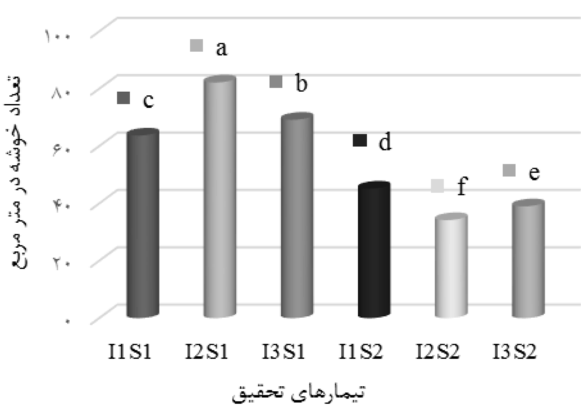



**شکل ۳- عملکرد کاه و کلش در تیمارهای تحقیق (تیمارهای آب چاه، ترکیب آب چاه و پساب و ۷۵٪ تنش آبی، ترکیب آب چاه و پساب)**

کاهش رشد گیاه را می‌توان به دلیل اثرات منفی پتانسیل اسمزی بالای محلول آب‌وخاک عنوان کرد، که باعث کاهش جذب آب و عناصر غذایی می‌شود. هم‌چنین کاهش مقدار پتاسیم با افزایش تنش شوری و سمیت یون سدیم با اختلال در نسبت سدیم به پتاسیم محتوی بافت می‌تواند یکی از دلایل کاهش رشد باشد (Ali Danir et al., 1999, Hayssam et al., 2013). در تحقیقی که بر روی گیاه جو انجام شد نشان داده شد، که استفاده از آب‌شور نسبت به آب غیر شور عملکرد جو را به‌اندازه ۱۱ درصد کاهش داده است (Hossein-Panahi et al., 2011). دلیل اصلی افزایش عملکرد جو در تحقیق حاضر، شوری مثبت (شوری از نوع عناصر کلسیم و منیزیم) بوده که برای گیاه مفید می‌باشد.

## تعداد خوشه

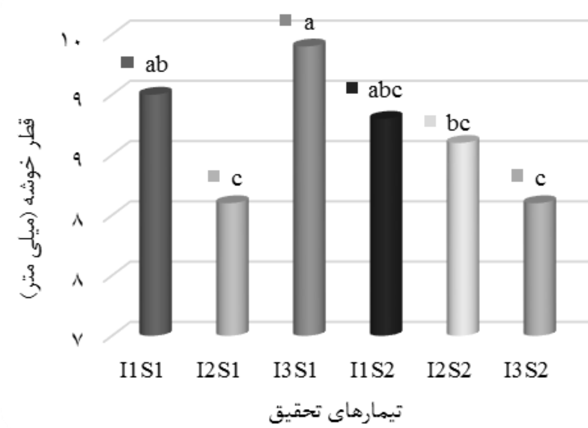
نتایج نشان داد که کلیه تیمارهای این تحقیق در مقایسه میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد با هم تفاوت معنی‌دار داشته و در گروه‌های آماری مختلف از a تا f قرار گرفتند. بیش‌ترین تعداد خوشه در تیمار $I_2S_1$، ۸۲/۲۵ خوشه در هر مترمربع و کم‌ترین مربوط به تیمار $I_2S_2$ با تعداد ۳۴/۲۵ خوشه در مترمربع بود. در بین تیمارهای با تنش آبی تیمار $I_1S_2$ بیش‌ترین مقدار با تعداد ۵۴/۲۵ و کاهش ۱۵ درصدی نسبت به شاهد را داشت. هم‌چنین تیمارهای $I_2S_1$ و $I_3S_1$ نسبت به تیمار شاهد به ترتیب دارای افزایش ۲۹ و ۸/۶ درصدی بر اساس نتایج بودند. همان‌گونه که گفته شد، در پژوهش حاضر، دلیل اصلی افزایش عملکرد جو، شوری مثبت (شوری از نوع عناصر کلسیم و منیزیم) بوده که برای گیاه مفید می‌باشد. در بین تیمارهای با اعمال تنش آبی کم‌ترین مقدار به تیمار پساب تعلق داشت (شکل ۴). در بحث شوری پساب، نتایج این تحقیق با نتایج محققان هم‌خوانی نداشته و این به دلیل وجود عناصر کلسیم و منیزیم در پساب و یا مربوط به شرایط متفاوت تحقیق حاضر می‌باشد، ولی در مورد تنش آبی با نتایج سایر محققان هم‌خوانی داشت (Choopan et al., 2016, Tadayon, 2006). در شکل ۴ تعداد خوشه در مترمربع براثر متقابل تیمارهای آزمایشی ارائه‌شده است.




**شکل ٤- تعداد خوشه در تیمارهای تحقیق (تیمارهای آب چاه، ترکیب آب چاه و پساب و ۷۵ درصد تنش آبی، ترکیب آب چاه و پساب)**

## قطر خوشه

نتایج نشان دادند که تنش آبی باعث کاهش قطر خوشه در تیمارهای $I_3S_2$ و $I_1S_2$ و افزایش قطر خوشه در تیمار $I_2S_2$ شده است. قطر خوشه در تیمار $I_2S_1$ کم‌ترین قطر با مقدار ۸/۱ میلی‌متر و تیمار $I_3S_1$ بیش‌ترین قطر خوشه با مقدار ۹/۴ میلی‌متر را دارا می‌باشند (شکل ۵). کاهش قطر خوشه در تیمار $I_2S_1$ می‌تواند به دلیل شوری بالای پساب خالص باشد که در مقایسه با دو تیمار دیگر در شرایط آبیاری کامل از قطر خوشه بالاتری برخوردار شدند. تیمار شاهد با تیمار $I_3S_1$ در یک گروه قرارگرفته و فاقد تفاوت معنی‌دار آماری در سطح احتمال ۵ درصد شدند. هم‌چنین تیمارهای تحت تنش آبی همگی در یک گروه آماری قرارگرفته و فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند. نتایج نشان دادند تیمار شاهد نسبت به تیمارهای $I_2S_1$ و $I_3S_1$، افزایش ۱۱ درصد و کاهش ۴/۳ درصد داشت (شکل ۵).




**شکل ۵- قطر خوشه در تیمارهای تحقیق (تیمارهای آب چاه، ترکیب آب چاه و پساب و ۷۵ درصد تنش آبی، ترکیب آب چاه و پساب)**

## نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر به بررسی اثر آبیاری با پساب کارخانه قند بر عملکرد دانه و اجزای عملکرد محصول جو در شرایط تنش آبی در اراضی منطقه تربت‌حیدریه پرداخته شد. تیمار دارای پساب خالص و بدون تنش آبی $I_2S_1$، وزن هزار دانه و قطر خوشه کم‌تری را در برداشت، ولی عملکرد کاه و کلش و تعداد خوشه بیش‌تری را نشان داد. می‌توان اظهار کرد دلیل اصلی افزایش عملکرد جو، شوری مثبت (شوری از نوع عناصر کلسیم و منیزیم) بوده که برای گیاه مفید می‌باشد. در خصوص تیمارهای تحت تنش آبی (تیمار $I_2S_2$) که تأثیر تنش آبی و پساب خالص را دارا بود، کاهش چشم‌گیری در صفات وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد کاه و کلش و تعداد خوشه مشاهده شد. بررسی انجام داده‌شده نشان داد که پساب صنعتی برخلاف تنش آبی، نه‌تنها تأثیر مخرب بر عملکرد دانه و اجزای عملکرد جو ندارد بلکه استفاده از آن به‌عنوان کود محلول، برای استفاده در کشاورزی توصیه می‌گردد. در حالت کلی با توجه به مسائل و مشکلات موجود در میزان آب آبیاری و عدم دسترسی مناسب در مناطق خشک و گرم کشور ازجمله منطقه تربت‌حیدریه، می‌توان اظهار کرد که استفاده از پساب به‌عنوان یک گزینه جایگزین مناسب جهت آبیاری با آب چاه مطرح بوده تا ضمن توجیه اقتصادی، در مسائل زیست‌محیطی نیز آثار مثبتی بر جای گذارد.

## مراجع


باقری، ع.، و حیدری شریف‌آباد، ه. ۱۳۸۶. تأثیر تنش خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد و محتوای یون در جو. مجله علوم کشاورزی نوین، ۳ (۷): ۱-۱۵.

بدیع، ا. کار اندیش، ف.، و طباطبایی، س. م. ۱۳۹۵. تأثیر آبیاری با فاضلاب خام و تصفیه‌شده شهری بر عملکرد گندم و خصوصیات میکروبی خاک و پوشش گیاهی. مجله آب‌وخاک، ۲۶ (۲): ۲۱۵-۲۲۸.

تدین، م.، ۱۳۸۵. تأثیر فاضلاب خام کارخانه قند بر قطعات هوایی، عملکرد و اجزای عملکرد دو رقم گندم. مجله آب‌وخاک اصفهان، ۴۵: ۴۸۹-۴۹۸.

جوادی، ح. ر.، لیاقت، ع. ا، و حسن اقلی، ر. ۱۳۹۵. بررسی تغییرات کیفی فاضلاب تصفیه‌شده با عبور از ستون خاک برای آبیاری محصولات کشاورزی. مجله تحقیقات آب در کشاورزی، ۳۰ (۳): ۴۱۷-۴۲۹.

چوپان، ی. ۱۳۹۴. بررسی تأثیر آبیاری با فاضلاب خام کارخانه قند و تنش آب بر عملکرد و اجزای عملکرد جو. کارشناسی ارشد پایان‌نامه، دانشگاه بیرجند، ۹۶ صفحه.

چوپـان، ی.، خاشـعی سـیوکی، ع.، و شـهیدی، ع. ۱۳۹۵. اثـر آبیاری استفاده مجدد آب کارخانه قند و تنش آبی بر کمیت و عملکـرد کیفیـت جـو (رقـم یوسـف). مجلـه آب‌وخـاک اصفهان، ۲۱ ۴٫۹۹-۱۰۹.

چوپان، ی.، خاشعی سیوکی، ع.، و شـهیدی، ع.۱۳۹۶. بررسـی تأثیر آبیاری با فاضلاب تصفیه‌شده شهری تربت‌حیدریه بـر عملکرد مورفولوژیکی پنبه ورامین. مجلـه تحقیقـات آب در کشاورزی، ۳۲ (۱): ۶۷-۷۷.

حسن‌پور، ج.، کافی، م. میر هادی، س. م. ج. ۱۳۸۷. تأثیر تنش خشکی بر عملکرد و برخی از خصوصیات فیزیولوژیکی جـو. علوم کشاورزی ایران. ۱(۳۹): ۱۶۵-۱۷۷.

حسین‌پناهی، ف.، کافی، م.، پارسا، م.، نصـیری محلاتـی، م.، و بناییان.م. ۱۳۹۰. ارزیابی عملکرد انـواع گنـدم حسـاس بـه مقاومت در برابر تنش رطوبت با اسـتفاده از مـدل پـنمن- فـائو-مونتیـت. تـنش¬هـای محیطـی در علـوم زراعـی، ۴(۱):۶۳-۴۷.

خـوش‌گفتـار مـنش، ا.، و سـیادت. ح. ۱۳۸۱ تغذیـه معـدنی سبزیجات و محصولات باغی در شرایط شور. مرکز آمـوزش و آموزش کشاورزی. کرج، ایران، ۸۷ صفحه.

ذونعمت‌کرمانی، م.، اسـدی، ر.، و دهقـانی سـنجانی، ح. ۱۳۹۴. تأثیر مقادیر مختلف فاضلاب شـهری بـر آبیـاری قطـره‌ای. مجله تحقیقات آب در کشاورزی، ۱: ۶۳-۷۵.

صـیاد مـنش، ی.م.، قاجـار سـپانلو، م.، و بهمـن‌یـار، ا. ۱۳۹۴. بررسی میزان برخی عناصر سنگین در خاک و گیاه شلغم در مـزارع آبیـاری بـا فاضـلاب شـهری صـنعتی آمـل. مجلـه تحقیقات آب در کشاورزی، ۲۹(۲):۱۵۵-۱۴۱.

صـنوبر، ع.، طباطبـایی، ا.، و دهقـانی. ف. ۱۳۸۹. تـأثیر فاصـله آبیـاری بـر عملکـرد، اجـزای عملکـرد و شـاخص برداشـت ژنوتیپ‌های گندم نان در منطقه یزد. تنش‌های محیطـی در علوم زراعی، ۳(۲):۱۰۴-۹۵.

علی نژاد، ع.، و مالکی، ا. ۱۳۹۲. ارزیابی کـارایی مصـرف آب و عملکرد ذرت در آبیاری با فاضلاب شهری در هوای خشـک و سرد. اولین کنفرانس ملی چالش‌های آب درزمینه آب و کشاورزی. دانشگاه اسلامی خوراسقان.

کافی، م.، حق نیا، غ.ح.، زمانی، ر.، و رستمی، م. ۱۳۸۹. بررسی میزان جذب تنش شوری و تغذیه مواد معدنی بر عملکـرد و اجزای ناخوشایند. مجله کشاورزی، ۹۱: ۱۰۵-۱۱۰.

فیضـی. ح.، و رضـوانی‌مقـدم، پ. ۱۳۸۷. اسـتفاده از فاضـلاب تصفیه‌شده شهری برای تولیـد گنـدم، سـخت و تریتیکالـه. سومین کنگره بازیافت و استفاده از منابع آلی تجدیـد پـذیر در کشـاورزی. دانشـگاه آزاد اسـلامی خوراسـقان. ۲۴-۲۶ آوریل.

لیلـی، م.، سـماعی، م. ر.، و دهسـتانی، س. ۱۳۸۹. مـدیریت فاضـلاب شـهری. انتشـارات اندیشـه رفیـع، ۲۹۳ صـفحه، تهران.

یزدانـی، ع.، صـفری، م و رنجبـر، ح. ۱۳۹۶. تـأثیر آبیـاری بـا فاضلاب تصفیه‌شـده شـهری بـر عملکـرد و تجمـع فلـزات سنگین در ژنوتیپ‌های بذر. علـوم زراعـی ایـران، ۴: ۲۸۴-۲۹۶.

Ali Dinar, H. M., Ebert, G. Ludders P. 1999. Growth, chlorophyll content, photosynthesis and water relations in guava (Psidium guajava L.) under salinity and different nitrogen supply. Gartenbauwissenschaft, 64: 54-59.

Ali, M. R., Uddin, M. S. Bagum S. A. 2007. Identification of salt tolerant barley genotypes for coastal region of Bangladesh. Botany, 36 (2): 151-155.

Al-Sanafy, M. Akba R. K. 2012. Effects of Irrigation with Treated Wastewater on the Physical and Chemical Properties of Soil in Kuwait. International Journal of Science and Technology, 4: 139-151.

Dolatpanah, T., Roostaei, M., Ahakpaz, F. and Mohebalipour, N. 2013. Effect of Drought Stress on Grain Yield and Yield Components of winter and Facultative Barley Genotypes in Maragheh Region. Breed seedlings and seeds. 29(2): 257-275.

Gonzalez, A., Martin, I., and Ayerbe, L. 1999. Barley yield in water- stress conditions. The influence of precocity, osmotic adjustment and stomatal conductance. Field Crops Res. 62: 23-34.

Hayssam, M. A., Siddiqui, M., Khamis, M. H., Hassan, F. A., Salem, M. Z. M. Ei- mahrouk S. M. 2013. Performance of forest tree Khaya senegalensis (Desr.) A. Juss. Under sewage effluent irrigation. Ecological Engineering, 61: 117-126.

Millero F J, Feistel R, Wrightand D J and McDougall T J. 2008. The composition of Standard Seawater and the definition of the Reference-Composition Salinity Scale. Deep Sea Research, 55(1): 50-72.

Sammak, S., Kazemeini, S. A. and Tavakol, E. 2014. Evaluation of yield and yield components of barley cultivars in response to drought stress. 13th Iranian Conference on Agriculture and Plant Breeding and 3rd Iranian Conference on Seed Science and Technology. Iranian Association of Agricultural Sciences and Plant Breeding, Karaj, Iran.

Singh, P. K., Deshbhratar, P. B. Ramteke D. S. 2012. Effects of sewage wastewater irrigation on soil properties yield and environment. Agricultural water management, 103: 100- 104

.Tesfamriam, E.H., Annandale, J. G. and Steyn, J.M. 2010. Water stress effects on winter canola growth and yield. Agronomy Journal. 102. 658–666.

Todorovic, M., Albrizio, R., Zivotic, L., Abi, S., Stockle, C. and Steduto, P. 2009. Asswssment of AQUACROP, cropsyst, and wofost models in the simulation of sunflower growth under different water regimes. Agronomy Journal. 101. 509-521.

Vigit, M. F., Nielsen, D. C., Haivorson, A., and Beard, B., 1993. Dry land canola production: variety selection, nitrogen response and water use in the central great plains. ARS Central Great Plains Research Station. USDA. Akron. Colorado. USA.

**Water Management in Agriculture**
**Vol. 7, No. 1, Spring and Summer 2020, 121-130**

**نشریه مدیریت آب در کشاورزی**
**جلد ۷، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۹، ص. ۱۳۰-۱۲۱**

# Investigating the Effect of Irrigation with Industrial Wastewater Combined with Water Deficit Stress on Yield and Yield Components of Barley

**Y. Choopan[*1], A. Khashei[2] and A. Shahidi[3]**

## Abstract

To investigate the effect of irrigation with sugar factory wastewater on seed yield and yield components of barley (Hordeum vulgare), a factorial field experiment was performed in a randomized complete block design with three replications in Torbat-Heydarieh in 2013-2014. The experimental treatments included well water (100% water) (I1), sugar factory wastewater (I2), the combination of well water and wastewater (12.5% wastewater and 87.5% water) (I3) at two levels of full irrigation (S1) and applying 100% water stress (S2) and water treatment (I1S1) were selected as control. Results of the studied traits showed that the variation of water stress (S2) at 1% level was significant on seed yield, 1000 seed weight, straw weight, and straw number. The straw weight and straw number in I2S1 treatment with 2545 kg/ha and the number of panicles equal to 82.2 showed the highest amount among other treatments. As well as changes of irrigation water in the level of%1 on the quality of the barely product, such as plant height, grain protein yield, and grain yield had a significant effect. In general, the results of this study showed that the use of sugar factory wastewater, in contracts to water stress, dosen't have a negative effect on grain yield and quality of barely, but also saves costs and consume s chemical fertilizers.

**Keywords:** Grain Yield, Qualitative Yield, Unconventional Water, Water Stress.

[1] PhD Student in Irrigation and Drainage, Water Engineering Department, Gorgan Agricultural Sciences and Natural Resources University, Gorgan, Iran (*.Corresponding Author Email: Yahyachoopan68@gmail.com)
[2] Assistant professor Department of Water Engineering University of Birjand, Birjand,Iran
[3] Assistant Professor Department of Water Engineering University of Birjand, Birjand,Iran
Received: 2 October 2020
Accepted: 21 October 2020

# Contents

# The Journal of Water Management in Agriculture



| | | |
|---|---|---|
| **Published by:** | Iranian Association of Irrigation and Drainage (IAID) | |
| **Manager in Charge:** | Dr. Abdul Majid Liaghat., | Prof. Irrigation and Drainage, Tehran University |
| **Editor in Chief:** | Dr. DehghaniSanij H., | Assoc. Prof., Agricultural Engineering Research Institute |





**Printed by:** Iranian Association of Irrigation and Drainage (IAID)

**Address:** Karimkhan-e-Zand Avenue, North Aban(Azodi) street, AllameTabatabaee, University Building, second floor, Room No: 201, Tehran, Iran

**Post Code:** 15976-33131

**Tel:** +98 21 81032217

**Fax:** +98 21 81032200

**E-Mail:** iaid.Jima@gmail.com

**Web Site:** www.journal.iaid.ir

Vol. 7 No.1, 2020
ISSN: 2476-4531

# Water Management in Agriculture

## Contents



RICeST
ISC
Iranian Association of Irrigation and Drainage