





اثر بخشی تکنیک‌های برتر به‌زراعی بر کاهش آب ورودی به مزرعه (در حوضه آبریز دریاچه ارومیه)

سید مجید میرلطیفی

عضو هیات علمی گروه مهندسی آبیاری و زهکشی دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

حسین دهقانی سانج

عضو هیات علمی موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

رضا وردی نژاد

عضو هیات علمی دانشگاه ارومیه

سرشناسه:

نام کتاب: اثربخشی تکنیک‌های برتر به‌زراعی بر کاهش آب ورودی به مزرعه (در موضعه آبریز دریاچه ارومیه)

مولفین: سید مجید میرلطیفی، مسین دهقانی سانیچ، رضا وردی نژاد

ناشر: طرح حفاظت از تالاب‌های ایران

چاپ اول: ۱۳۹۶

شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه

شابک: ۹۷۸-۶۲۲-۶۰۶۰-۰۱-۱

نشانی: تهران، اتوبان همت، مابین اتوبان یادگار امام و شیخ فضل الله، پارک طبیعت پردیسان، سافتمان ممیظ زیست

طبیعی، بلوک D، دفتر طرح حفاظت از تالاب‌های ایران

حق چاپ برای طرح حفاظت از تالاب‌های ایران محفوظ است.

فهرست مطالب

پیشگفتار	۱
فصل اول - کلیات	۵
۱-۱- مقدمه	۵
۱-۲- ضرورت انجام	۶
۱-۳- فرضیات	۷
۱-۴- هدف	۷
فصل دوم - عوامل مؤثر در کاربرد، مصرف و بهره‌وری آب	۹
۱-۲- کارآیی روشهای مختلف کاربرد آب در مزرعه	۹
۱-۱-۲- روش آبیاری	۱۰
۱-۲-۲- مشخصات خاک	۱۰
۱-۳-۲- جریان ورودی به قطعه آبیاری	۱۰
۱-۴-۲- شیب زمین	۱۰
۲-۲- افزایش کارآیی در کاربرد آب کشاورزی	۱۰
۳-۲- تأثیر یکنواختی سطح اراضی بر بهره‌وری آب کشاورزی	۱۳
۴-۲- روشهای افزایش بهره‌وری آب کشاورزی	۱۳
فصل سوم - روش‌شناسی	۱۵
۱-۳- موقعیت منطقه مورد مطالعه	۱۵
۱-۱-۳- بناب	۱۵
۱-۲-۳- عجب‌شیر	۱۶
۱-۳-۳- اسکو	۱۶
۱-۴-۳- آذرشهر	۱۶
۱-۵-۳- ارومیه	۱۶
۲-۳- مشخصات مزارع مورد مطالعه	۱۷
۳-۳- شناسایی و انتخاب مزارع	۲۱
۱-۳-۳- استان آذربایجان شرقی	۲۱

- ۲۱..... ۳-۳-۲- استان آذربایجان غربی
- ۲۱..... ۳-۴-۴- اندازه‌گیری پارامترهای صحرایی
- ۲۱..... ۳-۴-۱- اندازه‌گیری حجم آب ورودی به مزارع
- ۲۳..... ۳-۴-۱-۱- تعیین حجم آب ورودی با استفاده از پارشال فلوم
- ۲۴..... ۳-۴-۱-۲- با استفاده از خط‌کش جت
- ۲۵..... ۳-۴-۱-۳- تعیین حجم آب ورودی به مزرعه
- ۲۶..... ۳-۴-۲- اندازه‌گیری رطوبت خاک مزارع
- ۲۷..... ۳-۴-۱-۲- دستگاه رطوبت‌سنج خاک (PR2)
- ۲۸..... ۳-۴-۲-۲- نصب لوله‌های دسترسی دستگاه رطوبت‌سنج
- ۲۸..... ۳-۴-۲-۳- نحوه کالیبراسیون دستگاه رطوبت‌سنج (PR2)
- ۲۸..... ۳-۴-۲-۴- اعتبار سنجی دستگاه رطوبت‌سنج (PR2)
- ۲۹..... ۳-۴-۳- اندازه‌گیری پیش‌روی و پس‌روی آب
- ۲۹..... ۳-۴-۴- برداشت شاخص‌های گیاهی
- ۳۱..... ۳-۴-۵- برداشت نمونه‌های آب و خاک
- ۳۱..... ۳-۴-۶- مساحی و نقشه‌برداری مزارع انتخابی
- ۳۲..... ۳-۵-۵- اندازه‌گیری پارامترهای آزمایشگاهی
- ۳۲..... ۳-۵-۱- برداشت پارامترهای خاک (نفوذپذیری آب، چگالی ظاهری خاک و بافت خاک)
- ۳۳..... ۳-۵-۲- سایر پارامترهای خاک و آب اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه
- ۳۵..... ۳-۵-۳- اندازه‌گیری وزن زیست‌توده و اندام مختلف گیاه
- ۳۶..... ۳-۶-۶- پارامترهای محاسباتی
- ۳۶..... ۳-۶-۱- عمق آبیاری
- ۳۶..... ۳-۶-۲- تبخیر-تعرق گیاه مرجع
- ۳۶..... ۳-۶-۳- ضرایب گیاهی (Kc)
- ۳۷..... ۳-۶-۴- تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه (ETc)
- ۳۷..... ۳-۶-۵- ترسیم منحنی‌های رطوبتی خاک
- ۳۸..... ۳-۶-۶- تبخیر-تعرق واقعی گیاه
- ۳۸..... ۳-۶-۷- بارش مؤثر

۳۸.....	۳-۶-۸- نفوذ عمقی و راندمان کاربرد
۳۹.....	۳-۶-۹- بهره‌وری و کارایی مصرف آب
۴۰.....	۳-۷- فرم پرسش‌نامه و مصاحبه با کشاورزان
۴۱.....	فصل چهارم - اثربخشی تکنیک‌های به‌زراعی بر کاهش آب ورودی به مزارع در استان آذربایجان شرقی.....
۴۱.....	۴-۱- نتایج حاصل از پایش آبیاری مزارع
۴۱.....	۴-۱-۱- تحلیل نتایج پایش آبیاری مزارع گندم
۴۲.....	۴-۱-۲- تحلیل نتایج پایش آبیاری مزارع جو
۴۲.....	۴-۱-۳- تحلیل نتایج پایش آبیاری مزارع کلزا
۴۳.....	۴-۱-۴- تحلیل نتایج پایش آبیاری مزارع سیر
۴۹.....	۴-۱-۵- نتایج کلی حاصل از پایش اعماق آبیاری مزارع
۴۹.....	۴-۱-۶- مقایسه آب کاربردی مزارع شاهد و تیمار در طول فصل رشد
۵۱.....	۴-۲- نتایج عملکرد
۵۱.....	۴-۲-۱- نتایج کلی حاصل از عملکرد دانه محصولات
۵۱.....	۴-۲-۲- مقایسه عملکرد مزارع شاهد و تیمار
۵۲.....	۴-۳- واسنجی و صحت‌سنجی دستگاه رطوبت‌سنج
۵۲.....	۴-۳-۱- نتایج حاصل از واسنجی دستگاه رطوبت‌سنج
۵۵.....	۴-۴- ترسیم منحنی‌های رطوبتی خاک - مزارع استان آذربایجان شرقی
۵۶.....	۴-۵- نتایج کلی حاصل از منحنی‌های رطوبتی خاک
۵۶.....	۴-۶- نتایج حاصل از نفوذ عمقی و راندمان کاربرد
۵۹.....	۴-۷- نتایج حاصل از تبخیر- تعرق مزارع
۶۰.....	۴-۸- بیلان آبی در مزارع تحت پایش
۶۲.....	۴-۹- شاخص‌های بهره‌وری و کارایی مصرف آب
۶۲.....	۴-۹-۱- نتایج حاصل از شاخص بهره‌وری آب
۶۵.....	فصل پنجم - اثربخشی تکنیک‌های به‌زراعی بر کاهش آب ورودی به مزارع در استان آذربایجان غربی.....
۶۵.....	۵-۱- نتایج حاصل از پایش آبیاری مزارع
۷۲.....	۵-۲- ترسیم منحنی آبیاری و بارش مزارع تحت پایش
۷۳.....	۵-۳- ترسیم منحنی‌های پیشروی مزارع تحت پایش

۷۳..... ۴-۵- نتایج عملکرد و بهره‌وری آب در مزارع تحت پایش

۷۵..... ۵-۵- ارزیابی بازده کاربرد آب در مزرعه و گزینه‌های اجرایی افزایش بازده کاربرد آب در مزرعه

۷۷..... **فصل ششم - جمع‌بندی و پیشنهادها**

۷۷..... ۱-۶- نتایج بررسی کاهش آب ورودی به مزرعه

۷۹..... ۲-۶- نتایج بررسی عملکرد محصول

۸۰..... ۳-۶- نتایج بررسی بهره‌وری آب

۸۲..... ۴-۶- سناریوها برای افزایش راندمان کاربرد آب

۸۵..... ۵-۶- پیشنهادها

۸۵..... منابع

شکل ۳-۱- اندازه‌گیری حجم آب ورودی به مزرعه توسط فلوم	۲۳
شکل ۳-۲- فلوم نصب‌شده با ایجاد مسیر انحرافی (مزرعه کلزا)	۲۴
شکل ۳-۳- قرائت اشل فلوم و ثبت آن به‌صورت لحظه‌ای	۲۴
شکل ۳-۴- اندازه‌گیری دبی با استفاده از خط‌کش جت	۲۵
شکل ۳-۵- مزارع گندم سایت قره‌چیق- شهرستان بناب (حجم بالای آب و عدم امکان اندازه‌گیری توسط فلوم)	۲۵
شکل ۳-۶- اندازه‌گیری رطوبت خاک به‌صورت دستی	۲۶
شکل ۳-۷- برداشت قرائت رطوبت با دستگاه PR2	۲۷
شکل ۳-۸- اندازه‌گیری عمق آب آبیاری در طول کرت‌ها	۲۹
شکل ۳-۹- برداشت شاخص‌های گیاهی- کل‌گیری	۳۰
شکل ۳-۱۰- برداشت شاخص‌های گیاهی- کل‌گیری و طول ساقه	۳۰
شکل ۳-۱۱- برداشت نمونه خاک به‌منظور اندازه‌گیری مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک	۳۱
شکل ۳-۱۲- نقشه‌برداری جهت اندازه‌گیری شیب طولی	۳۱
شکل ۳-۱۳- اندازه‌گیری ابعاد زمین به‌وسیله‌ی متر و GPS	۳۲
شکل ۳-۱۴- اندازه‌گیری سرعت نفوذ آب در خاک	۳۲
شکل ۳-۱۵- برداشت نمونه دست‌نخورده خاک به‌منظور اندازه‌گیری چگالی ظاهری	۳۳
شکل ۳-۱۶- اندازه‌گیری وزن دانه و طول ریشه به‌صورت دستی	۳۵
شکل ۴-۱- میزان آب کاربردی در مزارع تحت پایش استان آذربایجان شرقی	۴۹
شکل ۴-۲- تصویر شماتیک نحوه آبیاری مزارع R3 و R4	۵۰
شکل ۴-۳- میزان عملکرد اندازه‌گیری شده دانه در مزارع تحت پایش استان آذربایجان شرقی	۵۲
شکل ۴-۴- نمودارهای کالیبراسیون دستگاه PR2 برای مزارع مطالعاتی آذربایجان شرقی	۵۳
شکل ۴-۵- منحنی تغییرات رطوبتی خاک از عمق ۰ تا ۶۰ سانتیمتری در نقاط نمونه‌برداری شده با استفاده از نمونه‌گیری وزنی در مزرعه تیمار گندم- بناب	۵۵
شکل ۴-۶- منحنی تغییرات رطوبتی خاک از عمق ۰ تا ۶۰ سانتیمتری در کرت ۲ و نقطه ۳ لوله‌گذاری شده در مزرعه تیمار گندم- بناب	۵۵
شکل ۴-۷- تبخیر-تعرق تجمعی مزارع مطالعاتی- مزرعه گندم آقای ابراهیمی (W1)	۵۹
شکل ۴-۸- مقایسه مقادیر تبخیر- تعرق واقعی گیاه (با هر دو روش اندازه‌گیری) و تبخیر- تعرق پتانسیل فصلی گیاه	۶۰
شکل ۴-۹- میزان بهره‌وری آب در مزارع تحت پایش استان آذربایجان شرقی	۶۳
شکل ۵-۱- میزان آب کاربردی در مزارع تحت پایش استان آذربایجان غربی	۷۲

- شکل ۵-۲- نمودار آبیاری و بارش، مزرعه گندم یحیی ابراهیمی، آذربایجان غربی ۷۲
- شکل ۵-۳- پیشروی جریان آب در نوار مورد آزمایش مزرعه W3 (گندم)- ارومیه ۷۳
- شکل ۵-۴- میزان عملکرد دانه در مزارع تحت پایش استان آذربایجان غربی ۷۴
- شکل ۵-۵- میزان بهره‌وری آب در مزارع تحت پایش استان آذربایجان غربی ۷۴
- شکل ۶-۱- تغییرات کاربرد آب در نتیجه کاربرد تکنیک‌های به‌زراعی در مزارع مختلف در شرق دریاچه ارومیه ۷۸
- شکل ۶-۲- مقایسه آب کاربردی گندم در شرایط موجود مزرعه و بهینه‌سازی عرض نوارها ۷۸
- شکل ۶-۳- تغییرات عملکرد در نتیجه کاربرد تکنیک‌های به‌زراعی در مزارع مختلف در شرق دریاچه ارومیه ۸۰
- شکل ۶-۴- تغییرات بهره‌وری آب در نتیجه کاربرد تکنیک‌های به‌زراعی در مزارع مختلف در شرق دریاچه ارومیه ۸۱
- شکل ۶-۵- اثر بهینه‌سازی عرض نوارها بر بهره‌وری آب گندم در مزارع مورد پایش شهرستان ارومیه ۸۲
- شکل ۶-۶- اثر بهینه‌سازی عرض نوارها بر بهره‌وری آب محصولات بهاره در مزارع مورد پایش شهرستان ارومیه ۸۲
- شکل ۶-۷- مقایسه عرض نوارهای آبیاری محصولات پاییزه (گندم) در شرایط مزرعه و بهینه‌سازی شده ۸۳
- شکل ۶-۸- اثر بهینه‌سازی عرض نوارها بر بازده کاربرد آب محصولات پاییزه (گندم) شهرستان ارومیه ۸۳
- شکل ۶-۹- مقایسه عرض نوارهای آبیاری محصولات بهاره در شرایط مزرعه و بهینه‌سازی شده ۸۴
- شکل ۶-۱۰- اثر بهینه‌سازی عرض نوارها بر بازده کاربرد آب محصولات بهاره شهرستان ارومیه ۸۴

جدول ۱-۳ - شهرستان‌های مطالعاتی و مزارع انتخاب‌شده در استان‌های آذربایجان شرقی و غربی	۱۷
جدول ۲-۳ - مشخصات مزارع مورد مطالعه - استان آذربایجان شرقی	۱۸
جدول ۳-۳ - مشخصات آبیاری مزارع مورد مطالعه استان آذربایجان شرقی	۲۲
جدول ۴-۳ - مشخصات آبیاری مزارع مورد مطالعه استان آذربایجان غربی	۲۲
جدول ۵-۳ - مشخصات پارامترهای رطوبت مزارع مورد مطالعه خاک استان آذربایجان شرقی	۲۷
جدول ۶-۳ - مشخصات شاخص‌های گیاهی مزارع مورد مطالعه استان آذربایجان شرقی	۳۰
جدول ۷-۳ - مشخصات بافت خاک مزارع مورد مطالعه - آذربایجان شرقی	۳۳
جدول ۸-۳ - مشخصات بافت خاک مزارع مورد مطالعه - آذربایجان غربی	۳۴
جدول ۹-۳ - مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده	۳۶
جدول ۱-۴ - مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مزارع آذربایجان شرقی	۴۳
جدول ۲-۴ - اطلاعات آبیاری مزارع تحت پایش	۴۴
جدول ۳-۴ - مشخصات عمق آب آبیاری مزارع تحت پایش در طول فصل رشد	۵۰
جدول ۴-۴ - مشخصات عملکرد مزرعه تحت پایش گندم	۵۱
جدول ۵-۴ - شاخص‌های آماری صحت‌سنجی و واسنجی و ضرایب ثابت واسنجی دستگاه رطوبت‌سنج	۵۴
جدول ۶-۴ - مشخصات نقاط لوله‌گذاری در مزارع تحت پایش آذربایجان شرقی	۵۶
جدول ۷-۴ - نفوذ عمقی و راندمان کاربرد با استفاده از منحنی‌های رطوبت خاک در مزرعه W1	۵۷
جدول ۸-۴ - مقادیر نفوذ عمقی و راندمان کاربرد برای هر نوبت آبیاری و کل فصل رشد با استفاده از داده‌های رطوبتی	۵۸
جدول ۹-۴ - بیلان آبی مزارع تحت پایش استان آذربایجان شرقی	۶۱
جدول ۱۰-۴ - شاخص‌های بهره‌وری و کارایی مصرف آب مزارع تحت پایش آذربایجان شرقی	۶۳
جدول ۱-۵ - اطلاعات آبیاری مزارع تحت پایش - ارومیه	۶۶
جدول ۲-۵ - خلاصه نتایج عملکرد، آب کاربردی و بهره‌وری، آذربایجان غربی	۷۵
جدول ۳-۵ - بازده کاربرد آب و عرض نوار اندازه‌گیری شده و بهینه‌سازی شده - شهرستان ارومیه	۷۶
جدول ۱-۶ - بازده کاربرد آب و عرض نوار اندازه‌گیری شده و بهینه‌سازی شده - شهرستان ارومیه	۷۹

پیشگفتار

طرح "همکاری در احیای دریاچه‌ی ارومیه از طریق مشارکت جوامع محلی در استقرار کشاورزی پایدار و حفاظت از تنوع زیستی" به‌عنوان یکی از فعالیت‌های احیاء دریاچه ارومیه بوده که در آن سازمان محیط‌زیست کشور با همکاری وزارت جهاد کشاورزی کوشش کرده با آموزش و مشارکت کشاورزان منطقه و انتقال تکنیک به عرصه کشاورزی، به تأمین بخشی از حق‌آبه‌ی دریاچه‌ی ارومیه کمک شود. در این طرح ضمن توجه به حفظ منافع و درآمد کشاورزان، برای کاهش آب کاربردی در سطح مزرعه و افزایش بهره‌وری آب اقدام به تغییراتی در شیوه‌ی کشاورزی سنتی شده است. در حال حاضر بخش عمده اراضی کشاورزی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه به روش آبیاری سطحی آبیاری می‌شوند. برای دستیابی به اهداف طرح بهبود و اصلاح روش‌های آبیاری سطحی امری اجتناب‌ناپذیر است. به دلیل زیاد بودن پارامترهای مؤثر بر عملکرد آبیاری سطحی و نیز تغییرات زمانی و مکانی آن‌ها، مدیریت آبیاری سطحی برای بدست آوردن بازده و یکنواختی بالا، پیچیده است؛ از این رو بهبود عملکرد آبیاری بر اساس متغیرهایی با حداقل هزینه‌ی اجرایی، سهولت کاربرد و امکان اجرا در مزرعه، مورد توجه قرار گرفت.

تکنیک‌های مختلفی در مزارع اجرایی شد که در این زمینه می‌توان به تغییر در روش‌های خاک‌ورزی، استفاده از بذرها، بوجاری شده و استفاده از بذور با دوره‌ی رشد کوتاه‌تر و اصلاح رژیم کودی اشاره نمود. اثر بخشی تکنیک‌ها بر روی ۲۱ مزرعه (تیمار) در سایت‌های انتخابی در استان‌های آذربایجان شرقی و غربی در مقایسه با وضع موجود (شاهد) بررسی شد. مزارع انتخابی در استان آذربایجان شرقی شامل مزارع گندم و جو در شهرستان بناب، مزارع کلزا در عجب‌شیر و آذرشهر و مزارع سیر در آذرشهر بودند. یکی از مؤثرترین روش‌ها در اجرای مدیریت صحیح در زمینه آبیاری سطحی، استفاده از نرم‌افزارهای کامپیوتری و مدل‌های عددی است. نرم‌افزار WinSRFR مدل ریاضی یک‌بعدی برای تحلیل و شبیه‌سازی آبیاری سطحی و انتخاب ابعاد مناسب قطعات زراعی است. مزارع مورد پایش در شهرستان ارومیه شامل مزارع گندم، ذرت، کدو آجیلی، گوجه‌فرنگی و آفتابگردان بودند که اثربخشی بهبود عرض قطعات زراعی بر کاهش آب ورودی به آن‌ها بررسی شد.

در شرق دریاچه میزان آب کاربردی در مزارع تیمار گندم، جو و کلزا کمتر از مزارع شاهد بود که به کاربرد تکنیک‌های به‌زراعی بکار گرفته‌شده در مزرعه نسبت داده می‌شود. مقدار آب کاربردی گندم در مزرعه تیمار ۶۹۸۶ مترمکعب در هکتار بود و مقدار آن در مزرعه شاهد ۱۰۳۰۷ مترمکعب در هکتار بدست آمد که به‌طور متوسط ۴۷ درصد کمتر بود. به‌طور مشابه مقدار آب کاربردی در مزرعه تیمار جو ۴۷۸۹ مترمکعب در هکتار بود و مقدار آن در مزرعه شاهد ۵۳۷۸ مترمکعب در هکتار بدست آمد. به عبارتی در مزرعه تیمار به‌طور متوسط ۱۲ درصد آب کمتری استفاده‌شده است. کلزا از زراعت‌های صنعتی است که طی سال‌های اخیر در الگوی کشت منطقه وارد شده است. در مزرعه تیمار کلزا در عجب‌شیر بهینه کردن ابعاد قطعات زراعی موجب کاهش ۹ درصدی در آب کاربردی گردید. در بیشتر مزارع افزایش بهره‌وری آب ثبت گردید. عملکرد بالا در مزرعه تیمار گندم در شهرستان بناب باعث شده تا شاهد بهره‌وری آب معدل ۱/۵۹ کیلوگرم بر مترمکعب باشیم که مقدار آن در مزرعه شاهد برابر با ۰/۹۶ کیلوگرم بر مترمکعب آب بود. بهره‌وری آب در مزرعه تیمار و شاهد جو در شهرستان بناب به‌ترتیب برابر با ۱/۰۶ و ۰/۷۳ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمد، به عبارتی مقدار بهره‌وری آب در نتیجه کاربرد تکنیک‌های به‌زراعی منجر به افزایش بهره‌وری آب به میزان ۴۵ درصد گردید. بهره‌وری آب در مزرعه تیمار کلزا در عجب‌شیر ۱/۰۶ و در مزرعه شاهد ۰/۸ کیلوگرم بر مترمکعب بود. در منطقه اسکو بهره‌وری آب کلزا در مزرعه تیمار ۱/۴۴ و در مزرعه شاهد ۰/۲۹ کیلوگرم بر مترمکعب بود. پایین بودن

عملکرد و بهره‌وری در مزرعه شاهد مربوط به شوری زمین، بالا بودن سطح ایستابی و مدیریت ضعیف برای شستشوی خاک است. سیر از زراعت‌های سبزی و صیفی در منطقه گوگان آذرشهر است که نسبت به سایر شهرستان‌های شرق دریاچه بیشترین سطح زیر کشت را دارد. کل آب کاربردی در همه تیمارها و شاهد ثابت و برابر با ۷۳۳۳ مترمکعب در هکتار بود. بیشترین افزایش عملکرد سیر مربوط به تیمار استفاده از کود ورمی‌کمپوست با بهره‌وری آب ۳/۷۸ کیلوگرم بر مترمکعب بدست آمد.

در شهرستان ارومیه متوسط آب کاربردی در مزارع گندم حدود ۷۱۳۲ مترمکعب در هکتار بود که در اثر کاهش حدود ۶۰ درصدی عرض نوارها، بازده کاربرد آب در مزرعه به‌طور متوسط ۵۶ درصد افزایش یافته و متوسط آب کاربردی مزرعه به ۳۲۱۹ مترمکعب در هکتار قابل کاهش است. تنها با کاهش عرض نوارها و تسطیح زمین امکان افزایش بهره‌وری آب در محصولات پاییزه حدود ۴۰ درصد ممکن است. در شرایط موجود بهره‌وری آب گندم در بازه ۰/۸۴ تا ۱/۶۵ کیلوگرم در مترمکعب بود که با کاهش عرض نوارهای آبیاری، بهره‌وری آب به حدود ۱/۶ تا ۴/۳ افزایش می‌یابد. همچنین در مزارع محصولات بهار کاهش عرض نوارها موجب افزایش بهره‌وری آب به میزان حدود ۳۷ تا ۶۰ می‌شود. بر اساس نرم‌افزار WinSRFR متوسط بازده کاربرد آبیاری در ۵ مزرعه گندم از ۲۳/۵ درصد به ۵۲/۷ درصد قابل افزایش است. در مزارع انتخابی برای کشت بهار، متوسط بازده کاربرد آب در مزارع برای محصولات ذرت، کدو، آفتابگردان و گوجه‌فرنگی به‌ترتیب ۳۴/۷، ۳۷/۴، ۴۱/۶ و ۵۷/۶ درصد بدست آمد که بعد از اجرای نرم افزار به‌ترتیب به ۷۴/۴، ۷۸/۱، ۶۸/۳ و ۷۹/۹ درصد قابل افزایش است. در تمامی مزارع عرض نوارهای آبیاری باید کاهش یابد.

تکنیک‌های بکار گرفته‌شده در مزارع در غالب پروژه «همکاری در احیاء دریاچه ارومیه از طریق مشارکت جوامع محلی در استقرار کشاورزی پایدار در عرصه‌های منتخب حوضه آبریز دریاچه ارومیه» عموماً بر روی حاصلخیزی خاک، تأمین نیاز غذایی و ضریب نگهداشت آب در خاک مؤثر بوده و بر روی افزایش عملکرد اثر مثبت دارند. بر همین اساس اگرچه تکنیک‌ها در بعضی مزارع نتوانسته‌اند به‌طور مشخص موجب صرفه‌جویی در آب ورودی بشوند، لیکن موجب افزایش عملکرد و بهره‌وری آب در مزارع مورد پایش شده است. لازم است در سال‌های آینده تکنیک‌هایی خاص برای کنترل و مدیریت کاربرد و مصرف آب بکار گرفته شود.

این کتاب با حمایت طرح حفاظت از تالاب‌های ایران بر اساس نتایج فعالیت مشترک دفتر طرح حفاظت از تالاب‌های ایران، مؤسسه‌ی تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، گروه آبیاری و زهکشی دانشگاه تربیت مدرس و دانشگاه ارومیه در سال زراعی ۱۳۹۴-۱۳۹۵ تدوین و ارائه شده است. در پایان مراتب سپاسگزاری خود را نیز از زحمات بی‌دریغ همکاران طرح حفاظت از تالاب‌های ایران اعلام می‌داریم.

Preface

The project entitled "Contribution to Lake Urmia Restoration via local community participation in sustainable agriculture and biodiversity conservation" is one of the activities of the Lake Urmia restoration project in which the Department of Environment in cooperation with the Ministry of Jihad Agriculture has worked out a plan to improve traditional farming practices in pursue of increasing on farm water productivity by educating local farmers and seeking their participation in the project. One of the goals of this project is to increase the volume of water discharged to the Urmia Lake by reducing on-farm water application, while the farmers' income is maintained at previous years.

Surface irrigation is the common method of irrigation in the Urmia Lake basin, and therefore to achieve the main goal of the project which is increasing water productivity, it is mandatory to improve and to optimize the kinds of the surface irrigation methods practiced in the region. Since there are many parameters which significantly affect the performance of a surface irrigation system and many of these parameters change during irrigation time and place to place in the farm, management of a surface irrigation in pursue of improving its application efficiency and distribution uniformity is a very complex process. As a result, it was attempted to improve farm management practices by developing and applying farm practices which were easily applicable and not costly. Different farm techniques were implemented such as improving soil tillage methods, using winnowed seeds and seed varieties with shorter growing season, and optimizing fertilizer application management. One of the effective means of proper design and management of surface irrigation systems is to use computer models which simulate surface irrigation method. In this project, WinSRFR model which is a one-dimensional numerical model developed for analyzing and simulating surface irrigation was utilized to redesign the dimensions of the surface irrigation systems such as the length and width of the basins, borders, and furrows.

In order to quantify the effectiveness of the new improved agricultural practices applied, 21 pilot farms were selected within the project area whose irrigation and crop growth parameters were monitored during the growing season. The pilot farms selected in the Eastern Azarbaijan province included wheat and barley farms in the Bonab city (Ghareh Chopogh and Akhond Gheshlagh villages), canola farms in the Ajabshir and Azarshar cities, and garlic farms in the Azarshar. Similarly, in the Western Azarbaijan province, monitored pilot farms were wheat, corn, squash, tomato, and sunflower farms in the Chichakloy village of the Urmia city.

The results indicated that the amount of applied water in the wheat, barley, and canola farms was higher in most of the treatment farms (farms where new techniques were applied) as compared to that of control farms (farms completely managed by the local farmers). This enhancement of water productivity was the result of the application of the new farm techniques. The amount of water withdrawal to a wheat farm was 6986 m^3 , while similar value for the control wheat farm was 10307 m^3 , indicating a 47% water saving in the treatment farm. Similarly, in barley farm, 4789 m^3 of water was applied to treatment farm, as compared to 5378 m^3 of control farm, a 12% saving in the amount of water withdrawal.

Canola is an industrial crop which has recently been introduced to the crop rotation of the region. Correcting the dimensions of the surface irrigation of canola farm in the Ajabshir cities reduced the amount of water applied by 9%. In Osko city, as a new technique, the use of animal manure was practiced in a canola farm. The volume of applied water to this treatment farm was 6197 m^3 as compared to 5259 m^3 of the control farm, indicating 15% more of water application to the treatment farm. The reason for this discrepancy was the fact that the treatment farm was close to the main irrigation canal and the farmer had access to irrigation water as desired, while the control farm was irrigated by the tail surface runoff leaving the treatment farm. In a wheat treatment farm in the Bonab city, the high yield harvested resulted in a water productivity (WP) of

1.59 kg/m³ as compared to 0.96 kg/ m³ of the control farm. The WP of a barley treatment farm in the city of Bonab was 1.06 kg/ m³, while WP of the control farm was 0.73 kg/ m³, indicating a 45% increase of the WP due to the application of the new farm techniques. The WP of a canola treatment farm in the Ajabshir city was 1.06 kg/ m³ as compared to 0.8 kg/ m³ of the control farm. In this case, the low yield of the control farm was attributed to the high soil salinity and high water table level conditions. Garlic cultivation is practiced in the Goghan Azarshar region and the area under garlic cultivation in this region is more than the other regions located in the eastern part of the Urmia Lake. The amount of water withdrawn by the treatment and control garlic farms were the same and was equal to 7333 m³/ha. A garlic treatment farm where vermi compost was applied produced the highest yield. The WP of garlic production was 4.05 kg/ m³. In the chichakloy mansor village, five wheat farms with closed end border irrigation system were monitored. The average application efficiency calculated was 23.5% which upon application of new agricultural techniques can be increased to 52.7%. For spring crops, the application efficiency of corn, squash, sunflower, and tomato were 34.7, 37.4, 41.6, and 57.6 percent respectively, however, there is the potential to improve those values to 74.4, 78.1, 68.3, and 79.9 percent.

It is concluded that the new techniques implemented generally improved soil fertility and soil water holding capacity, and therefore increased crop yield. Although, application of these techniques didn't reduce the amount of water withdrawn by some farms, but it generally enhanced yield and WP. In the future, it is recommended to implement techniques specifically selected to have significant effects on water conservation.

The publication of this book was supported by the Conservation of Iranian Wetlands Project based on the results of the joint research activities performed by the Conservation of Iranian Wetlands Project Office, the Agricultural Engineering Research Institute, the Irrigation and Drainage Engineering Department of Tarbiat Modares University, and Urmia University. We also would like to express our gratitude to our colleagues in the Conservation of Iranian Wetlands Project Office who provided insight and expertise that greatly assisted us.

فصل اول

کلیات

۱-۱- مقدمه

دریاچه ارومیه، بزرگ‌ترین دریاچه داخلی ایران، پارک ملی و ذخیره‌گاه زیستی، این تنها بخشی از صفات دومین دریاچه شور دنیاست. دریاچه‌ای که در زمان پرآبی پنج هزار و ۷۰۰ کیلومترمربع وسعت دارد با ۳۲ میلیارد مترمکعب آب. دریاچه‌ای که در سال ۱۳۷۴ با تراز آبی ۱۲۷۸ متر از سطح آب‌های آزاد دوران پرآبی خود را سپری می‌کرد. تمام مشکلات از سال آبی ۷۷-۱۳۷۶ آغاز شد، خشک‌سالی از مصرف بی‌رویه منابع آب حوضه پرده‌برداری کرد، بحران جدی و جدی‌تر شد تا اینکه شوره‌زاری به وسعت ۵ هزار کیلومترمربع به وجود آمد، طوفان‌های نمک وزیدن گرفت و بدون تعارف زندگی میلیون‌ها نفر در این پهنه جغرافیایی در ابعاد مختلف با خطر مواجه شده است. وضعیت کنونی دریاچه ارومیه که حاصل مجموعه‌ای از عوامل انسانی و طبیعی طی دهه‌های گذشته است، از منظر تخصص‌های مختلف، طی چند سال گذشته مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. انجام مطالعات جامع در وزارتخانه‌های نیرو، جهاد کشاورزی، صنعت، معدن و تجارت و سازمان حفاظت محیط‌زیست و ایجاد یک جریان منجر به تولید محصولات علمی در دانشگاه‌های منطقه و کشور، نشان از اهمیت این موضوع در جامعه تخصصی و علمی کشور داشته است. وابستگی معیشتی، هویتی و تاریخی مردم منطقه به دریاچه نیز بر کسی پوشیده نیست. این روند علاوه بر آنکه موجب حساسیت افکار عمومی منطقه بر تحولات دریاچه ارومیه شده، منجر به شکل‌گیری تشکل‌ها و سازمان‌های مردم‌نهاد متعدد، باهدف احیای دریاچه و اصلاح روندهای بهره‌برداری از منابع آب حوضه گردیده است.

با توجه به موارد بیان‌شده و باهدف اعمال رویکردهای یکپارچگی در مدیریت حوضه آبریز و ارائه راهکارها، کارگروه نجات دریاچه ارومیه با مسئولیت وزیر نیرو و با حضور وزیران جهاد کشاورزی و کشور و معاون برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست‌جمهوری و رئیس سازمان حفاظت محیط‌زیست در تاریخ ۱۳۹۲/۰۷/۲۵ تشکیل گردید تا با اتکا بر مطالعات انجام‌شده قبلی و نظرات تشکل‌های مردم‌نهاد ذی‌ربط دریاچه ارومیه، راهکارهای عملیاتی نجات دریاچه را بررسی و نتیجه را برای تصمیم‌گیری نهایی به هیئت‌وزیران ارائه دهند. طرح احیاء دریاچه ارومیه پس از ماه‌ها مطالعه توسط متخصصان و استادان دانشگاه صنعتی شریف در کنار استادان دانشگاه‌های ارومیه و تبریز و چند دانشگاه خارجی در قالب ۲۹ پروژه تدوین و توسط

دولت ابلاغ شد. در قالب این طرح قرار است در مدت ۱۰ سال دریاچه ارومیه به سطح تراز اکولوژیک خود یعنی ۱۲۷۴ متر از سطح آب‌های آزاد برسد.

با توجه به اینکه بخش کشاورزی عمده‌ترین مصرف‌کننده آب در منطقه است، ضرورت دارد تا با راهکارهای اجرایی، میزان برداشت آب این بخش از منابع کاهش یابد. البته کاهش بایستی به نحوی انجام شود که مسائل اقتصادی و اجتماعی و پایداری در تولید در مناطق واقع در این حوضه آبریز را تحت‌الشعاع قرار ندهد. در این خصوص لازم است راهکارهای مناسب توصیه و اثربخشی آن شناسایی و ارائه شود. بدین منظور برنامه کشاورزی پایدار با راهبرد مشارکتی و باهدف تحقق عینی مشارکت مردم در کمک به احیای دریاچه ارومیه با استقرار سیستم تحولی مدیریت و برنامه‌ریزی مشارکتی در چندین روستای واقع در حاشیه دریاچه ارومیه اجرا شده است. برنامه کشاورزی پایدار با راهبرد مشارکتی نوعی از کشت و زراعت است که مشارکت مردمی در کاهش میزان مصرف آب و افزایش راندمان تولید در واحد سطح در حوضه آبریز دریاچه ارومیه مدنظر قرار می‌گیرد که به‌عنوان یکی از مهم‌ترین راهکارهای احیای دریاچه ارومیه و کمک به افزایش بهره‌وری در بخش کشاورزی و ارتقای راندمان آبیاری محسوب می‌شود. در این راستا طرح حفاظت از تالاب‌های ایران در سازمان حفاظت محیط‌زیست با اجرای طرح «همکاری در احیاء دریاچه ارومیه از طریق مشارکت جوامع محلی در استقرار کشاورزی پایدار در عرصه‌های منتخب حوضه آبریز دریاچه ارومیه» از سال ۱۳۹۱ تلاش کرده است تا با ورود به جوامع بهره‌برداران و ارزیابی وضعیت موجود، نسبت به معرفی تکنیک‌های مختلف برای کاهش آب ورودی به مزرعه و مصرف آب در سطح مزارع اقدام کند. با توجه به ضرورت انجام فعالیت‌های وسیع آموزشی، اجرایی، حمایتی و ... برای انتقال این تکنیک‌ها به مزارع، ضرورت دارد تا اثربخشی آن‌ها در مزارع پایلوت مورد ارزیابی قرار گیرد. تشکیل کارگاه‌های آموزشی به‌منظور انتقال و آموزش تکنیک‌های موردنیاز شرکت‌های مهندسی و مشاور کشاورزی از دیگر فعالیت‌های انجام‌گرفته است.

۱-۲- ضرورت انجام

وضعیت کنونی دریاچه ارومیه که حاصل عملکرد مجموعه‌ای از عوامل انسانی و طبیعی طی دهه‌های گذشته است، از منظر تخصص‌های مختلف، طی چند سال گذشته مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است و علی‌رغم ارائه راهکارهای متعدد، احیای دریاچه ارومیه همچنان در رأس مطالبات زیست‌محیطی کشور قرار دارد. وقوع خشک‌سالی‌های طولانی‌مدت، افزایش نیازهای آبی جوامع و تبعات تغییر اقلیم از مهم‌ترین عوامل بروز چنین بحران زیست‌محیطی بوده است، اما مسلماً واقعیت به همین سادگی ترسیم‌شده از نقطه نظرات مختلف نیست. درواقع می‌توان عامل اصلی خشک شدن دریاچه ارومیه را نبود اندیشه آینده‌نگری و برنامه بلندمدت و از آن مهم‌تر، عدم وجود انضباط در مدیریت و هدایت برنامه‌های عملیاتی در سطح حوضه دانست. بر اساس شواهد موجود و همچنین تجارب مرتبط با دریاچه‌های با وضعیت مشابه ارومیه در سطح جهان، بدون شک تداوم روند خشکی دریاچه ارومیه خسارت و آسیب‌های بسیاری را بر سلامت و بهداشت ساکنین حوضه و معیشت آن‌ها، تخریب اکوسیستم و بخش کشاورزی حوضه (تخریب اراضی و باغات و دام‌پروری) را به همراه خواهد داشت. به‌منظور جلوگیری از آسیب جدی به مردم و محیط‌زیست پیرامون دریاچه و با توجه به تداوم کاهش نزولات جوی و عدم جریان آب کافی به داخل دریاچه در سال‌های اخیر و همچنین مدت‌زمان طولانی موردنیاز جهت انتقال آب از حوضه‌های مجاور به دریاچه، تنها راهکار، تثبیت شرایط کنونی دریاچه و جلوگیری از خشکی کامل آن، تأمین آب کافی از منابع داخلی حوضه به‌عنوان محور اصلی اقدامات برای احیای دریاچه ارومیه مدنظر قرار گرفته است. با توجه به مصرف بیشترین مقدار منابع آب حوضه در بخش کشاورزی و مدیریت ضعیف در کاربرد آن، یکی از مهم‌ترین راهکارها و اولویت‌های نجات دریاچه ارومیه، انجام اقدامات لازم در راستای کاهش مصرف آب در این بخش است. البته کاهش بایستی به نحوی انجام شود که مسائل اقتصادی و اجتماعی و پایداری در تولید را تحت‌الشعاع قرار ندهد. در این خصوص لازم است راهکارهای مناسب و اثربخشی آن شناسایی و ارائه شود.

۳-۱- فرضیات

- در شرایط فعلی کشاورزان بیش از مقدار لازم آب برداشت و مصرف می‌کنند و مقداری از آب در مزارعی که آبیاری سطحی می‌شوند تلف شده و از دسترس خارج می‌گردد.
- کاهش برداشت از منابع آب زیرزمینی و یا سطحی، می‌تواند راهکاری در راستای تعادل بخشی منابع آبی در حوضه و کمک به احیاء دریاچه ارومیه باشد.
- در شرایط فعلی آبی که در مزارع استفاده می‌شود، بیش از نیاز آبیاری مزارع است.
- استفاده از تکنیک‌هایی مختلف و از جمله مدیریت آبیاری می‌تواند منجر به کاهش آب ورودی به مزرعه، مصرف کمتر آب و کاهش برداشت از منابع آب با حفظ سطح درآمدی کشاورزان منطقه شود.
- اجرای پایلوت‌های موفق کشاورزی با توجه به شاخص مدیریت آبیاری می‌تواند در ارتقاء سطح مدیریت کشاورزی و مصرف بهینه نهاده‌ها و از جمله آب مفید باشد.
- اجرای برنامه‌های آموزشی در زمینه مدیریت آبیاری می‌تواند در ارتقاء سطح مدیریت کشاورزی و مصرف بهینه نهاده‌ها و از جمله آب مفید باشد.

۴-۱- هدف

در راستای کاهش آب ورودی به مزرعه و مصرف آب کشاورزی، استفاده از تکنیک‌های زراعی مختلف (نظیر سیستم‌های کشاورزی حفاظتی، رقم گیاه زراعی و باغی، تاریخ کاشت، مدیریت تغذیه و ...) در مقیاس مزرعه در اراضی حوضه آبریز دریاچه ارومیه در قالب طرح‌های مقایسه‌ای در دست اجرا است. هدف تعیین میزان اثربخشی تکنیک‌های مختلف به‌زراعی اجرا شده در مزارع مذکور بر کاهش آب ورودی به مزرعه و مصرف آب کشاورزی در شهرستان‌های آذربایجان شرقی در شرق دریاچه ارومیه و آذربایجان غربی در غرب دریاچه ارومیه است.

فصل دوم

عوامل مؤثر در کاربرد، مصرف و بهره‌وری آب

واقعیت مشهود در سطح جهانی این است که غالب پروژه‌های آبیاری و زهکشی اجرا شده در دنیا به اهداف پیش‌بینی شده منجر نگردیده و در موارد بی‌شماری با شکست مواجه گردیده و نه تنها توفیقی در بهره‌وری بهینه منابع آب و خاک نداشته، بلکه با ضایعاتی که به منابع مذکور وارد نموده سطح تولید را نیز کاهش داده است. اگرچه در سیستم‌های آبیاری تحت فشار راندمان آبیاری نسبت به آبیاری سطحی بالا می‌باشد؛ ولی افزایش روزافزون هزینه انرژی سبب گردیده است که بسیاری از محققان (علیزاده، ۱۳۸۳؛ Izadi 1991؛ Alazba and Fangmeire, 1995) مطالعات قابل توجهی را در زمینه افزایش راندمان آبیاری سطحی انجام دهند و این روش آبیاری را به عنوان جایگزین مناسبی برای روش‌های آبیاری تحت فشار پیشنهاد نمایند (رحیمی و سپاسخواه، ۱۳۸۳). مریام^۱ (۱۹۷۷) بیان داشت که بازده پایین در آبیاری سطحی مربوط به نوع روش نیست، بلکه مربوط به ضعف در طراحی، و اجرای ناصحیح، بهره‌برداری و نگهداری نامناسب و غیرکافی و یا به طور کلی مدیریت ضعیف در زمینه‌های مختلف می‌باشد.

۲-۱- کارایی روش‌های مختلف کاربرد آب در مزرعه

هدف اصلی از احداث شبکه‌های آبیاری جلوگیری از تلفات آب در مسیرهای انتقال و توزیع و همچنین کنترل و بهینه کردن مصرف آب در مزارع می‌باشد که لازمه این کار کنترل جریان آب در کانال‌ها براساس هیدرومُدول تعیین شده و نظارت بر مصرف آب در داخل مزارع می‌باشد. تلفات آبیاری در قطعه آبیاری عمدتاً شامل نفوذ عمقی یا رواناب انتهایی در جویچه‌ها و نوارهای انتها باز می‌باشد. عملکرد ایده‌آل زمانی است که آبیاری کامل با حداقل تلفات اتفاق بیفتد. وقتی آب به سر قطعات تحویل داده شد، هدف آن است که بطور یکنواخت در سطح زمین پخش گردد و در منطقه توسعه ریشه نبات ذخیره گردد. عواملی که بر روی راندمان کاربرد آب تأثیر دارند عبارتند از روش آبیاری، عمق خالص آبیاری، ابعاد واحد زراعی، جریان ورودی به قطعه آبیاری، شیب قطعه آبیاری، مشخصات خاک و غیره (دهقانی سانچ و حیدری ۱۳۹۵).

¹ Merriam

۲-۱-۱- روش آبیاری

پتانسیل راندمان کاربرد آب در برخی روش‌های آبیاری مثل بارانی و قطره‌ای بالاتر از روش‌های سطحی است. در میان روش‌های آبیاری سطحی نیز در شرایط مساوی پتانسیل راندمان کاربرد آب در روش کرتی بیشتر از روش‌های شیاری و نواری و راندمان روش نواری بیش از روش شیاری است (یزدی و همکاران، ۱۳۷۸).

۲-۱-۲- مشخصات خاک

هرچه خاک سنگین‌تر باشد ظرفیت نگهداری آب در خاک بیشتر است لذا عمق آبیاری را می‌توان افزایش داد، در این صورت تلفات عمده‌تاً مربوط به رواناب سطحی است در حالیکه در خاک‌های سبک راندمان کمتر می‌شود و تلفات عمده‌تاً مربوط به نفوذ عمقی است یعنی در خاک‌های با نفوذپذیری زیاد تلفات نفوذ عمقی افزایش می‌یابد و در خاک‌های با نفوذپذیری کم تلفات رواناب سطحی افزایش می‌یابد. نفوذپذیری خاک از عوامل مؤثر بر راندمان کاربرد آب در سیستم‌های مختلف آبیاری است. بنابراین در طراحی روش‌های آبیاری سطحی با تغییر عواملی چون طول قطعه آبیاری، دبی ورودی به قطعه، زمان ورود جریان به قطعه و شیب زمین پس از تسطیح سعی می‌شود بهترین ترکیب این عوامل به نحوی تعیین گردد که بیشترین راندمان بدست آید (یزدی و همکاران، ۱۳۷۸).

۲-۱-۳- جریان ورودی به قطعه آبیاری

آبیاری کرتی با جریان متناوب راندمان بهتری نسبت به آبیاری کرتی با جریان ثابت و دائم دارد. همچنین هر چه جریان ورودی در واحد عرض قطعه بیشتر باشد آب به طور سریعتری به انتهای قطعه می‌رسد و چنانچه جریان آب قطع نگردد یا کاهش نیابد. رواناب سطحی افزایش می‌یابد. و بالعکس هر چه جریان ورودی به قطعه آبیاری کمتر باشد آب دیرتر به انتهای قطعه می‌رسد و تا زمانی که عمق مورد نظر در انتهای قطعه نفوذ کند میزان نفوذ عمقی در ابتدای قطعه افزایش خواهد یافت (یزدی و همکاران، ۱۳۷۸).

۲-۱-۴- شیب زمین

چون تلفات آبیاری عمده‌تاً شامل نفوذ عمقی و رواناب سطحی است در روش‌های آبیاری سطحی هر چه شیب زمین کمتر باشد نفوذ عمقی بیشتر و هرچه شیب بیشتر باشد رواناب سطحی افزایش می‌یابد (یزدی و همکاران، ۱۳۷۸).

۲-۲- افزایش کارایی در کاربرد آب کشاورزی

ملوخی و همکاران راندمان‌های کاربرد آب را در دو روش آبیاری سطحی و در دو حالت جویچه‌های بازسازی شده و بدون بازسازی در مزارع واقع در مرکز تحقیقات نیشکر در واحد امیرکبیر مورد ارزیابی قرار دادند، آنها در طی ماه‌های اردیبهشت الی مهرماه، مقادیر راندمان کاربرد آب را در جویچه‌های بازسازی شده ۴۸ تا ۷۵ درصد و به طور متوسط ۶۲ درصد و در جویچه‌های بدون بازسازی ۴۳ تا ۶۳ درصد و به طور متوسط ۵۳ درصد اندازه‌گیری کردند (ملوخی و همکاران، ۱۳۸۵). پاندیان و همکاران^۱ (۱۹۹۲) نتیجه گرفتند که راندمان کاربرد آب با آبیاری یک در میان جویچه‌ها در مقایسه با آبیاری تمام جویچه‌ها به میزان ۴۳-۴۴٪

^۱ Pandian

۴۶ درصد کاهش یافت. مطالعات و تحقیقات انجام شده در منطقه مغان برای آبیاری شیاری در صورتی که بهترین شیب برای شیارها (در حالتی که طول آنها ۲۰۰ تا ۲۵۰ متر باشد) حدود ۴ تا ۸ در هزار انتخاب شود راندمان مصرف آب در مزرعه در دامنه ۶۰ الی ۷۰ درصد به دست می‌آید (بهره‌دار، ۱۳۷۳). توماس^۱ و همکاران (۱۹۸۱) در ارزیابی متغیرهای مختلف مؤثر در آبیاری شیاری نشان دادند که تلفات زیاد در آبیاری شیاری به دلیل زمان آبیاری بیش از حد و دبی بیش از اندازه بوده است. برای به حداقل رساندن این تلفات روش‌های مختلفی نظیر روش کاهش دبی (Brosz and Wierama, 1971; Butista et al., 1993) روش‌های متناوب یا سرج (Coolidge et al., 1982; Izadi et al., 1985; Izadi et al., 1991) روش استفاده مجدد از رواناب انتهایی (مصطفی‌زاده و موسوی، ۱۳۷۵) و روش آبیاری کابلی (نیریزی و همکاران، ۱۳۷۶) پیشنهاد شده است. در نتیجه تلفات عمقی نه تنها مقدار زیاد آب به هدر می‌رود بلکه گاهی به گیاهان نیز صدمه وارد می‌شود. برای جلوگیری از وجود چنین مشکلات باید به گونه‌ای عمل کرد که روش آبیاری سطحی به نحو مطلوب طراحی و اجرا گردد. تحقیقات بورلی^۲ و همکاران (۱۹۸۲) نشان داد که سرعت پیشروی جریان آب در جویچه تثبیت شده ۴۰ درصد بیشتر از جویچه معمولی می‌باشد. لذا فرصت نفوذ در طول یک جویچه تقریباً یکسان شده و بدین ترتیب می‌توان انتظار یکنواختی توزیع بالا را داشت. گالیناتو^۳ (۱۹۷۴) سیستم آبیاری شیاری و نواری را مورد ارزیابی و مقایسه قرار داد و این دو سیستم را از نظر راندمان - نفوذپذیری - تلفات نفوذ عمقی و رطوبت خاک مورد مطالعه و ارزیابی قرار داد. راندمان واقعی در آبیاری نواری ۲۴ درصد و در آبیاری شیاری ۵۱ درصد بدست آمد. سهرابی و کشاورز بازده کاربرد آب آبیاری شیاری سه مزرعه چغندرقد در شهریار، هشتگرد و کمال آباد را به ترتیب ۱۱، ۵۷ و ۴۱ درصد اعلام کردند (Sohrabi and Keshavarz, 1994). وزارت کشاورزی ایالات متحده (USDA) برای طرح‌هایی که به خوبی اجرا شده‌اند و چند سالی از بهره‌برداری آنها گذشته است بازده آبیاری جویچه‌ای را در خاک‌های سبک حدود ۵۵ درصد و در خاک‌های با بافت سنگین حدود ۶۰ درصد و سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) بازده کاربرد را در آبیاری جویچه‌ای از ۵۵ تا ۷۰ درصد گزارش کرده است (Criddle, 1956).

ایزدی و همکاران (۱۹۹۱) بازده کاربرد آب در یک مزرعه نیشکر در آمریکا را، که به طریق جویچه‌ای آبیاری می‌شد برای سه حالت آبیاری بصورت پیوسته (سنتی)، آبیاری به روش کاهش دبی و آبیاری به روش متناوب بررسی نمودند و نتیجه گرفتند که در روش‌های کاهش دبی و متناوب، صرفه‌جویی در آب مصرفی، در مقایسه با روش سنتی حدود ۵ تا ۷ درصد بیشتر است. مطالعات گارتون^۴ (۱۹۶۶) نشان داد که در روش کاهش دبی با صرفه‌جویی در آب انتقال یافته به جویچه‌ها می‌توان تعداد بیشتری از آنها را آبیاری کرد. باتیستا و والندر^۵ (۱۹۹۳) اظهار داشتند که زمان کاهش دبی روی بازده کاربرد و یکنواختی توزیع آب در سیستم آبیاری جویچه‌ای تأثیر می‌گذارد و هنگامی که جریان ورودی پس از رسیدن آب به انتها کاهش داده شود نتایج رضایت‌بخش است. شمعی و همکاران (۱۳۷۵) نیز بازده آبیاری شیاری در اراضی یکپارچه و پراکنده‌ی استان چهارمحال و بختیاری را مورد ارزیابی قرار دادند. آنها بازده کاربرد آب آبیاری در ابتدای فصل رشد را ۲۵/۸ درصد، بازده کاربرد آب در زمین‌هایی که کم آبیاری شده‌اند ۶۳/۵ درصد و بازده کاربرد آب در زمین‌هایی که بطور کامل آبیاری شدند را ۴۳/۳ درصد برآورد نمودند. آنها اظهار داشتند که بازده کاربرد آب در اراضی پراکنده بیشتر از اراضی یکپارچه است. بنی‌عباسی (۱۳۷۳) اظهار داشت که اراضی آبخور شبکه مدرن درودزن در استان فارس در سال ۷۰-۱۳۶۹ دارای راندمان آبیاری ۳۶ درصد بوده و در سال ۷۱-۱۳۷۰ مقدار آن به ۴۹ درصد رسیده و این افزایش مقدار راندمان (به میزان ۱۳ درصد) نشان دهنده مدیریت بهتر در توزیع و مصرف آب بوسیله مدیریت شرکت بهره‌برداری می‌باشد. در تحقیق دیگری که توسط جوان^۶ و همکاران (۲۰۰۲) انجام شد،

¹ Thoms² Borrelli³ Galinato⁴ Garton⁵ Butista and Wallender⁶ Javan

عملکرد تحویل آب در این شبکه در دو فصل خشک و مرطوب تجزیه و تحلیل شده است. راندمان کل پروژه در حدود ۴۶ درصد بدست آمد. هم‌چنین اعلام شد که میزان تحویل نامطمئن آب در هر دو فصل خشک و مرطوب در حدود ۲۰ درصد کل آب تحویلی است. علاوه بر این اظهار کردند که عدالت در توزیع (تقسیم منصفانه) آب در طول کانالهای درجه ۳ ضعیف بود که این امر را می‌توان به مدیریت ناصحیح سازه‌های هیدرولیکی در سیستم تحویل آب نسبت داد. احتشامی و همکاران (۱۳۷۹) متوسط راندمان انتقال و توزیع در شرق شبکه قزوین را به ترتیب ۹۰/۴۷ و ۶۰/۹ و برای غرب شبکه ۴۷/۴ و ۴۵/۴ درصد بدست آوردند که بدین ترتیب راندمان شبکه (راندمان انتقال × راندمان توزیع) در قسمت شرقی ۵۵/۱ و در قسمت غربی ۲۱/۵ درصد می‌باشد به عبارت دیگر تقریباً نیمی از آب استحصال از سد زیاران قبل از رسیدن به محل مصرف آن یعنی مزارع، تلف می‌شود. نامبردگان دلایل متعدد فنی و اجتماعی را برای این مسئله ذکر کرده‌اند. منعم و همکاران (۱۳۷۹) عملکرد شبکه آبیاری قزوین را ارزیابی کردند. مطابق نتایج بدست آمده، عملکرد سیستم از دیدگاه‌های مدیریتی، فنی، اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی به ترتیب ۶۲، ۸۲، ۶۴، ۸۴ و ۷۸ درصد می‌باشد که در طبقه خوب و بسیار خوب قرار می‌گیرد. ایشان هم‌چنین راندمان کل پروژه را ۳۰ درصد گزارش نمودند و مهمترین عامل پایین بودن آنرا پایین بودن راندمان کاربرد آب در سطح مزرعه دانسته‌اند. میرابوالقاسمی (۱۳۷۳) با انجام آزمایش‌هایی در تعدادی از شبکه‌های سنتی دشت‌های خوزستان، تبریز و کرمانشاه متوسط بازده کاربرد انتقال را بین ۲۳ تا ۵۰ درصد و متوسط بازده کاربرد آب در مزرعه را بین ۴۵ تا ۶۰ درصد و متوسط بازده کل را بین ۱۳/۵ تا ۲۲ درصد برآورد کرد. اسدی و همکاران (۱۳۷۵) در مطالعه‌ای یک ساله، بازده کاربرد آب در روش‌های آبیاری سطحی تحت مدیریت زارعین را در مناطق کرمان، اصفهان، ارومیه و گرگان مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج حاصل نشان داد که بازدهی کاربرد آب آبیاری در اکثر مزارع مورد مطالعه در حد قابل قبولی نبوده و مقادیر آن در طول فصل زراعی متغیر بوده است. آنها هم‌چنین حداقل راندمان کاربرد آب مربوط به مزارع گندم و چغندر قند در مناطق اصفهان و کرمان به ترتیب ۱۶/۷ و ۱۷/۵ و حداکثر بازدهی کاربرد آب را در مزارع چغندر قند و گوجه فرنگی در منطقه مشهد و ارومیه به ترتیب ۵۲/۸ و ۶۴/۹ درصد گزارش نمودند. نتایج کانونی (۱۳۸۶) نشان داد که متوسط راندمان‌های آبیاری در اکثر مزارع مطالعه شده نسبت به عوامل متعددی از قبیل مدیریت مزارع، طول شیب قطعات، خصوصیات فیزیکی خاک، نوع محصول و عوامل دیگر متغیر است. حداقل راندمان کاربرد آب در مزرعه ذرت ۶/۹ و حداکثر آن ۹۳/۴ و بطور متوسط ۴۵ درصد برآورد شده است. متوسط راندمان کاربرد آب در مزرعه ذرت تحت مدیریت بخش دولتی ۲۴/۹ درصد و در مزرعه ذرت تحت مدیریت بخش خصوصی ۶۵/۳ درصد بدست آمده است. هم‌چنین حداقل راندمان کاربرد آب در مزرعه چغندر قند ۷/۸ و حداکثر آن ۸۴/۵ و بطور متوسط ۴۹/۲ درصد محاسبه شد. متوسط راندمان کاربرد آب در مزرعه چغندر قند تحت مدیریت بخش دولتی ۶۲/۷ درصد و در مزرعه چغندر قند بخش خصوصی ۳۵/۶ درصد برآورد شد.

طایفه رضایی و همکاران (۱۳۸۲) بازده کاربرد آب را در ۲۱ مزرعه در سال‌های ۱۳۷۴-۱۳۷۸ در استان‌های آذربایجان غربی، کرمان و خوزستان (تحت مدیریت کشاورزان) ارزیابی و اعلام کردند که بازده کاربرد آبیاری بسته به مدیریت زارع، روش آبیاری، نوع محصول، و عوامل دیگر متغیر است. متوسط بازده‌های کاربرد آب حداقل ۱۸ درصد (مربوط به مزرعه کاهو در شبکه ذر) و حداکثر آن ۹۵ درصد (مربوط به مزرعه گندم با آب رودخانه در منطقه ارومیه) بوده است. متوسط راندمان کاربرد آب در مزارع تحت مطالعه در استان آذربایجان غربی حداقل ۳۶ و حداکثر ۹۵ درصد، در مزارع کرمان ۳۱ و ۷۸ درصد و در مزارع منطقه دزفول (شبکه ذر)، به ترتیب ۱۸ و ۵۶ درصد بوده است. نتایج نشان داد که مدیریت و روش آبیاری، طول جویچه و نوار، شیب مزرعه، و بافت خاک تأثیر بسزایی در افزایش بازده کاربرد آب در مزرعه دارند.

۳-۲- تأثیر یکنواختی سطح اراضی بر بهره‌وری آب کشاورزی

سایر تحقیقات نیز نشان داده است که خاک‌ورزی یکی از مهم‌ترین عملیات زراعی در کشت گیاهان است که برخی از اهداف آن عبارت است از: ایجاد شرایط مطلوب برای جوانه‌زنی بذر و رشد ریشه، نفوذ سریع رطوبت و ابقای آن، ظرفیت کافی هوا و تبادل آن در داخل خاک، کنترل علف‌های هرز و سامان‌دهی بقایای گیاهی است (اسکندری، ۱۳۸۱؛ اسکندری و همت، ۱۳۸۲؛ روزبه، ۱۳۷۸؛ شفیع، ۱۳۷۱). ادوات خاک‌ورزی می‌بایست عملیات تهیه بستر مناسب جهت جوانه‌زنی و رشد ریشه را با حداقل مصرف انرژی انجام داده، به نحوی که شرایط نهایی خاک در حد مطلوب و قابل قبول باشد (صلح‌جو و همکاران، ۱۳۸۰). بیش از نیمی از انرژی مورد نیاز برای تولید محصولات کشاورزی صرف عملیات خاک‌ورزی می‌گردد لذا به همین دلیل در سال‌های اخیر کم‌خاک‌ورزی مورد توجه قرار گرفته است. کم‌خاک‌ورزی با مصرف انرژی کمتر، شرایط مطلوب‌تر فیزیکی و آبی برای تغذیه گیاه فراهم کرده و فعالیت میکروفلور که در سنتز هوموس شرکت می‌نماید را افزایش می‌دهد (ظریف‌نشاط، ۱۳۸۲). روزبه و دهقانیان (۱۳۸۳) در منطقه داراب فارس طی تحقیقی واکنش گیاه پنبه را به شکستن لایه متراکم خاک و دوره‌های متغیر آبیاری بررسی کردند. در این بررسی فاکتور خاک‌ورزی دارای دو سطح: الف- زیرشکنی + شخم با گاوآهن برگردان‌دار و ب- فقط شخم با گاوآهن برگردان‌دار بود. ایشان گزارش کردند که استفاده از زیرشکن عملکرد محصول را افزایش داد ولی اختلاف دو روش از نظر آماری معنی‌دار نشد. جونز^۱ و همکاران (۱۹۸۷، ۱۹۸۸، ۱۹۹۶) بیان داشتند که فشردگی می‌تواند از صفر تا ۶۰٪ عملکرد محصول را کاهش دهد. قبل از انجام عملیات زیرشکنی باید از وجود لایه فشرده مانع نفوذ ریشه، مطمئن شد. اگر ریشه‌ها به زیر لایه فشرده شده نفوذ کرده باشند احتمالاً این لایه قابلیت محدودکنندگی عملکرد را ندارد. همچنین ایشان گزارش کردند که در حدود ۴۰٪ زمین‌های کشاورزی نبراسکا در عمق ۳۰ سانتیمتر دچار فشردگی است که فقط در ۱۰٪ آن، فشردگی باعث کاهش عملکرد می‌گردد. خلیلیان (۱۹۸۳) در ایالات متحده پنج تیمار خاک‌ورزی شامل گاوآهن برگردان‌دار، چیزل، کولتیواتور مزرعه، دیسک و بیلچه باریک را برای پنبه مقایسه کردند. رطوبت خاک و شاخص مخروط خاک قبل و بعد از خاک‌ورزی و بعد از برداشت تعیین شد. نتایج نشان داد که شخم با گاوآهن برگردان‌دار و چیزل از نظر آماری عملکرد یکسانی داشتند و عملکرد آن‌ها ۴۵٪ از سه تیمار دیگر بیشتر بود.

شرایط خاص اقلیمی ایران، خشکی و پراکنش نامناسب زمانی- مکانی بارندگی، واقعیت گریزناپذیری است که هرگونه تولید مواد غذایی و کشاورزی پایدار را منوط به استفاده‌ی صحیح و منطقی از منابع محدود آب کشور نموده است. راندمان پایین کاربرد آبیاری و عدم یکنواختی مناسب پخش آب در آبیاری، باعث کاهش عملکرد و کارایی مصرف آب می‌شوند (Warrick and Mantovani et al., 1995; Yates, 1983; Letey et al., 1984). در مجموع با توجه به اهمیت اراضی فاریاب در تأمین غذایی، تلاش در جهت کاهش مصرف آب، افزایش تولید در واحد سطح و افزایش بهره‌وری این مزارع توجه جدی می‌طلبد.

۲-۴- روش‌های افزایش بهره‌وری آب کشاورزی

شرایط خاص اقلیمی ایران، خشکی و پراکنش نامناسب زمانی- مکانی بارندگی، واقعیت گریزناپذیری است که هرگونه تولید مواد غذایی و کشاورزی پایدار را منوط به استفاده‌ی صحیح و منطقی از منابع محدود آب کشور نموده است. در مجموع با توجه به اهمیت اراضی فاریاب در تأمین غذایی، تلاش در جهت کاهش مصرف آب، افزایش تولید در واحد سطح و افزایش بهره‌وری این مزارع توجه جدی را می‌طلبد (Dehghanisanij, 2012).

بررسی منابع نشان می‌دهد که به‌کارگیری تکنیک‌های مختلف می‌تواند منجر به کاهش مصرف آب و افزایش بهره‌وری شود، که می‌توان به مواردی از جمله، اصلاح روش‌های آبیاری، روش‌های نوین آبیاری، انواع روش‌های خاک‌ورزی، استفاده از بذور

¹ Jones

مختلف، کودهای ماکرو و میکرو، خاک پوشه‌ها و ... اشاره نمود. بررسی‌های اولیه بر روی کاربرد تکنیک‌های مختلف به‌نژادی و به‌زراعی در حوضه دریاچه ارومیه (دهقانی و همکاران، ۱۳۹۵) نشان داده است که: ۱- اجرای طرح «همکاری در احیاء دریاچه ارومیه از طریق مشارکت جوامع محلی در استقرار کشاورزی پایدار و حفاظت از تنوع زیستی در معرض خطر» و حضور کارشناسان شرکت‌های مجری طرح توانسته است در ارتقا مدیریت به‌زراعی و به‌نژادی در مزارع گندم در پایلوت ارومیه، سلماس، میاندوآب و مهاباد مؤثر باشد، لذا اجرا و توسعه آن در مناطق شرق و غرب دریاچه ارومیه توصیه می‌شود. ۲- تکنیک‌های معرفی‌شده توسط طرح توانسته است صفر تا ۵۰ درصد آب تحویلی به مزارع (برداشت از منابع) را کاهش دهد. کاربرد صحیح تکنیک‌ها در مناطق می‌تواند منجر به کاهش بیشتر آب ورودی به مزارع باشد. ۳- بعضی از تکنیک‌ها مانند کاربرد کود زیستی، اگرچه منجر به کاهش برداشت آب از منبع نسبت به شاهد نشده است، لیکن توانسته است مدیریت آبیاری در مزرعه را ارتقاء دهد. ۴- عدم اجرای تمامی تکنیک‌های پیشنهادی در یک مزرعه اثربخشی سایر تکنیک‌ها ظاهر نشود. بر همین اساس شناسایی تکنیک‌های مختلف و مورد نیاز یک مزرعه و کاربرد تمامی آنها برای یک فصل زراعی توصیه می‌شود. ۵- مدیریت تخصیص آب در شبکه‌های آبیاری از عوامل مؤثر بر اثربخشی تکنیک‌ها است که در برنامه‌های منطقه‌ای باید موردتوجه باشد. ۶- در مزارع مورد پایش، زمان آبیاری و مقدار آب آبیاری در هر نوبت، تابعی از مراحل رشد گیاه نبود. این امر باعث می‌شود حتی در شرایطی که معادل نیاز واقعی، آب به مزرعه وارد شده است، نیاز آبی گیاه تأمین نشده، ضمن اینکه تلفات نفوذ عمقی افزایش و بهره‌وری کاهش داشته است. آموزش و توجه به مدیریت آبیاری در این مزارع منجر به اثربخشی بیشتر تکنیک‌ها و اطمینان از تأمین نیاز واقعی گیاه و افزایش راندمان کاربرد آب در مزرعه می‌شود. ۷- زمان آبیاری، مدت‌زمان آبیاری و مقدار آب ورودی به مزرعه از شاخص‌های مهم در مدیریت آبیاری است. متفاوت بودن این شاخص‌ها در مزارع تیمار و شاهد که ناشی از مسائل فرهنگی و دیدگاه‌های تجربی است، اثربخشی تکنیک‌ها را تحت تأثیر قرار داده است. آشنایی با زمان، مقدار و مکان آبیاری تحت عنوان مدیریت آبیاری از تکنیک‌های مهم در صرفه‌جویی آب است. لذا ضرورتاً توصیه می‌شود توسعه آموزش و کاربرد آن در سال سوم پروژه مورد توجه قرار گیرد. بر همین اساس اجرای دوره آموزشی مدیریت آبیاری برای کلیه شرکت‌های منطقه غرب و شرق دریاچه توصیه می‌شود. ۸- کاربرد تکنیک‌های آماده‌سازی زمین توانست در کاهش مقدار آب ورودی به مزارع مفید باشد. آموزش و کاربرد دقیق آن در مزارع کانون‌ها توصیه می‌شود.

فصل سوم

روش‌شناسی

اطلاعات بر اساس فعالیت‌های صورت گرفته در سال زراعی ۱۳۹۴-۹۵ بر روی کشت‌های پاییزه و بهاره در کانون‌های هدف شامل بناب، عجب‌شیر، اسکو و آذرشهر و ارومیه برداشت شد. مزارع انتخابی با هماهنگی با کارفرما و با تأکید بر تنوع منبع تأمین آب (سطحی و زیرزمینی) و تکنیک‌های فنی کشاورزی، انتخاب گردید. هر مزرعه بر اساس تنوع فناوری، شرایط مزرعه و همکاری زارع به دو بخش یا بیشتر تقسیم‌شده به‌طوری‌که امکان بررسی اثربخشی تکنیک‌ها (تیمارهای آزمایشی) با مدیریت مرسوم کشاورز (تیمار شاهد) ممکن باشد. برای انتخاب مزارع مورد پایش برای انجام آزمایش‌ها ابتدا لیست تمامی مزارع هدف، از شرکت‌های فنی و مهندسی که در سطح استان فعال هستند اخذ گردید. پس از دریافت اطلاعات مزارع، از مزارع تحت فعالیت شرکت‌ها به‌صورت میدانی بازدید به‌عمل‌آمده و از بین آن‌ها برای انجام آزمایش‌ها پایش، انتخاب گردید.

۳-۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز دریاچه ارومیه دارای مساحت تقریبی ۵۱۸۷۶ کیلومترمربع است. این حوضه آبریز در سه استان آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی و کردستان واقع شده است. اطلاعات تحقیق حاضر از مزارع تحت مدیریت کشاورزان سه شهرستان بناب، عجب‌شیر، اسکو و آذرشهر واقع در حوضه شرقی دریاچه ارومیه در استان آذربایجان شرقی و شهرستان ارومیه در استان آذربایجان غربی در سال زراعی ۱۳۹۴-۱۳۹۵ برداشت گردیده است.

۳-۱-۱- بناب

شهرستان بناب با وسعت ۷۷۹ کیلومترمربع در ۱۲۰ کیلومتری تبریز واقع شده است و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۲۹۰ متر است. این شهرستان از سمت شمال با شهرستان عجب‌شیر، از سمت شرق با شهرستان مراغه، از سمت غرب با دریاچه ارومیه و از سمت جنوب با شهرستان ملکان و استان آذربایجان غربی هم‌مرز است. شهرستان بناب در جلگه‌ای صاف و هموار قرار گرفته که از طرف شرق به پیش کوه‌های غربی سه‌هند (قزل داغ، قاشق‌داغ و گوپشتی) و از غرب به سواحل پست دریاچه ارومیه محدود

می‌گردد. شهرستان بناب از محدود شهرهایی است که نزدیک‌ترین فاصله از دریاچه ارومیه داشته و آب‌وهوای آن تحت‌الشعاع این دریاچه قرار می‌گیرد. تکنیک‌های پیشنهادی به زارعین، در تعدادی از مزارع روستاهای این شهرستان اجرا گردید.

۳-۱-۲- عجب‌شیر

شهرستان عجب‌شیر با وسعت ۷۳۸ کیلومترمربع در ۱۰۰ کیلومتری تبریز واقع شده و از سمت شمال با شهرستان‌های اسکو و آذرشهر، از سمت شرق با شهرستان مراغه، از سمت غرب با دریاچه ارومیه و از سمت جنوب با شهرستان بناب هم‌مرز است. این شهرستان در منطقه کوهستانی واقع شده و دارای تابستان‌های معتدل و زمستان‌های سرد و برفی است. ارتفاع این شهرستان از سطح آزاد دریا ۱۴۷۸ متر بوده و دارای زمین‌های حاصلخیز و پر محصول و مستعد کشاورزی است و قسمتی از اراضی در نواحی دریاچه ارومیه در منطقه شوره‌زار و پست واقع شده است. تکنیک‌های پیشنهادی به زارعین، در تعدادی از مزارع روستاهای این شهرستان اجرا گردید.

۳-۱-۳- اسکو

شهرستان اسکو با وسعت ۱۷۶۳ کیلومترمربع در ۳۰ کیلومتری تبریز واقع شده است و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۴۵۰ متر است. این شهرستان از سمت شمال با شهرستان شبستر، از سمت شرق با شهرستان تبریز، از سمت غرب با دریاچه ارومیه و از سمت جنوب با شهرستان آذرشهر هم‌مرز است. این شهر به مانند سایر شهرهای آذربایجان دارای تابستان کوتاه و ملایم و زمستان‌های سرد و طولانی است. بارندگی آن بیشتر در فصول سرد سال بوده و تابستان‌های آن خشک و گاهی با بارندگی‌های رگباری است. تکنیک‌های پیشنهادی به زارعین، در تعدادی از مزارع واقع در روستاهای بخش ایلخچی، شهرستان اسکو اجرا گردید.

۳-۱-۴- آذرشهر

آذرشهر یکی از شهرستان‌های استان آذربایجان شرقی است که در شرق دریاچه ارومیه واقع شده و از شمال به شهرستان اسکو و از جنوب به شهرستان عجب‌شیر محدود شده است. مزارع کشاورزی این شهرستان یکی از کانون‌های مورد توجه در طرح "همکاری در احیای دریاچه‌ی ارومیه از طریق مشارکت جوامع محلی در استقرار کشاورزی پایدار و حفاظت از تنوع زیستی" بوده و تکنیک‌های پیشنهادی به زارعین، در تعدادی از مزارع روستاهای این شهرستان اجرا گردیده است. آذرشهر در ۴۵ درجه و ۸۵ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۴۶ دقیقه‌ی عرض شمالی و در ارتفاع ۱۴۶۸ متری از سطح دریا قرار گرفته است. متوسط بارش‌های سالانه این شهرستان ۲۲۰ تا ۲۵۰ میلی‌متر و دارای آب‌وهوای سرد و خشک است.

۳-۱-۵- ارومیه

شهرستان ارومیه مرکز استان آذربایجان غربی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه است. اراضی زراعی و باغی آن در مقایسه با منابع آب آن متناسب بوده و شاهد افت شدید سطح آب چاه‌ها در این شهرستان نیستیم. نواحی و روستاهای مجاور رودخانه‌ها و انهار منشعب از رودخانه‌ها از نظر منابع آب سطحی و زیرزمینی در وضعیت مساعدی به سر می‌برند اما نواحی دور از آب‌های سطحی نظیر اراضی حاشیه دامن‌ها که دور از رودخانه و یا انهار هستند از نظر منابع آب آبیاری دچار مشکل شده‌اند. در این شهرستان روستای چیچکلوی منصور برای اعمال تکنیک‌ها در کشت پاییزه و بهاره انتخاب گردید.

۳-۲- مشخصات مزارع مورد مطالعه

مطالعات در ۱۰ مزرعه تحقیقاتی در حاشیه شرقی دریاچه ارومیه (استان آذربایجان شرقی) و ۱۱ مزرعه در استان آذربایجان غربی انجام گرفت (جدول ۳-۱). مزارع انتخاب‌شده آذربایجان شرقی شامل کلزا، گندم، جو و سیر بوده و برداشت اطلاعات مزرعه‌ای از تاریخ ۹۴/۱۲/۲۴ تا تاریخ ۹۵/۴/۲۱ صورت گرفت. مزارع انتخاب‌شده آذربایجان غربی، ۶ مزرعه گندم، ۲ مزرعه ذرت علوفه‌ای، ۲ مزرعه کدو آجیلی، یک مزرعه گوجه‌فرنگی و یک مزرعه آفتابگردان واقع در روستای چیچکلوی منصور با همکاری شرکت شکوفاگران نوگستر ارومیه مورد ارزیابی قرار گرفت و برداشت اطلاعات از مهر ۹۴ تا مهر ۹۵ صورت گرفته است. نتایج حاصله در جداول ۳-۱ و ۳-۲ ارائه شده است.

جدول ۳-۱- شهرستان‌های مطالعاتی و مزارع انتخاب‌شده در استان‌های آذربایجان شرقی و غربی

استان	شهرستان	روستا	مزرعه	تعداد مزارع
آذربایجان شرقی	اسکو	مهدینلو	کلزا	۲
	آذرشهر	تیمورلو	سیر	۱
	عجب‌شیر	خضرلو	کلزا	۳
	بناب	آخوند قشلاق	جو	۲
	بناب	قره چیق	گندم	۲
آذربایجان غربی	ارومیه	چیچکلوی منصور	گندم	۵
	ارومیه	چیچکلوی منصور	ذرت	۲
	ارومیه	چیچکلوی منصور	کدو آجیلی	۲
	ارومیه	چیچکلوی منصور	گوجه‌فرنگی	۱
	ارومیه	چیچکلوی منصور	آفتابگردان	۱

۱۰ مزرعه انتخاب‌شده آذربایجان شرقی شامل مزارع شاهد و تیمار و ۱۱ مزرعه انتخاب‌شده آذربایجان غربی شامل مزارع تیمار می‌باشند. مزارع شاهد درواقع مزارعی است که به شیوه غالب منطقه و تحت مدیریت کشاورز، زراعت در آن‌ها کشت‌شده و مزارع تیمار مزارعی است که مجموع تکنیک‌های مهندسی به‌منظور کاهش آب ورودی به مزرعه در آن‌ها اتخاذ شده است. این تکنیک‌ها شامل تغییر رقم گیاه، بهینه کردن طول و عرض کرت‌ها، مدیریت خاک‌ورزی، تغییر میزان و نوع کود مصرفی و... است (جدول ۳-۲). در بخش تکنیک‌های اعمال‌شده مواردی است که توسط شرکت‌ها گزارش شده است. ابعاد کرت‌ها و مساحت‌ها با استفاده از GPS اندازه‌گیری شده است.

جدول ۳-۲- مشخصات مزارع مورد مطالعه- استان آذربایجان شرقی

کد مزرعه	مزرعه	موقعیت جغرافیایی	نام زارع	نوع مزرعه	ابعاد کرت‌ها (m)	مساحت مزرعه (m ²)	تکنیک‌های به‌کاررفته
W1	گندم	بناب - قره چیق	رستمیان	تیمار	۳۱/۵۶×۳/۷	۷۹۹۷/۲	استفاده از خاک‌ورزی حفاظتی، تسطیح مناسب زمین، استفاده از کود حیوانی، کوچک کردن ابعاد کرت‌ها (قبلاً ۵×۴۰ و اکنون ۳×۲۵) استفاده از کود زیستی
W2	گندم	بناب - قره چیق	بابائیان	شاهد	۴۷×۳/۸	۸۲۶۴	کشت سنتی
B1	جو	بناب-آخوند قشلاق	مراد زکی	تیمار	۲۷×۳/۳	۶۶۰۷	استفاده از خاک‌ورزی حفاظتی، تسطیح مناسب زمین، استفاده از کود حیوانی، کوچک کردن ابعاد کرت‌ها (قبلاً ۵×۵۰ و اکنون ۳×۳۰) استفاده از کود زیستی و همچنین حفظ بقایای گیاهی
B2	جو	بناب- آخوند قشلاق	برادر زکی	شاهد	۴۲/۴×۴/۷	۳۱۹۰/۱	کشت سنتی
R1	کلزا	عجب‌شیر -خضرو	آشنایی	تیمار	۲۹/۱×۳/۵	۴۱۰۴	کوچک کردن ابعاد کرت‌ها، تسطیح مناسب زمین، استفاده از خاک‌ورزی حفاظتی و تغییر رقم
R2	کلزا	عجب‌شیر -خضرو	سعیدی‌آذر	شاهد	۱۳۵×۳/۴	۳۱۰۷/۲	بذر رقم بومی
R3	کلزا	اسکو -مهدینلو	انصاری	تیمار	۱۲/۷×۱۲	۳۰۴/۸	استفاده از کود دامی، تغییر ابعاد کرت و تسطیح مناسب زمین
R4	کلزا	اسکو -مهدینلو	انصاری	شاهد	۲۰×۱۲	۴۰۳۹/۸	عدم کاربرد کود حیوانی
G1	سیر	آذرشهر- تیمورلو	نصرتی	شاهد	-	۲۷/۵۵	بدون کود
G2	سیر	آذرشهر- تیمورلو	نصرتی	تیمار	-	۲۹/۶	تسطیح زمین، استفاده از کود ورمی‌کمپوست
G3	سیر	آذرشهر- تیمورلو	نصرتی	تیمار	-	۲۹/۹۲	تسطیح زمین، استفاده از مخلوط کود مرغی و ورمی‌کمپوست
G4	سیر	آذرشهر- تیمورلو	نصرتی	تیمار	-	۳۰/۷	تسطیح زمین، استفاده از فسفات آمونیوم

ادامه جدول ۳-۲- مشخصات مزارع مورد مطالعه- استان آذربایجان غربی

کد مزرعه	مزرعه	موقعیت جغرافیایی	نام زارع	نوع مزرعه	مساحت مزرعه (ha)	تکنیک‌های به کار رفته
W3	گندم	ارومیه - چیچکلوی منصور	یحیی ابراهیمی	تیمار	۰/۲۴	کم‌خاک‌ورزی، استفاده از گاوآهن برگردان دار، کولتیواتور دو بار، آزمون خاک، کود مایع آگروهیومیک به صورت بذر مال، کود پودری مایکوروت به صورت بذر مال، اوره هنگام کاشت با دستگاه، اوره سرک قبل بارندگی، محلول پاشی با ریزمغذی‌ها
W4	گندم	"	قهرمان اصغری	تیمار	۰/۳۹	کم‌خاک‌ورزی، استفاده از رتیواتور، آزمون خاک، کود مایع آگروهیومیک به صورت بذر مال، کود پودری مایکوروت به صورت بذر مال، اوره هنگام کاشت با دستگاه، اوره سرک قبل بارندگی، محلول پاشی با ریزمغذی‌ها
W5	گندم	"	محمد اصغری	تیمار	۰/۳۹	کم‌خاک‌ورزی، استفاده از گاوآهن برگرداندار، رتیواتور، کولتیواتور آزمون خاک، کود مایع آگروهیومیک به صورت بذر مال، کود پودری مایکوروت به صورت بذر مال، اوره هنگام کاشت با دستگاه، اوره سرک قبل بارندگی، محلول پاشی با ریزمغذی‌ها
W6	گندم	"	جمشید باقرزاده	تیمار	۱/۳	کم‌خاک‌ورزی، استفاده از گاوآهن برگرداندار، کولتیواتور دو بار، آزمون خاک، کود مایع آگروهیومیک به صورت بذر مال، کود پودری مایکوروت به صورت بذر مال، اوره هنگام کاشت با دستگاه، اوره سرک قبل بارندگی، محلول پاشی با ریزمغذی‌ها
W7	گندم	"	احمد هوشیار	تیمار	۱	کم‌خاک‌ورزی، استفاده از گاوآهن برگرداندار، رتیواتور، لولر، آزمون خاک، کود مایع آگروهیومیک به صورت بذر مال، کود پودری مایکوروت به صورت بذر مال، اوره هنگام کاشت با دستگاه، اوره سرک قبل بارندگی، محلول پاشی با ریزمغذی‌ها

ادامه جدول ۳-۲- مشخصات مزارع مورد مطالعه - استان آذربایجان غربی

کد مزرعه	مزرعه	موقعیت جغرافیایی	نام زارع	نوع مزرعه	مساحت مزرعه (ha)	تکنیک‌های به‌کاررفته
C1	کدو آجیلی	"	قهرمان اصغری	تیمار	۰/۴۳	کم‌خاکورزی، استفاده از گاوآهن برگرداندار در پاییز، رتیواتور قبل از کشت، آزمون خاک، کود مایع آگروهیومیک و کود پودری مایکوروت به صورت بذرمال، اوره قبل از کاشت
C2	کدو آجیلی	ارومیه - چیچکلوی منصور	شمس علی فتح اله‌زاده	تیمار	۰/۹	کم‌خاکورزی، استفاده از گاوآهن برگرداندار در پاییز، رتیواتور قبل از کشت، آزمون خاک، کود مایع آگروهیومیک به صورت بذرمال، کود پودری مایکوروت به صورت بذرمال، اوره قبل از کاشت
S	آفتاب‌گردان	"	اکبر باقرزاده	تیمار	۱/۲	کم‌خاکورزی، استفاده از گاوآهن برگرداندار در پاییز، کولتیواتور قبل از کشت، آزمون خاک، کود مایع آگروهیومیک به صورت بذرمال، کود پودری مایکوروت به صورت بذرمال، اوره قبل از کشت، سوپر فسفات تریپل قبل کاشت
T	گوجه‌فرنگی	"	فردین ابراهیمی	تیمار	۰/۳۶	کم‌خاکورزی، استفاده از گاوآهن برگرداندار در پاییز، کولتیواتور قبل از کشت، آزمون خاک، کود مایع آگروهیومیک به صورت آغشته کردن ریشه، کود مرغی، کود حیوانی، سوپر فسفات تریپل
M1	ذرت	"	احمد هوشیار	تیمار	۰/۴۴	کم‌خاک‌ورزی، استفاده از کولتیواتور، آزمون خاک، استفاده از کود بیولوژیک آگروهیومیک (بذرمال)، کرت بندی اصولی مزرعه، کشت با ردیف‌کار پنوماتیک
M2	ذرت	"	قهرمان اصغری	تیمار	۰/۲۲	آزمون خاک، کم‌خاک‌ورزی، ضد عفونی بذور، کشت با ردیف‌کار پنوماتیک، رعایت تاریخ کاشت، کرت بندی اصولی مزرعه،

۳-۳- شناسایی و انتخاب مزارع

۳-۳-۱- استان آذربایجان شرقی

در بازدیدهای مختلف از مزارع پروژه در شهرستان‌های استان آذربایجان شرقی که با هماهنگی با دفتر طرح حفاظت از تالاب‌های ایران و شرکت‌های مهندسی و مشاور کشاورزی انجام شد، از کلیه مزارع تحت پایش در ۴ شهرستان بازدید گردید و پس از برداشت اطلاعات اولیه و اطلاعات دریافتی از شرکت‌ها و همچنین جهت امکان‌پذیری پایش وضعیت مزارع موردبررسی قرار گرفته و در نهایت مزارع انتخابی برای پایش نهایی شد (جدول ۳-۳). امکان‌پذیری پایش از نظر وجود مزرعه تیمار و شاهد در یک مکان و تحت مدیریت یک کشاورز بود. در مجموع مطالعات صحرایی بر روی ۱۰ سایت تحقیقاتی از تاریخ ۹۵/۱/۲۰ با حضور در منطقه آغاز گردید.

۳-۳-۲- استان آذربایجان غربی

معیار انتخاب مزارع جهت برآورد راندمان کاربرد آب بر اساس روش آبیاری، مشخصات خاک، مشخصات فیزیکی و هندسه‌ی زمین، نوع کشت، مدیریت زارعین و منبع تأمین آب انجام می‌شود. ابتدا منطقه بررسی و بر اساس نقشه‌های آبیاری و خاکشناسی موجود و اطلاعات کارشناسان شرکت بهره‌برداری، واحدهای زراعی و باغی بازدید و بر اساس معیارهای فوق‌الذکر تعداد ۱۱ سایت انتخاب گردید (جدول ۳-۴). پنج مزرعه در منطقه چیچک‌کوی منصور (حوضه آبریز نازلوچای) به عنوان پایش اصلی در پاییز و شش مزرعه در بهار در نظر گرفته شد. در این راستا به منظور لحاظ نمودن تأثیر خاک، مدیریت آبیاری و نوع محصولات در برآورد راندمان کاربرد، مزارع در بخش‌های مختلف به علت تنوع خاک شناسایی گردید. در مناطق منتخب انتهای مزارع در آبیاری نواری بسته بوده و آب برگشتی وجود ندارد.

۳-۴- اندازه‌گیری پارامترهای صحرایی

پارامترهای صحرایی شامل مواردی است که در مزارع مورد مطالعه به صورت میدانی برداشت گردید، مانند پایش دوره‌ای رطوبت خاک در اعماق مختلف، اندازه‌گیری حجم آب ورودی به مزرعه، برداشت پارامترهای گیاهی، اندازه‌گیری چگالی ظاهری خاک، برداشت نمونه خاک به منظور به دست آوردن مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک، برداشت نمونه آب آبیاری، تعیین مساحت مزرعه و ابعاد کرت.

۳-۴-۱- اندازه‌گیری حجم آب ورودی به مزارع

میزان حجم آب ورودی به مزارع به دو روش انجام گرفت که در ادامه توضیح داده می‌شود. همچنین حجم و عمق آبیاری دفعاتی که به دلیل عدم حضور در منطقه و یا عدم اطلاع‌رسانی کشاورز از زمان آبیاری، برداشت نشده بود، متناسب با میانگین حجم و عمق آبیاری‌های اندازه‌گیری شده لحاظ گردید. مشخصات آبیاری مزارع مورد مطالعه استان آذربایجان شرقی و آذربایجان غربی شامل تعداد دفعات آبیاری هر مزرعه و تعداد آبیاری‌هایی که حجم آن‌ها اندازه‌گیری شده است در جداول ۳-۳ و ۳-۴ نشان داده شده است.

جدول ۳-۳- مشخصات آبیاری مزارع مورد مطالعه استان آذربایجان شرقی

مزرعه	کد مزرعه	موقعیت جغرافیایی	نام زارع	نوع مزرعه	دفعات آبیاری	آبیاری‌ها اندازه‌گیری شده
گندم	W1	بناب - قره چیق	رستمیان	تیمار	۴	۴
گندم	W2	بناب - قره چیق	بابائیان	شاهد	۴	۴
جو	B1	بناب- آخوند قشلاق	مراد زکی	تیمار	۳	۲
جو	B2	بناب- آخوند قشلاق	برادر زکی	شاهد	۳	۲
کلزا	R1	عجب شیر - خضرو	آشنایی	تیمار	۵	۳
کلزا	R2	عجب شیر - خضرو	سعیدی‌آذر	شاهد	۴	۲
کلزا	R3	اسکو- مهدینلو	انصاری	تیمار	۵	۱
کلزا	R4	اسکو - مهدینلو	انصاری	شاهد	۵	۱
سیر	G	آذرشهر - تیمور لو	نصرتی	تیمار/ شاهد	۷	۴

جدول ۴-۳- مشخصات آبیاری مزارع مورد مطالعه استان آذربایجان غربی

مزرعه	کد مزرعه	موقعیت جغرافیایی	نام زارع	نوع مزرعه	دفعات آبیاری	آبیاری‌ها اندازه‌گیری شده
گندم	W3	ارومیه- چیچکلوی منصور	یحیی ابراهیمی	تیمار	۴	۳
گندم	W4	"	قهرمان اصغری	تیمار	۴	۳
گندم	W5	"	محمد اصغری	تیمار	۴	۳
گندم	W6	"	جمشید باقرزاده	تیمار	۴	۳
گندم	W7	"	احمد هوشیار	تیمار	۵	۴
کدو آجیلی	C1	"	قهرمان اصغری	تیمار	۳	۳
کدو آجیلی	C2	"	شمس‌علی فتح‌اله‌زاده	تیمار	۶	۶
آفتابگردان	S	"	اکبر باقرزاده	تیمار	۴	۴
گوجه‌فرنگی	T	"	فردین ابراهیمی	تیمار	۱۰	۱۰
ذرت	M1	"	احمد هوشیار	تیمار	۷	۶
ذرت	M2	"	قهرمان اصغری	تیمار	۸	۸

۳-۴-۱-۱- تعیین حجم آب ورودی با استفاده از پارشال فلوم

آبیاری مزارع مورد مطالعه به صورت سطحی (کرتی) انجام گرفت و به دلیل بسته بودن انتهای کرت‌ها به ندرت آب از انتهای کرت‌ها خارج می‌شد. برای اندازه‌گیری حجم آب ورودی به مزرعه از فلوم‌های WSC^۱ تیپ ۲، ۴ و ۵ استفاده شد. این فلوم‌ها در ابتدای هر مزرعه قبل از آبیاری نصب شدند. فلوم‌ها در هنگام نصب در همه جهات تراز شده و به صورتی نصب شدند که از زیر و کناره‌ها، آب‌بندی شوند. همچنین محل نصب فلوم‌ها به صورتی بود که فلوم مستغرق نگردد. آب آبیاری ورودی به مزرعه تا زمان قطع جریان اندازه‌گیری می‌شد (شکل ۱-۳). معادله فلوم تیپ ۲، ۴ و ۵ به ترتیب روابط ۳-۱ تا ۳-۳ است:

$$Q = 0.0374H^{2.64} \quad (۱-۳)$$

$$Q = 0.029H^{2.102} \quad (۲-۳)$$

$$Q = 0.0232H^{2.196} \quad (۳-۳)$$

در معادلات بالا Q دبی عبوری از فلوم (لیتر در ثانیه) و H ارتفاع آب در فلوم (سانتی‌متر) است. در هر دور آبیاری ارتفاع آب عبور یافته از فلوم اندازه‌گیری شد و دبی آب ورودی به مزرعه با استفاده از روابط بالا به دست آمد (Chamberlain, 1952). لازم به ذکر است در مزارعی که کانال آبیاری درجه ۴ بزرگ بود و امکان نصب فلوم به دلیل مستغرق شدن وجود نداشت، فلوم در ابتدای یکی از کرت‌ها نصب گردید و عمق آبیاری برای یک کرت محاسبه و این عمق به کل مزرعه تعمیم داده شد. شکل ۳-۲ مربوط به مزرعه R2 بوده که به دلیل عدم امکان نصب فلوم در نهر اصلی با ایجاد نهر فرعی فلوم برای یک کرت نصب گردید. همچنین در هر آبیاری قرائت اشل فلوم به صورت لحظه‌ای انجام می‌گرفت (شکل ۳-۳).



شکل ۱-۳- اندازه‌گیری حجم آب ورودی به مزرعه توسط فلوم

^۱Washington State Cllage



شکل ۳-۲- فلوم نصب‌شده با ایجاد مسیر انحرافی (مزرعه کلزا)



شکل ۳-۳- قرائت اشل فلوم و ثبت آن به‌صورت لحظه‌ای

۳-۴-۱-۲- با استفاده از خط‌کش جت

به این صورت که بازوی بلند خط‌کش جت به‌صورت تراز، روی لوله آبدار قرار می‌گیرد، خط‌کش جابجا می‌شود تا بازوی کوتاه به آب مماس شود (شکل ۳-۴). عدد قرائت‌شده روی بازوی بلند عدد جت است که می‌توان با استفاده از این عدد دبی را برحسب مترمکعب بر ساعت طبق رابطه‌ی (۳-۴) به دست آورد. در صورتی که لوله نیمه‌پر باشد از رابطه‌ی (۳-۵) استفاده می‌کنیم.

$$Q = 0.0116 \times D^2 \times X \quad (۳-۴)$$

$$Q = 0.0116 \times D \times L \times X \quad (۳-۵)$$

که در آن D قطر داخلی لوله برحسب سانتی‌متر و X فاصله افقی برحسب سانتی‌متر و L فاصله عمودی برحسب سانتی‌متر است.



شکل ۳-۴- اندازه‌گیری دبی با استفاده از خط‌کش جت

۳-۱-۴-۳ تعیین حجم آب ورودی به مزرعه

آبیاری مزارع گندم سایت قره‌چیق شهرستان بناب توسط کانال آبرسان شبکه‌ای صورت می‌گرفت. به دلیل حجم بالای آب تحویلی به مزرعه امکان اندازه‌گیری دبی با استفاده از فلوم وجود نداشت (شکل ۳-۵)، بنابراین به‌منظور محاسبه حجم آب ورودی به مزرعه در هر نوبت آبیاری، میزان دبی آب تحلیلی به مزارع از شرکت آب منطقه‌ای استان آذربایجان شرقی اخذ گردید. درنهایت با داشتن دبی آب ورودی به مزرعه و ثبت زمان آبیاری حجم آب ورودی به مزرعه محاسبه گردید (معادله ۳-۶).

$$V = Q \times T \quad (۳-۶)$$

که در آن Q ، دبی (مترمکعب بر ساعت)، T زمان (ساعت) و V حجم آب ورودی (مترمکعب) است.



شکل ۳-۵- آبیاری مزارع گندم سایت قره‌چیق - شهرستان بناب (حجم بالای آب و عدم امکان اندازه‌گیری توسط فلوم)

۳-۴-۲- اندازه‌گیری رطوبت خاک مزارع

اندازه‌گیری رطوبت خاک مزارع هرچند روز یک‌بار توسط دستگاه رطوبت‌سنج خاک PR2 در چند نقطه از مزرعه و در عمق‌های ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۶۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری انجام گرفت (شکل ۳-۵). به‌منظور افزایش دقت کار، قرائت دستگاه از هر نقطه ۵-۶ مرتبه تکرار می‌شد و درنهایت با حذف داده‌های پرت میانگین قرائت‌های ثبت‌شده به‌منظور انجام محاسبات منظور می‌گردید. برای افزایش از اطمینان کار و همچنین کالیبره کردن دستگاه در شرایط مختلف رطوبتی مزرعه در هر نوبت علاوه بر اندازه‌گیری رطوبت با دستگاه، نمونه رطوبتی توسط اوگر^۱ در کنار یکی از نقاط لوله‌گذاری شده، برداشت می‌شد (شکل ۳-۶). همچنین در بازه ۱۴ روزه به دلیل خرابی دستگاه PR2 کلیه نقاط رطوبتی به‌صورت دستی برداشت گردید (شکل ۳-۷). وزن تر خاک نمونه‌های برداشت‌شده توسط اوگر با استفاده از ترازو قابل‌حمل در محل مزرعه اندازه‌گیری می‌شد و سپس نمونه‌های رطوبتی به‌منظور اندازه‌گیری وزن خشک و محاسبه رطوبت وزنی و حجمی به آزمایشگاه منتقل می‌شد.

به‌منظور متمایز کردن رطوبت‌های اندازه‌گیری شده توسط دستگاه رطوبت‌سنج خاک و رطوبت‌های اندازه‌گیری شده با استفاده از نمونه‌های رطوبتی برداشت‌شده توسط اوگر نمایه‌های مناسب تعریف گردید. بدین منظور در تمام متن این تحقیق رطوبت وزنی و حجمی اندازه‌گیری شده توسط دستگاه رطوبت‌سنج به‌ترتیب با نمایه‌های θ_{m-t} و θ_{v-t} و رطوبت وزنی و حجمی اندازه‌گیری شده با استفاده از نمونه‌های رطوبتی برداشت‌شده توسط اوگر، با نمایه‌های θ_{m-o} و θ_{v-o} نشان داده می‌شود (جدول ۳-۵).



شکل ۳-۶- اندازه‌گیری رطوبت خاک به‌صورت دستی

¹ Auger



شکل ۳-۷- برداشت قرائت رطوبت با دستگاه PR2

جدول ۳-۵- مشخصات پارامترهای رطوبت مزارع مورد مطالعه خاک استان آذربایجان شرقی

مزرعه	کد مزرعه	موقعیت جغرافیایی	نام زارع	نوع مزرعه	تعداد نقاط رطوبتی	دفعات برداشت نقاط رطوبتی به صورت دستی	دفعات برداشت نقاط رطوبتی با دستگاه
سیر	G	آذرشهر - تیمورلو	نصرتی	تیمار / شاهد	۶	۷	۷
گندم	W1	بناب - قره چیق	رستمیان	تیمار	۵	۱۱	۱۰
گندم	W2	بناب - قره چیق	بابائیان	شاهد	۴	۱۱	۱۰
جو	B1	بناب - آخوند قشلاق	مراد زکی	تیمار	۴	۷	۷
جو	B2	بناب - آخوند قشلاق	برادر زکی	شاهد	۳	۷	۷
کلزا	R1	عجب شیر - خضرلو	آشنایی	تیمار	۴	۱۰	۶
کلزا	R2	عجب شیر - خضرلو	سعیدی آذر	شاهد	۴	۷	۶
کلزا	R3	اسکو - مهدینلو	انصاری	تیمار	۱	۷	۷
کلزا	R4	اسکو - مهدینلو	انصاری	شاهد	۴	۷	۷

۳-۴-۱- دستگاه رطوبت سنج خاک (PR2)

یکی از روش‌های اندازه‌گیری رطوبت استفاده از روش TDR^۱ است که بر اساس خصوصیات آب از نظر ثابت دی‌الکتریک استوار است. برای تعیین رطوبت خاک در عمق‌های مختلف از وسیله‌ای به نام PR2 که عملکرد آن مبتنی بر بازتاب سنج زمانی امواج عمقی خاک یا همان TDR استفاده شد که توسط این وسیله رطوبت خاک در عمق‌های مختلف قابل اندازه‌گیری است.

^۱ Time Domain Reflectometer

۳-۴-۲- نصب لوله‌های دسترسی دستگاه رطوبت‌سنج

برای اندازه‌گیری رطوبت خاک در طول نوار آبیاری با استفاده از دستگاه رطوبت‌سنج مذکور، لوله‌های 32 PVC به طول ۱۲۰ سانتی‌متر، به‌منظور قرار گرفتن دستگاه PR2 داخل لوله، برای برآورد توزیع رطوبت در طول نوار آبیاری و نحوه نفوذ آب، در مزارع نصب شدند. با توجه به طول نوارهای آبیاری، تعداد ۳ تا ۵ عدد از لوله‌های دسترسی در یک نوار آبیاری نصب گردید.

۳-۴-۲- نحوه کالیبراسیون دستگاه رطوبت‌سنج (PR2)

برای کارکرد بهینه، دستگاه PR2 باید نسبت به خاک محل آزمایش واسنجی شود. به این منظور دستگاه برای تمامی مزارع تحت پایش به‌صورت مستقل کالیبره گردید. برای کالیبره کردن دستگاه در روزهایی که رطوبت مزارع با استفاده از دستگاه از عمق‌های مختلف قرائت می‌شد، هم‌زمان به فاصله اندک از یکی از نقاط لوله‌گذاری داخل مزرعه با اوگر از عمق‌های ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۶۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری نمونه خاک برداشت‌شده و به آزمایشگاه جهت اندازه‌گیری رطوبت وزنی و سپس محاسبه رطوبت حجمی انتقال می‌یافت. سپس با استفاده از فرمول ارائه‌شده در کاتالوگ دستگاه PR2 معادله (۷-۳) مقدار ولتاژ (V) قرائت‌شده توسط دستگاه (ولت)، در عمق‌های مختلف به ضریب گذردهی $\sqrt{\varepsilon}$ تبدیل گردید.

$$\sqrt{\varepsilon} = 1.125 - 5.53 * v + 67.17 * v^2 - 234.42 * v^3 + 413.56 * v^4 - 356.68v^5 + 121.53v^6 \quad (7-3)$$

با برازش خطی ضریب گذردهی $\sqrt{\varepsilon}$ رطوبت حجمی اندازه‌گیری شده توسط اوگر θ_{v-0} ضرایب ثابت a_0 و a_1 مطابق شیوه ارائه‌شده در کاتالوگ دستگاه به دست آمد معادله (۸-۳).

$$\sqrt{\varepsilon} = a_0 + a_1 * \theta \quad (8-3)$$

پس از به دست آوردن ضرایب کالیبره a_0 و a_1 برای هر مزرعه با قرار دادن اعداد قرائت‌شده توسط دستگاه در معادله (۹-۳) میزان رطوبت حجمی θ_{v-t} محاسبه گردید.

$$\theta_{v-t} = \frac{1.125 - 5.53 * v + 67.17 * v^2 - 234.42 * v^3 + 413.56 * v^4 - 356.68v^5 + 121.53v^6 - a_0}{a_1} \quad (9-3)$$

۳-۴-۲- اعتبار سنجی دستگاه رطوبت‌سنج (PR2)

به‌منظور ارزیابی قرائت‌های دستگاه رطوبت‌سنج، صحت‌سنجی دستگاه انجام گرفت؛ که عبارت از مقایسه بین اندازه‌گیری‌های رطوبت به‌صورت دستی توسط اوگر θ_{v-0} و قرائت‌های رطوبت توسط دستگاه θ_{v-t} است. بدین منظور از مجموع $v-0$ θ پایش شده و θ_{v-t} متناظر با هریک، پس از حذف داده‌های پرت ۲۵ درصد به‌عنوان اعتبار سنجی و ۷۵ درصد به‌عنوان واسنجی انتخاب گردید.

همچنین برای مقایسه θ_{v-m} با θ_{v-a} از نمایه‌های آماری ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) ضریب تعیین (R^2)، حداکثر خطا (ME)، ضریب باقیمانده (CRM) و مقدار شاخص توافق ویلموت^۱ (d) استفاده شد (Qi And Helmers., 2010).

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \right] \quad (10-3)$$

$$RMSE = \left[\sum_{i=1}^n \frac{(P_i - O_i)^2}{n} \right]^{0.5} \quad (11-3)$$

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^n O_i - \sum_{i=1}^n P_i}{\sum_{i=1}^n O_i} \quad (12-3)$$

$$ME = \text{Max}|p_i - o_i| \quad (۱۳-۳)$$

$$R2 = \frac{(\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P}))^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 - \sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2} \quad (۱۴-۳)$$

در معادلات بالا P_i مقدار برآورد شده یا شبیه‌سازی شده، Q_i مقدار مشاهده شده، n تعداد نمونه‌ها، $\bar{O}$ میانگین مقادیر مشاهده شده و $\bar{P}$ میانگین مقادیر پیش‌بینی شده است.

شاخص آماری توافق ویلموت (d)، دارای مقداری بین صفر و یک است که مقدار یک بیانگر بهترین برازش است. نزدیک بودن شاخص توافق ویلموت به یک نیز بیانگر نزدیکی مقادیر رطوبت بدست آمده با استفاده از نمونه‌گیری وزنی به داده‌های قرائت‌شده توسط دستگاه است. همچنین شاخص (RMSE) تفاوت میان مقدار رطوبت قرائت‌شده توسط دستگاه و مقادیر رطوبت بدست آمده با استفاده از نمونه‌گیری وزنی است. این شاخص ابزار مناسبی برای مقایسه خطاهای پیش‌بینی‌شده توسط یک مجموعه داده است (Qi And Helmers, 2010). ضریب تعیین R^2 نیز یکی از معیارهای مورد استفاده در تعیین همبستگی دو متغیر است و هرچه این ضریب به یک نزدیک‌تر باشد گویای دقت بالای دستگاه $PR2$ در تخمین رطوبت هست (Anothai et al., 2008). شاخص CRM نشان‌گر تمایل دستگاه برای برآورد بیش‌ازحد و یا کمتر از حد در مقایسه با اندازه‌گیری‌ها است، هرگاه CRM منفی شود به معنی آن است که دستگاه تمایل به برآورد بالاتر از مقادیر رطوبت بدست آمده با استفاده از نمونه‌گیری وزنی را دارد (Attia et al., 2016).

۳-۴-۳- اندازه‌گیری پیش‌روی و پس‌روی آب

در هنگام آبیاری مدت‌زمان پیش‌روی و پس‌روی آب و همچنین عمق آب در کرت‌ها در فواصل مختلف مشخص‌شده اندازه‌گیری شد که به دلیل شرایط خاص مزارع این کار به‌سختی و با دقت زیاد انجام گردید (شکل ۳-۸).



شکل ۳-۸- اندازه‌گیری عمق آب آبیاری در طول کرت‌ها

۳-۴-۴- برداشت شاخص‌های گیاهی

برداشت شاخص‌های گیاهی شامل ارتفاع گیاه، وزن اندام مختلف هوایی، شاخص سطح برگ، ارتفاع ریشه، ثبت مراحل رشد گیاه هر ۱۰ روز یک‌بار طی بازه مطالعاتی تا زمان برداشت انجام شد. در زمان برداشت نیز تمام شاخص‌های عملکرد گیاه مانند وزن هزار دانه، تراکم کشت وزن زیست‌توده، وزن دانه، تعداد دانه در غلاف و تعداد غلاف در بوته برای کلزا، تعداد دانه در سنبله و تعداد سنبله در سطح نمونه‌برداری، برداشت گردید (شکل ۳-۹ و ۳-۱۰). مشخصات شاخص‌های گیاهی مزارع مورد مطالعه استان آذربایجان شرقی در جدول ۳-۶ نشان داده شده است.

جدول ۳-۶- مشخصات شاخص‌های گیاهی مزارع مورد مطالعه استان آذربایجان شرقی

مزرعه	کد مزرعه	موقعیت جغرافیایی	نام زارع	نوع مزرعه	دفعات برداشت شاخص گیاهی
سیر	G	آذرشهر - تیمورلو	نصرتی	تیمار	۸
گندم	W1	بناب - قره چیق	رستمیان	تیمار	۷
گندم	W2	بناب - قره چیق	بابائیان	شاهد	۷
جو	B1	بناب - آخوند قشلاق	مراد زکی	تیمار	۵
جو	B2	بناب - آخوند قشلاق	برادر زکی	شاهد	۵
کلزا	R1	عجب‌شیر - خضرلو	آشنایی	تیمار	۵
کلزا	R2	عجب‌شیر - خضرلو	سعیدی‌آذر	شاهد	۱
کلزا	R3	اسکو - مهدینلو	انصاری	تیمار	۶
کلزا	R4	اسکو - مهدینلو	انصاری	شاهد	۶



شکل ۳-۹- برداشت شاخص‌های گیاهی - کل‌گیری



شکل ۳-۱۰- برداشت شاخص‌های گیاهی - کل‌گیری و طول ساقه

۳-۴-۵- برداشت نمونه‌های آب و خاک

برای به دست آوردن پارامترهای مختلف خاک از جمله بافت، PH، رطوبت اشباع، نقاط ظرفیت زراعی و پژمردگی و تجزیه شیمیایی از هر مزرعه از ۳-۶ نقطه (بسته به مساحت مزرعه) و در سه عمق (۰ تا ۲۰، ۲۰ تا ۴۰، ۴۰ تا ۶۰) سانتی‌متر نمونه‌گیری انجام گرفت. در نهایت با اختلاط خاک هر لایه و انتقال بخشی از آن به آزمایشگاه، بافت خاک و سایر مشخصات مرتبط با خاک مزارع تعیین گردید. همچنین نمونه‌های دست‌نخورده خاک از اعماق اشاره‌شده در هر مزرعه از سه نقطه به‌منظور تعیین جرم مخصوص ظاهری خاک برداشت گردید. شکل ۳-۱۱ نحوه برداشت نمونه دست‌نخورده خاک و همچنین نمونه خاک توسط اوگر را نشان می‌دهد.

لازم به ذکر است به‌منظور بررسی خصوصیات شیمیایی آب آبیاری مانند PH، EC، غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌ها از منبع تأمین آب هر مزرعه (چاه و یا کانال آبرسان) نمونه آب نیز برداشت گردید.



شکل ۳-۱۱- برداشت نمونه خاک به‌منظور اندازه‌گیری مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک

۳-۴-۶- مساحی و نقشه‌برداری مزارع انتخابی

به‌منظور تعیین بازده کاربرد آب در مزارع لازم بود که مساحت قطعات آبیاری تحت آزمایش در هر یک از مزارع انتخابی تعیین گردد. بدین منظور مساحت و شیب قطعات مورد آزمایش در هر یک از مزارع انتخابی با به‌کارگیری وسایل نقشه‌برداری از جمله دوربین تئودولیت، شاخص، متر و GPS تعیین گردید (شکل ۳-۱۲ و ۳-۱۳).



شکل ۳-۱۲- نقشه‌برداری جهت اندازه‌گیری شیب طولی



شکل ۳-۱۳- اندازه‌گیری ابعاد زمین به‌وسیله‌ی متر و GPS

۳-۵- اندازه‌گیری پارامترهای آزمایشگاهی

منظور از پارامترهای آزمایشگاهی اطلاعاتی است که با استفاده از نمونه‌های برداشت‌شده از مزارع مطالعاتی در آزمایشگاه اندازه‌گیری شده است. این موارد شامل پارامترهای مختلف خاک از جمله بافت، PH، رطوبت اشباع، نقاط ظرفیت زراعی و پژمردگی، تجزیه شیمیایی، خصوصیات شیمیایی آب آبیاری مانند PH، EC، آنیون‌ها و کاتیون‌ها، چگالی ظاهری خاک و پارامترهای مرتبط با شاخص‌های گیاهی است.

۳-۵-۱- برداشت پارامترهای خاک (نفوذپذیری آب، چگالی ظاهری خاک و بافت خاک)

به‌منظور تعیین بافت خاک در هر مزرعه از سه نقطه و در نقطه از سه عمق نمونه‌گیری انجام گرفت که در نهایت با اختلاط خاک این اعماق و انتقال آن به آزمایشگاه بافت خاک مزارع تعیین شد (جداول ۳-۷ و ۳-۸). همچنین به‌منظور بدست آوردن چگالی ظاهری خاک با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری این پارامتر از سه عمق خاک در هر مزرعه نمونه‌برداری انجام گرفت و چگالی ظاهری خاک برای این سه عمق هر مزرعه تعیین گردید. به‌منظور محاسبه نفوذ آب در خاک با استفاده از رینگ مضاعف و تجهیزات دیگر آزمایش نفوذ سنجی خاک مزارع انجام شد (شکل ۳-۱۴ و ۳-۱۵).



شکل ۳-۱۴- اندازه‌گیری سرعت نفوذ آب در خاک



شکل ۳-۱۵- برداشت نمونه دست‌نخورده خاک به‌منظور اندازه‌گیری چگالی ظاهری

۳-۵-۲- سایر پارامترهای خاک و آب اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه

درصد ظرفیت زراعی (FC)، نقطه پژمردگی (PWP)، رطوبت اشباع (S)، عصاره اشباع خاک (ECe)، PH و جمع کاتیون‌ها و آنیون‌های خاک همه مزارع و همچنین شوری آب آبیاری (ECi)، PH و جمع کاتیون‌ها و آنیون‌های آب آبیاری همه مزارع، پس از ارسال نمونه‌های برداشت‌شده، توسط آزمایشگاه مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، واقع در استان البرز انجام گرفت.

جدول ۳-۷- مشخصات بافت خاک مزارع مورد مطالعه- آذربایجان شرقی

مزرعه	موقعیت جغرافیایی	نام زارع	نوع مزرعه	عمق خاک (cm)	درصد ذرات خاک	بافت خاک	
					شن	رس	سیلت
گندم	بناب- قره چپق	رستمیان	تیمار	۰-۲۰	۸۰	۸	۱۲
				۲۰-۴۰	۸۲/۵	۹/۵	۸
				۴۰-۶۰	۷۶	۱۰	۱۴
گندم	بناب - قره چپق	بابائیان	شاهد	۰-۲۰	۸۲	۸	۱۰
				۲۰-۴۰	۸۰	۸	۱۲
				۴۰-۶۰	۶۸	۱۲	۲۰
جو	بناب- آخوند قشلاق	مرادزکی	تیمار	۰-۲۰	۸۶	۴	۱۰
				۲۰-۴۰	۸۲/۵	۷/۵	۱۰
				۴۰-۶۰	۸۲/۵	۷/۵	۱۰
جو	بناب- آخوند قشلاق	برادرزکی	شاهد	۰-۲۰	۸۰	۸	۱۲
				۲۰-۴۰	۷۶	۶	۱۸
				۴۰-۶۰	۷۵/۵	۷/۵	۱۷

ادامه جدول ۳-۷- مشخصات بافت خاک مزارع مورد مطالعه- آذربایجان شرقی

مزرعه	موقعیت جغرافیایی	نام زارع	نوع مزرعه	عمق خاک (cm)	درصد ذرات خاک			بافت خاک
					شن	رس	سیلت	
				۰-۲۰	۳۲/۵	۳۳/۵	۳۴	clay loam
کلزا	عجب‌شیر- خضارلو	آشنایی	تیمار	۲۰-۴۰	۲۶/۵	۳۹/۵	۳۴	clay loam
				۴۰-۶۰	۲۰/۵	۴۱/۵	۳۸	clay
				۰-۲۰	۳۰/۵	۳۷/۵	۳۲	clay loam
کلزا	عجب‌شیر- خضارلو	سعیدی‌آذر	شاهد	۲۰-۴۰	۲۸/۵	۳۹/۵	۳۲	clay loam
				۴۰-۶۰	۲۲/۵	۴۵/۵	۳۲	clay
				۰-۲۰	۲۸	۳۸	۳۴	clay loam
کلزا	اسکو	انصاری	تیمار و شاهد	۲۰-۴۰	۲۴	۳۸	۳۸	clay loam
				۴۰-۶۰	۸/۵	۴۳/۵	۴۸	silty clay
				۰-۲۰	۶۶/۵	۲۱/۵	۱۲	Sandy clay loam
سیر	آذرشهر	نصرتی	تیمار و شاهد	۲۰-۴۰	۷۰/۵	۱۱/۵	۱۸	sandy loam
				۴۰-۶۰	۵۸/۵	۱۷/۵	۲۴	sandy loam

جدول ۳-۸- مشخصات بافت خاک مزارع مورد مطالعه- آذربایجان غربی

مزرعه	کد مزرعه	موقعیت جغرافیایی	نام زارع	نوع مزرعه	درصد ذرات خاک			بافت خاک
					شن	رس	سیلت	
گندم	W3	ارومیه-چیچک‌کوی منصور	یحیی ابراهیمی	تیمار	۲۳	۴۶	۳۱	clay
گندم	W4	"	قهرمان اصغری	تیمار	۱۷	۵۰	۳۳	clay
گندم	W5	"	محمد اصغری	تیمار	۲۳	۴۳	۳۴	clay
گندم	W6	"	جمشید باقرزاده	تیمار	۱۴	۵۵	۳۱	clay
گندم	W7	"	احمد هوشیار	تیمار	۱۸	۵۰	۳۲	clay
آفتابگردان	S	"	اکبر باقرزاده	تیمار	۱۶	۴۶	۳۸	clay
ذرت	M1	"	احمد هوشیار	تیمار	۱۸	۵۰	۳۲	clay
ذرت	M2	"	قهرمان اصغری	تیمار	۱۸	۴۶	۳۶	clay
کدو آجیلی	C1	"	قهرمان اصغری	تیمار	۱۸	۴۷	۳۵	clay
کدو آجیلی	C2	"	ش. فتح‌اله‌زاده	تیمار	۱۸	۴۶	۳۶	clay
گوجه‌فرنگی	T	"	فریدین ابراهیمی	تیمار	۱۴	۵۶	۳۰	clay

۳-۵-۳- اندازه‌گیری وزن زیست‌توده و اندام مختلف گیاه

کلیه نمونه‌های گیاهی برداشت‌شده به‌منظور تعیین عملکرد مزارع و وزن خشک اندام مختلف گیاه پس از انتقال به آزمایشگاه به مدت ۴۸ ساعت و در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد داخل آون قرار گرفت و درنهایت به‌وسیله ترازو با دقت ۰/۰۱ گرم وزن نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. وزن هزار دانه محصولات نیز در آزمایشگاه اندازه‌گیری گردید. همچنین جداسازی دانه از سنبله و غلاف برای گندم، جو و کلزا به‌منظور افزایش دقت در تعیین عملکرد دانه به‌صورت دستی در آزمایشگاه انجام گرفت (شکل ۳-۱۶).



شکل ۳-۱۶- اندازه‌گیری وزن دانه و طول ریشه به‌صورت دستی

۳-۶- پارامترهای محاسباتی

پارامترهای محاسباتی درواقع مواردی هستند که با استفاده از روش صحیح و اصولی به‌منظور حصول نتایج این تحقیق محاسبه شده است، مانند اعماق آبیاری، تبخیر-تعرق واقعی، تبخیر-تعرق مرجع شاخص بهره‌وری آب، نفوذ عمقی و ... که در ادامه به روش انجام محاسبات هر یک پرداخته می‌شود.

۳-۶-۱- عمق آبیاری

با استفاده از دبی جریان ورودی و مدت‌زمان آبیاری، حجم آب ورودی به مزارع در هر نوبت آبیاری مشخص شد. با تقسیم حجم آب ورودی بر مساحت مزارع، عمق آبیاری مشخص گردید (معادله ۳-۱۵).

$$I = \frac{Q \times t}{A} \quad (۳-۱۵)$$

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

۳-۶-۲- تبخیر-تعرق گیاه مرجع

داده‌های روزانه هواشناسی شامل کمینه و بیشینه دمای رطوبت نسبی، سرعت باد، ساعات آفتابی و دمای نقطه شبنم از ایستگاه‌های سینوپتیک جدول ۳-۹ دریافت گردید. سپس تبخیر-تعرق گیاه مرجع (ET_0) با استفاده از داده‌های مذکور و به کمک نرم‌افزار Ref-ET محاسبه شد.

جدول ۳-۹- مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده

نام ایستگاه	مزارع تحت پوشش	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع ایستگاه (متر)
سهند	R3,R4	۴۶/۱۲	۳۷/۹۳	۱۶۴۱
بناب	W1,W2 B1,B2	۴۶/۰۵	۳۷/۳۷	۱۲۸۱
عجب‌شیر	R1,R2	۴۵/۸۵	۳۷/۵	۱۳۱۱
ارومیه	تمامی مزارع انتخابی ارومیه	۴۴/۷۵	۳۷/۵۲	۱۳۳۶

۳-۶-۳- ضرایب گیاهی (K_c)

این ضریب عامل تعیین‌کننده آب مورد نیاز گیاه است که از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و تحت تأثیر خصوصیات فیزیولوژی گیاه و مراحل رشد آن قرار دارد. در نشریه فائو ۵۶ آلن^۱ و همکاران (۱۹۹۸) این ضریب برای گیاهان مختلف سراسر جهان ارائه شده است. در این مطالعه از ضرایب ارائه شده توسط فائو برای مراحل سه‌گانه رشد (اولیه^۲، میانی^۳، پایانی^۴) محصولات

¹ Allen² Initial stage³ Mid-season stage⁴ Late season stage

مورد مطالعه استفاده گردید. با داشتن ضرایب این سه مرحله و طول دوره رشد مراحل چهارگانه گیاه، شام مرحله اولیه، توسعه^۱، میانی و پایانی منحنی ضرایب گیاهی قابل توصیف و ترسیم است. به این صورت که ضریب گیاهی به صورت خطی بین مراحل اولیه و میانی افزایش و بین مراحل میانی و پایانی کاهش می‌یابد.

علی‌رغم اینکه طول دوره مراحل چهارگانه رشد گیاه برای گیاهان مختلف در نشریه فائو ۵۶ آورده شده است. به منظور گنجاندن تأثیر ارقام گیاهی، اقلیم و عملیات زراعی، از داده‌های واقعی مراحل رشد گیاه با استفاده از اطلاعات محلی و مشاهدات استفاده گردید.

۳-۶-۴- تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه (ETc)

در شرایطی که محدودیتی در رشد یا تبخیر-تعرق گیاه تحت تأثیر تنش شوری و آبی، تراکم کشت پایین، آفات و بیماری‌های گیاهی، علف‌های هرز یا حاصلخیزی اندک خاک وجود نداشته باشد، تبخیر-تعرق در شرایط پتانسیل یا استاندارد بیان می‌شود (Allen et al., 1998).

با مشخص شدن ضرایب گیاهی و میزان تبخیر-تعرق مرجع، با استفاده از رابطه ۳-۱۶ میزان تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه در منطقه مطالعاتی محاسبه گردید (Allen et al., 1998).

$$ET_c = K_c \times ET_o \quad (۳-۱۶)$$

در این معادله ETc تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه (میلی‌متر در روز)، Kc ضریب گیاهی (بدون بعد) و ETo تبخیر-تعرق گیاه مرجع (میلی‌متر در روز) است. همچنین با استفاده از معادله ۳-۱۷ تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه در طول فصل رشد (ETc-s) محاسبه شد.

$$ET_{c-s} = \sum_{i=\text{روز کاشت}}^{\text{روز برداشت محصول}} (ET_c)_i \quad (۳-۱۷)$$

در این معادله ETc-s تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه محاسبه‌شده در طول فصل رشد (میلی‌متر) و ETc تبخیر-تعرق روزانه گیاه (میلی‌متر در روز) است.

۳-۶-۵- ترسیم منحنی‌های رطوبتی خاک

به منظور ترسیم منحنی‌های رطوبتی خاک، ابتدا به دو روش که اطلاعات کمی آن در جدول ۳-۴ نشان داده شده است، داده‌های رطوبتی برداشت گردید. سپس رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه (WC) (سانتیمتر در عمق ۶۰ سانتیمتر) بر اساس معادله ۳-۱۸ و با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده، محاسبه شد.

$$WC = WC_{10} \times 10 + WC_{20} \times 10 + WC_{30} \times 10 + WC_{40} \times 15 + WC_{60} \times 15 \quad (۳-۱۸)$$

در معادله بالا WC10 از عمق (۰-۱۰) سانتی‌متر، WC20 از عمق (۱۰-۲۰) سانتی‌متر، WC30 از عمق (۲۰-۳۰) سانتی‌متر، WC40 از عمق (۳۰-۴۵) سانتی‌متر و WC60 از عمق (۴۵-۶۰) سانتی‌متر به ترتیب رطوبت حجمی بر اساس اندازه‌گیری با دستگاه PR2 (θ_v-t) و به صورت داده‌های برداشت‌شده توسط اوگر (θ_v-0) است.

¹ Crop development stage

با محاسبه مقادیر رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه برحسب سانتیمتر (WC) برای دوره زمانی پایش اطلاعات، منحنی‌های رطوبت خاک مزارع به ازای رطوبت به‌دست‌آمده با استفاده از نمونه‌گیری وزنی و داده‌های برداشت‌شده توسط دستگاه PR2 رسم گردید.

۳-۶-۶- تبخیر-تعرق واقعی گیاه

پس از ترسیم منحنی‌های رطوبتی مزارع مطابق آنچه در بخش (۳-۷-۶) ذکر شد، با کسر رطوبت دو نقطه متوالی و تقسیم بر بازه‌ی زمانی بین دو نقطه میزان تبخیر-تعرق واقعی روزانه گیاه مطابق معادله زیر محاسبه شد:

$$ET_{a-d} = \frac{WC_{n-1} - WC_n}{\Delta t} \quad (۱۹-۳)$$

در این معادله ET_{a-d} تبخیر-تعرق واقعی روزانه (میلی‌متر) و WC_n رطوبت خاک در قرائت n ، WC_{n-1} رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه در قرائت $n-1$ (سانتی‌متر)، Δt بازه‌ی زمانی بین دو قرائت n و $n-1$ (روز) است.

با توجه به اینکه پایش رطوبتی در کل فصل رشد صورت نگرفت، در دوره‌ای که برداشت اطلاعات صورت نگرفته بود، تبخیر-تعرق روزانه برابر تبخیر-تعرق پتانسیل محاسبه‌شده در نظر گرفته شد؛ بنابراین تبخیر-تعرق واقعی تجمعی گیاه در طول فصل رشد برای مزارع طرح به‌صورت زیر محاسبه شد:

$$ET_{a-s} = \sum_{i=\text{روز کاشت}}^{\text{روز برداشت محصول}} (ET_{a-d})_i \quad (۲۰-۳)$$

در این معادله ET_{a-s} تبخیر-تعرق واقعی تجمعی گیاه در طول فصل رشد (میلی‌متر)، ET_{a-d} تبخیر-تعرق واقعی روزانه گیاه (میلی‌متر) است. تبخیر-تعرق واقعی در طول فصل رشد در شرایط استفاده از دستگاه PR2 بصورت $ET_{a,p-s}$ و در صورت نمونه برداری از خاک بصورت $ET_{a,o-s}$ نشان داده شده است.

۳-۶-۷- بارش مؤثر

به‌منظور تعیین سهم بارش در تأمین نیاز آبی محصولات مورد مطالعه، اطلاعات بارش روزانه ایستگاه‌های هواشناسی (جدول ۳-۹)، اخذ گردید. از مجموع بارش اتفاق افتاده به میزانی از بارش که در محیط ریشه باقی می‌ماند و می‌تواند به مصرف گیاه برسد باران مؤثر (E_r) گفته می‌شود (FAO, 2000).

در این تحقیق در دوره‌ای که اطلاعات پایش رطوبت خاک مزارع آغاز نشده بود، از روش دفتر حفاظت خاک اداره‌ی کشاورزی ایالات متحده‌ی آمریکا (USDA) استفاده شد که نحوه محاسبه آن به شرح زیر است:

$$E_r = R \frac{125 - 0.2R}{1255} \quad \text{اگر بارش کمتر از } ۲۵۰ \text{ میلی‌متر باشد} \quad (۲۱-۳)$$

$$E_r = 125 + 0.1R \quad \text{اگر بارش بیشتر از } ۲۵۰ \text{ میلی‌متر باشد} \quad (۲۲-۳)$$

در این معادله E_r بارش مؤثر (میلی‌متر) و R بارندگی (میلی‌متر) است. همچنین در دوره‌ای که پایش رطوبتی برداشت گردیده بود از روش بیلان به‌منظور تعیین باران مؤثر استفاده گردید.

۳-۶-۸- نفوذ عمقی و راندمان کاربرد

از مجموع عمق آبیاری صورت گرفته بخشی به‌عنوان نفوذ عمقی در نظر گرفته شد. این مقدار با استفاده از معادله ۳-۲۳ محاسبه گردید.

$$dp = WC_{al} - FC - ET_{al} \quad (۲۳-۳)$$

در این معادله dp نفوذ عمقی (سانتی‌متر)، WC_{aI} رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه بلافاصله پس از آبیاری (سانتی‌متر)، FC رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه در ظرفیت زراعی (سانتی‌متر) و ET_{aI} تبخیر-تعرق تجمعی دوره‌ای که رطوبت خاک بالاتر از حد ظرفیت مزرعه‌ای است (سانتی‌متر) است.

به دلیل اینکه مقدار پارامتر ET_{aI} مشخص نبود میزان تبخیر-تعرق تجمعی در ۱ الی ۳ روزی که رطوبت خاک به حد ظرفیت زراعی مزرعه می‌رسید برابر با تبخیر-تعرق پتانسیل تجمعی محاسبه شده در همان روزها در نظر گرفته شد. پس از محاسبه نفوذ عمقی با استفاده از معادله ۳-۲۴، راندمان کاربرد محاسبه گردید (علیزاده، ۱۳۹۰).

$$Ea = 100 \times \left(1 - \frac{dp}{I}\right) \quad (24-3)$$

در این معادله Ea راندمان کاربرد آبیاری (درصد)، dp نفوذ عمقی (سانتی‌متر) و I عمق آبیاری (سانتی‌متر) است.

۳-۶-۹- بهره‌وری و کارایی مصرف آب

مهم‌ترین هدف این تحقیق، تعیین میزان اثربخشی پروژه فوق برافزایش بهره‌وری (WP) و کارایی مصرف آب (WUE) است. به این منظور با استفاده از تعاریف مربوط به WP و WUE (معادله‌های ۳-۲۵ و ۳-۲۶) پارامترهای مذکور کلیه مزارع محاسبه شدند.

$$WP = \frac{Y_c}{\sum I + \sum R_t} \quad (25-3)$$

$$WUE = \frac{Y_c}{ET_{a-s}} \quad (26-3)$$

که در این معادله‌ها WP بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب)، Y_c عملکرد محصول (کیلوگرم) $\sum I$ کل حجم آب آبیاری در طول فصل کشت (مترمکعب)، $\sum R_t$ کل حجم بارش مؤثر در طول فصل رشد (مترمکعب)، WUE کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب) و ET_{a-s} تبخیر-تعرق واقعی تجمعی گیاه در طول فصل رشد (مترمکعب). با استفاده از معادلات ۳-۲۷ و ۳-۲۸، WP و WUE بین مزارع تیمار و شاهد مقایسه شدند.

$$\Delta WP = \frac{WP_t - WP_s}{WP_s} \times 100 \quad (27-3)$$

$$\Delta WUE = \frac{WUE_t - WUE_s}{WUE_s} \times 100 \quad (28-3)$$

که پارامترهای این معادلات عبارت‌اند از: ΔWP تفاوت بهره‌وری آب بین مزارع تیمار و شاهد (درصد)، WP_t بهره‌وری آب در مزارع تیمار (کیلوگرم بر مترمکعب)، WP_s بهره‌وری آب در مزارع شاهد (کیلوگرم بر مترمکعب)، ΔWUE تفاوت در کارایی مصرف آب بین مزارع تیمار و شاهد (درصد)، WUE_t کارایی مصرف آب در مزارع تیمار (کیلوگرم بر مترمکعب) و WUE_s کارایی مصرف آب در مزارع شاهد (کیلوگرم بر مترمکعب).

۷-۳- فرم پرسش‌نامه و مصاحبه با کشاورزان

به‌منظور دریافت اطلاعات تکمیلی مزارع فرم ۲۰ سؤالی توسط مصاحبه حضوری از کشاورزان پر گردید و سایر اطلاعات موردنیاز نیز از شرکت‌های مجری دریافت شد.

نام کشاورز:	محصول کشت‌شده:	منطقه:
نوع مزرعه:	شرکت مجری:	تاریخ:
۱- تاریخ کشت محصول چه زمانی بوده است؟		
۲- رقم گیاه کشت‌شده چیست؟		
۳- میزان کود آلی و شیمیایی مصرفی چه مقدار بوده و در چه زمانی مصرف‌شده و هزینه آنچه میزان بوده است؟		
۴- میزان سم و علف‌کش مصرفی چه مقدار بوده و در چه زمان مصرف‌شده و هزینه آنچه میزان بوده است؟		
۵- تعداد دفعات آبیاری چند مرتبه بوده و در چه زمان‌هایی انجام‌گرفته است و منبع تأمین آب مصرفی چه بوده است؟		
۶- هزینه آب‌بها چه مقدار بوده است؟		
۷- کلیه هزینه‌های کاشت، داشت و برداشت به تفکیک هر بخش چه مقدار بوده است؟		
۸- میزان بذر مصرفی چه مقدار بوده و در چه زمانی جوانه‌زنی اتفاق افتاده است؟		
۹- کشت دوره قبل مزرعه شما چه محصولی بوده و آیا در کشت قبلی از کود مازاد بر نیاز محصول باهدف تقویت خاک برای کشت بعدی استفاده‌شده است؟		
۱۰- به نظرتان خاک مزرعه شما حاصلخیز است و مشکل شور بودن و زهکشی و... ندارد؟		
۱۱- علت انتخاب محصول کشت‌شده اخیر در مزرعه شما چیست؟		
۱۲- نظر شما درباره‌ی شیوه‌ی آبیاری مزرعه خودتان و شیوه غالب منطقه چیست و به نظر شما با این شیوه تلفات آب اتفاق می‌افتد؟		
۱۳- عمده‌ترین مشکل شما در زراعت اخیر و به‌طور کل در کشاورزی این منطقه چیست؟		
۱۴- آیا با شیوه‌های جدید آبیاری (آبیاری تحت فشار) آشنایی دارید؟ و نظر شما درباره‌ی این نوع آبیاری چیست؟		
۱۵- علت همکاری شما با طرح ملی احیای دریاچه ارومیه چیست؟ و نحوه آشنایی با طرح به چه صورت بوده است؟		
۱۶- تکنیک‌های اعمالی توسط شرکت‌های مجری در مزرعه شما چه تأثیری بر میزان تولید محصول و کیفیت آن داشته است؟ و به نظر شما با اعمال این تکنیک‌ها آیا در کاربرد آب صرفه‌جویی شده است؟		
۱۷- از همکاری با شرکت مجری منطقه در خصوص طرح احیا دریاچه رضایت دارید؟		
۱۸- زراعت امسال خود را در مقایسه با سال‌های قبل چگونه ارزیابی می‌کنید؟ (با ذکر علت)		
۱۹- به‌طور کل نظرتان را در مورد نحوه کار کردن، رفتار، برخورد، ادب دانشجویان اعزام‌شده از دانشگاه تربیت مدرس به‌منظور تحقیقات بر روی مزارع خود را بیان کرده و به نظر شما حضور نامبردگان بر نحوه کار شما تأثیرگذار بوده است یا خیر؟ (هرگونه انتقاد و یا پیشنهادی که در مورد این افراد دارید بیان نمایید)		

فصل چهارم

اثر بخشی تکنیک‌های به‌زراعی بر کاهش آب ورودی به مزرعه در استان آذربایجان شرقی

۴-۱- نتایج حاصل از پایش آبیاری مزارع

مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مزارع مورد پایش در استان آذربایجان شرقی در جدول ۴-۱ ارائه شده است. تاریخ‌های آبیاری مزارع نشان‌دهنده آن است که در مزارع گندم و جو به دلیل نزول باران در فصل پاییز، جهت سبز شدن بذر آبیاری انجام نشده، اما در هر چهار مزرعه کلزا دو نوبت آبیاری در پاییز انجام شده است. همچنین بیشترین دفعات آبیاری در منطقه مطالعاتی مربوط به زراعت کلزا با پنج نوبت آبیاری و کمترین آن مربوط به زراعت جو با سه نوبت آبیاری است و زراعت گندم با چهار نوبت آبیاری بین این دو محصول قرار می‌گیرد (جدول ۴-۲).

۴-۱-۱- تحلیل نتایج پایش آبیاری مزارع گندم

هفت نوبت آبیاری در مزارع W1 و W2 با استفاده از آب کانال و تنها یک نوبت آبیاری در مزرعه W1 با استفاده از آب چاه صورت گرفت (جدول ۴-۲). در مجموع دفعات آبیاری صورت گرفته از آب کانال، بیشترین عمق آبیاری ۴۲۱ میلی‌متر و کمترین آن ۱۷۴ میلی‌متر است که هر دو در مزرعه W2 وقوع یافته است. با توجه به مشاهدات عینی و پایش رطوبت خاک علت اصلی عمق زیاد آبیاری، فاصله زیاد بین دو آبیاری (بیشتر از ۳۰ روز) و خشک شدن بیش از اندازه خاک است. از آنجاکه عمق معمول آبیاری توسط کانال به‌طور تقریب ۲۲۰ میلی‌متر است. به نظر می‌رسد علت پایین بودن عمق آبیاری (۱۷۴ و ۱۸۰ میلی‌متر) نسبت به عمق متوسط در چهارمین نوبت آبیاری در هر دو مزرعه وقوع بارش در سه روز متوالی، دو روز قبل از آبیاری باشد. همچنین در دفعاتی که منبع تأمین آب کانال بوده است به سبب دبی زیاد ورودی (۲۰۰ لیتر بر ثانیه) به مزرعه و عدم مدیریت بهینه زارع در آبیاری، بیش از نیاز آب وارد مزرعه شده و در نهایت موجب افزایش نفوذ عمقی شده است؛ اما تنها در نوبتی که آبیاری توسط آب چاه صورت گرفته است به سبب کنترل زارع بر آب ورودی و آبیاری مزرعه در حد مورد نیاز کمترین عمق آبیاری برابر با ۱۲۷ میلی‌متر رخ داده است.

۴-۱-۲- تحلیل نتایج پایش آبیاری مزارع جو

در هر دو مزرعه جو سه نوبت آبیاری انجام شده است. به دلیل عدم پایش اولین نوبت آبیاری در هر دو مزرعه جو (B1 و B2) عمق و حجم آب، آبیاری به‌صورت میانگین دو نوبت اندازه‌گیری شده (نوبت‌های دوم و سوم) لحاظ گردید. بیشترین عمق آبیاری در مزرعه B1 برابر ۲۰۸ میلی‌متر بود که منبع آب آن چاه و کمترین آن ۱۱۱ میلی‌متر که منبع آب آن کانال است (جدول ۴-۲). دلیل عمده‌ی عمق زیاد آبیاری در این مزرعه را می‌توان دبی کم پمپ، طولانی شدن فاز پیشروی در کرت و همچنین فاصله زیاد دو نوبت آبیاری و خشک بودن خاک ذکر نمود. به این سبب با افزایش سه برابری میانگین دبی ورودی به مزرعه و همچنین کاهش فاصله آبیاری در آخرین نوبت، عمق آبیاری در مزرعه کاهش یافت. همچنین بیشترین عمق آبیاری در مزرعه B2 برابر ۲۳۹ میلی‌متر و کمترین آن ۱۲۰ میلی‌متر است که منبع تأمین هر دو آب کانال است. با توجه به مشاهدات عینی و پایش رطوبت خاک علت اصلی عمق زیاد آبیاری، فاصله زیاد بین دو آبیاری (نزدیک به ۶۰ روز) و خشک شدن بیش از اندازه خاک است؛ که به سبب کاهش فاصله آبیاری به ۱۱ روز، عمق آبیاری در نوبت آخر کاهش یافته است. در نهایت می‌توان نتیجه گرفت که بیشتر بودن عمق نفوذ آب در مزرعه B2 نسبت به مزرعه B1 در آخرین نوبت آبیاری علی‌رغم اینکه دبی ورودی به هر دو مزرعه نیز تقریباً یکسان است، به سبب طول بلند کرت در مزرعه B2 بوده که باعث طولانی شدن فاز پیشروی می‌شود.

۴-۱-۳- تحلیل نتایج پایش آبیاری مزارع کلزا

در مزرعه کلزا R1 از مجموع پنج آبیاری سه نوبت اندازه‌گیری شد، عمق و حجم آب، آبیاری دو نوبت اول به‌صورت میانگین سه آب اندازه‌گیری شده آخر لحاظ گردید. با توجه به اطلاعات جدول ۴-۲ اعماق آبیاری در هر سه نوبت اندازه‌گیری شده در مزرعه R1 تقریباً در یک بازه است که بیشترین آن ۱۲۴ میلی‌متر و کمترین آن ۱۰۰ میلی‌متر است. علی‌رغم اینکه میانگین دبی ورودی آبیاری سوم نسبت به دو آب دیگر خیلی کمتر است، به نظر می‌رسد که کوتاه بودن طول کرت و سنگینی بافت خاک باعث شده عمق آبیاری زیاد نباشد (۱۰۹ میلی‌متر) و درواقع به دو دلیل ذکر شده تلفات نفوذ عمقی در این مزرعه کاهش یافته است. در مزرعه R2 از مجموع ۵ آبیاری ۲ نوبت آبیاری آخر اندازه‌گیری شد. همان‌گونه که در جدول ۴-۲ نشان داده شده است، عمق چهارمین نوبت آبیاری ۸۶ میلی‌متر است. این در حالی است که عمق آخرین نوبت اندازه‌گیری شده ۱۳۱ میلی‌متر بوده و میانگین دبی ورودی هر دو آب تقریباً مشابه است. با بررسی علت اختلاف دو عمق آبیاری که در دو نوبت متوالی وقوع یافته است. با بررسی داده‌های بارش منطقه به نظر می‌رسد وقوع بارش قابل قبول در روز ماقبل چهارمین آبیاری منجر به کاهش عمق آبیاری شده است. درواقع سطح خیس خاک بر اثر بارش باعث کاهش نفوذ آب آبیاری به داخل خاک شده و در زمان کمتری آبیاری مزرعه به پایان رسیده است. به دلایل ذکر شده و واقعی نبودن عمق آب در چهارمین نوبت آبیاری، تخمین عمق و حجم سه نوبت آبیاری اول مشابه با آخرین آبیاری لحاظ گردید.

در مزرعه R3 و R4 تنها چهارمین نوبت آبیاری توسط فلوم و به‌صورت دقیق اندازه‌گیری شد. منبع آب در این نوبت آبیاری چاه بود. با فرض قابل قبول ثابت بودن دبی چاه و دریافت مدت آبیاری از کشاورز، عمق و حجم آب ورودی در نوبت دوم و پنجم (با منبع تأمین آب از چاه)، برآورد گردید؛ و عمق و حجم آبیاری برای نوبت اول و سوم که آبیاری از کانال صورت گرفته بود به‌صورت میانگین عمق و حجم آب‌های اندازه‌گیری شده با منبع آب چاه، لحاظ گردید (جدول ۴-۲).

۴-۱-۴- تحلیل نتایج پایش آبیاری مزارع سیر

مزرعه آقای نصرتی مزرعه‌ای بود که برای پایش انتخاب شد. در این مزرعه شاهد و تیمار در کنار یکدیگر بوده و بهره‌بردار شخصاً برای منافع شخصی تکنیک‌های مختلف را در مزرعه اجرا کرده بود. تکنیک بکار رفته در این مزرعه، تکنیک‌های کودی بود. برای تکنیک‌های کودی بلوک زراعی شاهد بدون کود (G1) و بلوک‌های تیمار، شامل (G2) استفاده از کود ورمی‌کمپوست، (G3) استفاده از مخلوط کود مرغی و ورمی‌کمپوست به صورت مخلوط در خاک، (G4) فسفات آمونیوم بود. مساحت قطعات زراعی کرت شاهد و تیمارها به ترتیب برابر با ۲۷/۵۵، ۲۹/۶، ۲۹/۹۲، ۳۰/۷ مترمربع بود. تعداد آبیاری اعمال شده در این مزرعه ۶ نوبت بود که با توجه به کوچک بودن ابعاد قطعات زراعی مقدار آب کاربرد در تمامی آن‌ها به ازای مترمکعب ثابت و برابر با ۷۳۳۳ مترمکعب در هکتار بود.

در مزرعه سیر اندازه‌گیری اعماق آبیاری به دلیل عدم دسترسی به فلوم در منطقه در تاریخ ۹۵/۱/۲۲ آغاز گردید. در طول فصل پاییز به دلیل بارندگی و همچنین عدم حضور در منطقه اعماق آبیاری قابل‌اندازه‌گیری نبود. به همین دلیل با توجه به مدت‌زمان آبیاری اعلام شده توسط زارع و همچنین با استناد به آبیاری‌های پایش شده، عمق آبیاری در این ۳ نوبت تخمین زده شد. در این محاسبات با توجه به آبدهی نسبتاً ثابت پمپ، دبی جریان ورودی به مزرعه در طول دوره کشت یکسان فرض شد. در نوبت آبیاری پنجم به دلیل خرابی پمپ و همچنین بارندگی، آبیاری در دو نوبت و با حجم نسبتاً کمتری نسبت به سایر آبیاری‌ها انجام شد. آبیاری چهارم با فاصله ۵ روز از آبیاری سوم صورت گرفت که دلیل این امر خشکی بیش‌ازحد محیط ریشه قبل از آبیاری سوم و همچنین محدودیت در دسترسی به آب بود (جدول ۴-۲).

جدول ۴-۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مزارع آذربایجان شرقی

کد مزارع	FC	ECe	PH	ρ_b	نیتروژن	پتاسیم قابل جذب	فسفر قابل جذب
	(cm ³ /cm ³)	(dS/m)		(gr/cm ³)	(%)	(mg/kg)	(mg/kg)
W3	۰/۳۶۴	۱/۲۷	۸/۲۵	۱/۱۶	۰/۲۲	۴۳۶	۱۴/۲۰
W4	۰/۳۴۶	۱/۵۱	۸/۱۹	۱/۳۲	۰/۱۷	۶۳۴	۱۷/۸۰
W5	۰/۳۶۷	۱/۳۲	۸/۲۹	۱/۳۸	۰/۱۸	۵۸۴	۱۹/۸۰
W6	۰/۳۴۵	۱/۵۸	۸/۳۶	۱/۲۷	۰/۱۶	۶۴/۳۰	۲۳/۶۰
W7	۰/۳۵۱	۱/۶۳	۷/۸۶	۱/۱۶	۰/۱۸	۴۱۹	۱۶/۲۰
S	۰/۳۳۵	۱/۲۸	۸/۰۳	۱/۱۹	۰/۱۳	۳۹۸	۸/۱۰
M1	۰/۳۵۳	۱/۲۷	۸/۲۵	۱/۰۹	۰/۲۲	۴۳۶	۱۴/۲۰
M2	۰/۳۲۵	۱/۲۹	۷/۷۶	۱/۲۲	۰/۱۸	۴۴۵	۱۵/۷۰
C1	۰/۳۳۷	۱/۲۹	۷/۷۶	۱/۲۰	۰/۱۸	۴۴۵	۱۵/۷۰
C2	۰/۳۲۴	۱/۶۴	۸/۲۹	۱/۲۰	۰/۱۴	۲۹۷	۲۱/۱۰
T	۰/۳۶۱	۱/۱۷	۸/۳۲	۱/۱۵	۰/۱۵	۴۲۳	۷/۱۰

جدول ۴-۲- اطلاعات آبیاری مزارع تحت پایش- بناب (W- گندم)

محصول	کد مزرعه	نام زارع	تیمار/ شاهد	نوبت آبیاری	مدت زمان آبیاری		منبع آب	میانگین دبی ورودی (l/s)	حجم آب ورودی (m ³)	عمق آب آبیاری (mm)	نحوه پایش آبیاری مزارع
					تاریخ	زمان (ساعت)					
گندم	W1	رستمیان	تیمار	۱	۹۵/۲/۶	۳	چاه	۵۱	۵۴۷	۱۲۷	اندازه گیری دقیق
				۲	۹۵/۲/۱۵	۲/۵	کانال	۲۰۰	۱۸۰۰	۲۲۵	اندازه گیری دقیق
				۳	۹۵/۲/۳۱	۲/۵	کانال	۲۰۰	۱۸۰۰	۲۲۵	اندازه گیری دقیق
				۴	۹۵/۳/۱۷	۲	کانال	۲۰۰	۱۴۴۰	۱۸۰	اندازه گیری دقیق
گندم	W2	بابائیان	شاهد	۱	۹۵/۱/۱۵	۲/۵	کانال	۲۰۰	۱۸۰۰	۲۱۸	اطلاعات کشاورز
				۲	۹۵/۲/۱۶	۴/۸	کانال	۲۰۰	۳۴۷۸	۴۲۱	اندازه گیری دقیق
				۳	۹۵/۲/۳۱	۲/۵	کانال	۲۰۰	۱۸۰۰	۲۱۸	اندازه گیری دقیق
				۴	۹۵/۳/۱۷	۲	کانال	۲۰۰	۱۴۴۰	۱۷۴	اندازه گیری دقیق

ادامه جدول ۴-۲- اطلاعات آبیاری مزارع تحت پایش - بناب (B- جو)

محصول	کد مزرعه	نام زارع	تیمار/ شاهد	نوبت آبیاری	مدت زمان آبیاری		منبع آب	میانگین دبی ورودی (l/s)	حجم آب ورودی (m ³)	عمق آب آبیاری (mm)	نحوه پایش آبیاری مزارع
					تاریخ	زمان (ساعت)					
				۱	۹۵/۱۲/۱۹	-	کانال	-	۱۰۵۵	۱۶۰	اطلاعات کشاورز
	B1	مرادزکی	تیمار	۲	۹۵/۲/۸	۴۳	چاه	۹	۱۳۷۴	۲۰۸	اندازه گیری دقیق
				۳	۹۵/۲/۲۸	۷/۵	کانال	۲۷	۷۳۶	۱۱۱	اندازه گیری دقیق
جو											
				۱	۹۵/۱۲/۱۹	-	کانال	-	۵۷۲	۱۷۹	برآورد شده
	B2	برادرزکی	شاهد	۲	۹۵/۲/۱۷	۶/۵	کانال	۳۵	۷۶۱	۲۳۹	اندازه گیری دقیق
				۳	۹۵/۲/۲۸	۴/۲	کانال	۲۶	۳۸۳	۱۲۰	اندازه گیری دقیق

ادامه جدول ۴-۲- اطلاعات آبیاری مزارع تحت پایش- عجبشیر (R- کلزا)

محصول	کد مزرعه	نام زارع	تیما/ شاهد	نوبت آبیاری	مدت زمان آبیاری		منبع آب	میانگین دبی ورودی (l/s)	حجم آب ورودی (m ³)	عمق آب آبیاری (mm)	نحوه پایش آبیاری مزارع
					زمان (ساعت)	تاریخ					
کلزا	R1	آشنایی	تیما	۱	-	-	-	-	۴۵۵	۱۱۱	برآورد شده
				۲	-	-	-	-	۴۵۵	۱۱۱	برآورد شده
				۳	۹۵/۱/۳۱	۱۴	چاه	۹	۴۴۷	۱۰۹	اندازه گیری دقیق
				۴	۹۵/۲/۱۷	۴/۶	کانال	۳۱	۵۰۹	۱۲۴	اندازه گیری دقیق
				۵	۹۵/۳/۵	۵/۲	کانال	۲۲	۴۱۰	۱۰۰	اندازه گیری دقیق
کلزا	R2	سعیدی آذر	شاهد	۱	-	-	-	-	۳۷۸	۱۳۱	برآورد شده
				۲	-	-	-	-	۳۷۸	۱۳۱	برآورد شده
				۳	-	-	-	-	۳۷۸	۱۳۱	برآورد شده
				۴	۹۵/۲/۱۰	۲/۵	کانال	۲۸	۲۵۰	۸۶	اندازه گیری دقیق
				۵	۹۵/۳/۱	۳/۹	کانال	۲۷	۳۷۸	۱۳۱	اندازه گیری دقیق

ادامه جدول ۴-۲- اطلاعات آبیاری مزارع تحت پایش-اسکو (R-کلزا)

محصول	کد مزرعه	نام زارع	تیمار/ شاهد	نوبت آبیاری	مدت زمان آبیاری		منبع آب	میانگین دبی ورودی (l/s)	حجم آب ورودی (m ³)	عمق آب آبیاری (mm)	نحوه پایش آبیاری مزارع
					تاریخ	زمان (ساعت)					
کلزا	R3	انصاری	تیمار	۱	۹۴/۷/۱۷	۵	کانال	۲	۳۸	۱۲۳	برآورد شده
				۲	۹۴/۷/۲۸	۴/۵	چاه	۲/۵	۴۱	۱۳۳	اطلاعات کشاورز
				۳	۹۵/۱/۱۵	۴/۲۵	کانال	۲	۳۸	۱۲۳	برآورد شده
				۴	۹۵/۲/۸	۴	چاه	۲/۵	۳۶	۱۱۸	اندازه گیری دقیق
				۵	۹۵/۲/۲۹	۴	چاه	۲/۵	۳۶	۱۱۸	اطلاعات کشاورز
	R4	انصاری	شاهد	۱	۹۴/۷/۱۷	۸	کانال	۱۵	۴۳۲	۱۰۷	برآورد شده
				۲	۹۴/۷/۲۸	۷	چاه	۱۹	۴۷۷	۱۱۸	اطلاعات کشاورز
				۳	۹۵/۱/۱۵	۶/۵	کانال	۱۸	۴۳۲	۱۰۷	برآورد شده
				۴	۹۵/۲/۸	۶	چاه	۱۹	۴۰۹	۱۰۱	اندازه گیری دقیق
				۵	۹۵/۲/۲۹	۶	چاه	۱۹	۴۰۹	۱۰۱	اطلاعات کشاورز

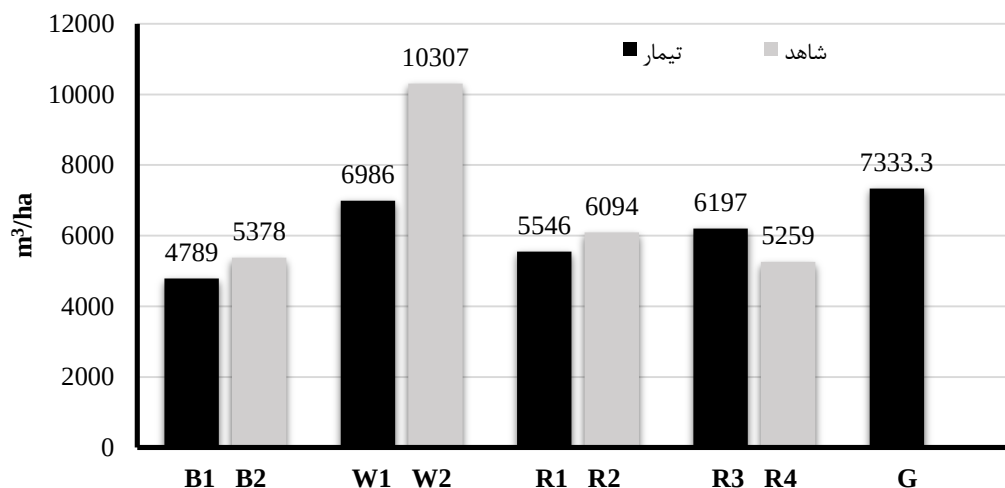
ادامه جدول ۴-۲- اطلاعات آبیاری مزارع تحت پایش - آذرشهر (G- سیر)

محصول	کد مزرعه	نام زارع	تیمار/ شاهد	نوبت آبیاری	مدت زمان آبیاری		منبع آب	میانگین دبی ورودی	حجم آب ورودی (m ³)	عمق آب آبیاری (mm)	نحوه پایش آبیاری مزارع
					تاریخ	زمان (ساعت)					
سیر	G	نصرتی	تیمار	۱	۹۴/۷/۱	۴	چاه	۲۳/۸۴	۳۴۳/۳۶	۱۰۴/۷۶	برآورد شده
				۲	۹۴/۷/۲۰	۴	چاه	۲۳/۸۴	۳۴۳/۳۶	۱۰۴/۷۶	برآورد شده
				۳	۹۵/۱/۱۷	۴	چاه	۲۳/۸۴	۳۴۳/۳۶	۱۰۴/۷۶	برآورد شده
				۴	۹۵/۱/۲۲	۴	چاه	۲۷/۷۱	۳۹۹/۰۱	۱۲۱/۷۳	اندازه گیری دقیق
				۵	۲/۵	۲	چاه	۱۲/۸	۲۸۳/۷۳	۸۶/۵۶	اندازه گیری دقیق
					۹۵/۲/۶			۲۳/۴۲*			
				۶	۹۵/۲/۱۸	۴/۶	چاه	۲۰/۴۵	۳۳۷/۳۸	۱۰۲/۹۳	اندازه گیری دقیق
				۷	۹۵/۳/۲	۴/۶	چاه	۲۱/۴۱	۳۵۳/۳۳	۱۰۷/۸	اندازه گیری دقیق

*همان طور که در متن اشاره شده است، در نوبت پنجم آبیاری به دلیل خرابی پمپ و بارندگی، آبیاری در دو نوبت و با عمق کمتر صورت گرفته است.

۴-۱-۵- نتایج کلی حاصل از پایش اعماق آبیاری مزارع

با بررسی کلی آبیاری‌های انجام‌شده در مزارع و مقایسه عمق، حجم و دبی ورودی آب نتایج کلی به شرح زیر حاصل گردید (شکل ۴-۱). (۱) رعایت فاصله مناسب بین دو آبیاری متوالی تا حد زیادی بر عمق آبیاری تأثیرگذار است. به‌این‌ترتیب کوتاه بودن فاصله زمانی بین دو آبیاری متوالی، منجر به کاهش عمق آب و از طرفی زیاد شدن فاصله زمانی بین دو آبیاری متوالی منجر به افزایش عمق آب می‌شود. (۲) دبی ورودی یک پارامتر تأثیرگذار در عمق آبیاری است. دبی کم می‌تواند به سبب طولانی شدن زمان پیش‌روی موجب افزایش عمق آبیاری شود؛ که نمود آن در مزارع با خاک سبک بیشتر است. دبی خیلی زیاد نیز به دلایل متعدد از جمله عدم مدیریت زارع در کنترل آبیاری مزرعه ... می‌تواند موجب آبیاری بیش از نیاز مزرعه و افزایش عمق آبیاری شود. (۳) خیس شدن سطحی خاک قبل از آبیاری به دلیل بارش خصوصاً در خاک‌های سنگین می‌تواند منجر به کاهش عمق آبیاری شود. (۴) حسب مشاهدات عینی در منطقه مطالعاتی، می‌توان اظهار داشت که میزان دسترسی آب، هزینه آب و مهارت کشاورز در آبیاری نیز از جمله عوامل تأثیرگذار در عمق آبیاری است.



شکل ۴-۱- میزان آب کاربردی در مزارع تحت پایش استان آذربایجان شرقی (B- جو، W- گندم، R- کلزا و G- سیر)

۴-۱-۶- مقایسه آب کاربردی مزارع شاهد و تیمار در طول فصل رشد

عمق تجمعی آبیاری و حجم آب آبیاری در طول فصل رشد برای مزارع تحت پایش محاسبه گردید. در همه مزارع تیمار به‌جز مزرعه تیمار کلزا R3، میزان آب آبیاری کاربردی کاهش یافته است؛ که درصد این کاهش کاربرد برای مزارع تیمار B1، W1 و R1 به‌ترتیب برابر ۳۲، ۱۱ و ۹ درصد است (جدول ۴-۳). از این‌رو می‌توان اظهار داشت که کاهش طول کرت در مزارع B1، W1 و R1 و همچنین استفاده از کود دامی به‌ویژه در مزرعه W1 نقش عمده‌ای در کاهش کاربرد آب آبیاری داشته است. مشاهدات عینی و برداشت نمونه رطوبتی از مزرعه W1 نشان‌دهنده آن بود که استفاده از کود دامی تأثیر بسزایی در نگهداشت آب مزرعه داشته است. به‌طوری‌که در مزرعه شاهد W2 علی‌رغم یکسان بودن بافت خاک در مقایسه مزرعه W1، خاک مزرعه با سرعت بیشتری رطوبت خود را از دست می‌داد. محققان زیادی افزایش نگهداشت رطوبت خاک توسط کودهای آلی را تصدیق می‌کنند که از جمله می‌توان به نتایج تحقیقات، احمدآبادی و قاجار سپانلو (۱۳۹۱)، وانگ و یانگ^{۱۹} (۲۰۰۲) و کارلن و کامپ^{۲۰} (۱۹۸۵) اشاره نمود.

¹ Wang and Yang

² Karlen and Camp

مقایسه تاریخ‌های آبیاری هر دو مزرعه در جدول ۳-۴ نیز قابل‌تأمل است. چراکه اولین نوبت آبیاری مزرعه W1 در تاریخ ۹۵/۲/۶ اتفاق افتاده که در این تاریخ نیز تنها نیمی از مزرعه آبیاری شده است و درواقع اولین نوبت آبیاری مزرعه تاریخ ۹۵/۲/۱۵ است. مزرعه تا این تاریخ بدون هیچ‌گونه تنش با استفاده از نزولات جوی و ذخیره آب در ناحیه توسعه ریشه حیات خود را ادامه داده است. به گفته زارع و تجربیاتش و مشاهدات عینی و مقایسه داده‌های رطوبتی بی‌شک تنها عامل نگهداشت رطوبت در خاک مزرعه، استفاده از کود دامی است. به‌طور کلی می‌توان بیان نمود که مجموع تکنیک‌های اعمال‌شده در مزارع تیمار موجب کاهش کاربرد آب شده است. همان‌طور که اشاره گردید تنها در مزرعه‌ی تیمار R3، عمق آبیاری در طول فصل رشد نسبت به مزرعه شاهد R4 بیشتر بود. دلیل این امر این است که همان‌طور که در شکل ۲-۴ نشان داده شده، آبیاری کرت‌های مزرعه تیمار از آبراهه اصلی انجام‌شده و آبیاری کرت‌های شاهد از انتهای کرت‌های تیمار انجام گردید و در تمام مدت آبیاری کرت‌های شاهد، آب از روی کرت‌های تیمار عبور پیدا نمود. این امر در نهایت منجر به افزایش کاربرد آب مزرعه تیمار R3 نسبت به مزرعه شاهد R4 شد.

جدول ۳-۴- مشخصات عمق آب آبیاری مزارع تحت پایش در طول فصل رشد (B- جو، W- گندم، R- کلزا و G- سیر)

کد مزرعه	حجم کل آبیاری (m^3)	عمق تجمعی آبیاری (mm)	کاهش عمق آبیاری مزارع تیمار نسبت به مزارع شاهد (%)
W1	۵۵۸۷	۶۹۹	۳۲
W2	۸۵۱۸	۱۰۳۱	
B1	۳۱۶۵	۴۷۹	۱۱
B2	۱۷۱۶	۵۳۸	
R1	۲۲۷۶	۵۵۵	۹
R2	۱۷۶۲	۶۱۰	
R3	۱۸۹۰	۶۲۰	-۱۴
R4	۲۱۵۹	۵۳۴	
G	۲۴۰۳	۷۳۳	



شکل ۲-۴- تصویر شماتیک نحوه آبیاری مزارع R3 و R4

۲-۴- نتایج عملکرد

عملکرد مزارع تحت پایش استان آذربایجان شرقی به سه روش زیر محاسبه گردید: (۱) عملکرد واقعی مزارع ارائه شده توسط زارعین (۲) برداشت نمونه‌های 1×1 از سطح مزارع و برآورد عملکرد هر مزرعه (۳) تخمین عملکرد مزارع با استفاده از شاخص‌های فیزیولوژیک گیاه که نتایج حاصل از آن به تفکیک برای مزارع شاهد و تیمار تحت پایش به شرح جدول ۴-۴ و شکل ۳-۴ است.

جدول ۴-۴- مشخصات عملکرد مزرعه تحت پایش گندم

عملکرد واقعی (کیلوگرم)	دانه	کاه و کلش	کل
در سطح مزرعه	۹۲۵۰	۹۰۰۰	۱۸۲۵۰
در سطح هکتار	۱۱۵۶۷	۱۱۲۵۴	۲۲۸۲۰
میزان عملکرد نمونه برداری (کیلوگرم)			
در سطح مزرعه	۸۸۷۸	۸۴۲۳	۱۷۳۰۱
در سطح هکتار	۱۱۱۰۲	۱۰۵۳۲	۲۱۶۳۴
میزان عملکرد با استفاده از شاخص فیزیولوژیک (کیلوگرم)			
در سطح مزرعه	۹۶۲۷	۸۴۲۳	۱۷۳۰۱
در سطح هکتار	۱۲۰۳۸	۱۰۵۳۲	۲۱۶۳۴

۱-۲-۴- نتایج کلی حاصل از عملکرد دانه محصولات

با بررسی و مقایسه عملکردهای واقعی ارائه شده توسط زارعین و عملکردهای اندازه گیری شده، نتایج کلی زیر حاصل می شود.

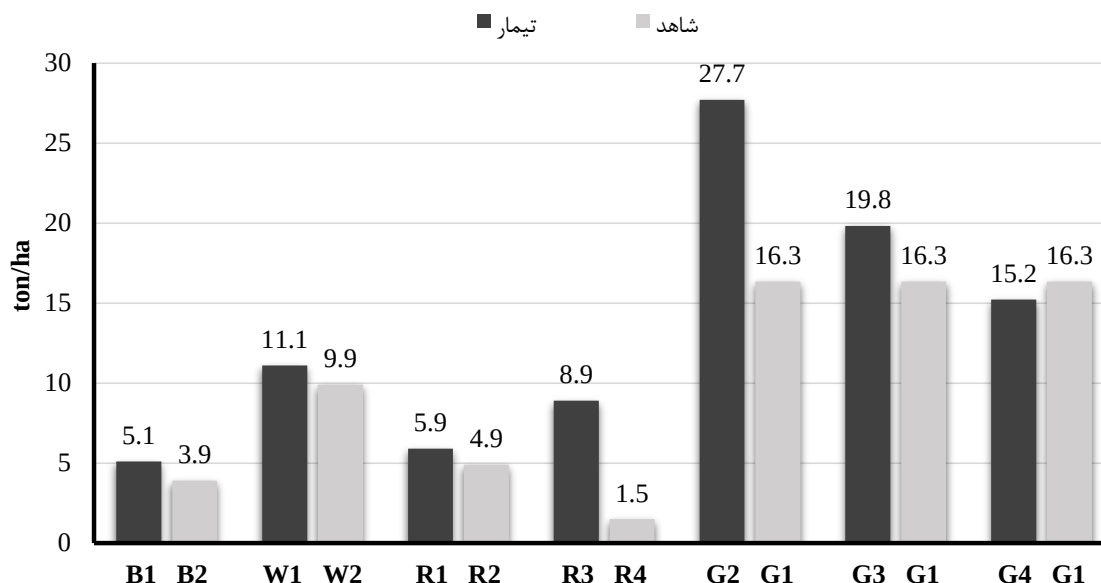
- ۱- تجهیزات و ادوات استاندارد برداشت، سهم زیادی در کاهش تلفات محصول دارد.
- ۲- زمان برداشت مناسب به ویژه در محصول کلزا در کاهش ریزش محصول نقش به سزایی دارد.
- ۳- به نظر می رسد که برخی از زارعین به دلایل مختلف تمایلی به گفتن اطلاعات صحیح عملکرد مزرعه خود را نداشتند.

۲-۲-۴- مقایسه عملکرد مزارع شاهد و تیمار

به منظور مقایسه عملکرد مزارع شاهد با مزارع تیمار به دلیل برابر نبودن مساحت مزارع مذکور، میزان عملکرد از واحد مزرعه به واحد هکتار تبدیل شد. عملکرد دانه به ازای هر دو حالت واقعی و اندازه گیری شده در مزارع تیمار نسبت به مزارع شاهد بیشتر بود. درصد افزایش محصول برای مزارع تیمار $R1$ ، $B1$ ، $W1$ و $R3$ به ازای عملکرد واقعی به ترتیب برابر ۵۳، ۵۷، ۴ و ۸۳ درصد و به ازای اندازه گیری شده ۲۶، ۲۲، ۵ و ۸۳ درصد نسبت به مزرعه شاهد است. در مزرعه $R1$ فناوری اعمال شده تغییر ابعاد کرت مزرعه نسبت به مزرعه شاهد است؛ اگرچه این مهم بر میزان آب کاربردی تأثیر گذاشته است اما تأثیری چندانی بر عملکرد محصول نداشته است؛ بنابراین کمترین درصد افزایش محصول به ازای هر دو حالت برآورد عملکرد متعلق به مزرعه $R1$ است.

عملکرد بلوک‌های شاهد ($G1$) و تیمار، شامل: ($G2$) استفاده از کود ورمی کمپوست، ($G3$) استفاده از مخلوط کود مرغی و ورمی کمپوست به صورت مخلوط در خاک، ($G4$) فسفات آمونیوم به ترتیب برابر بود با ۱۶۳۳۳، ۲۷۷۰۲، ۱۹۸۳۰، ۱۵۲۲۸ کیلوگرم

بر هکتار بود. تیمارهای کودی توانسته است تغییرات زیادی در عملکرد سیر ایجاد کند. بیشترین افزایش عملکرد مربوط به تیمار استفاده از کود ورمی کمپوست است.



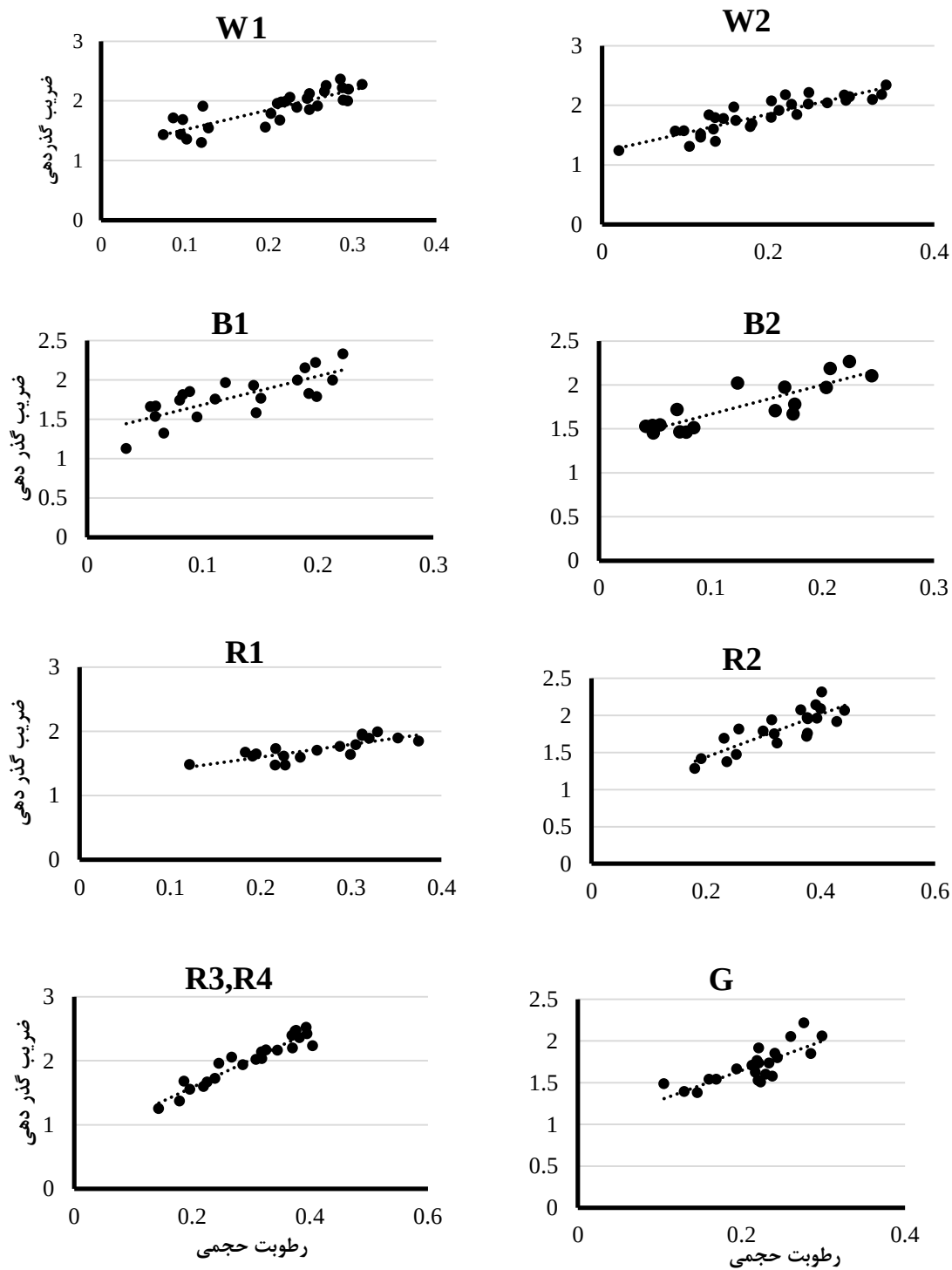
شکل ۳-۴- میزان عملکرد اندازه‌گیری شده دانه در مزارع تحت پایش استان آذربایجان شرقی (B-جو، W-گندم، R-کلزا و G-سیر)

۳-۴- واسنجی و صحت‌سنجی دستگاه رطوبت‌سنج

به منظور عملکرد بهینه دستگاه رطوبت‌سنج در خاک‌های مختلف، دستگاه برای تمامی مزارع مطابق دستورالعمل کاتالوگ سازنده و روش ارائه شده در فصل قبل واسنجی گردید. همچنین جهت ارزیابی عملکرد، با استفاده از ۲۵ درصد از داده‌های رطوبت بدست آمده با استفاده از نمونه‌گیری وزنی هر مزرعه، صحت‌سنجی داده‌های قرائت‌شده توسط دستگاه انجام گرفت. نتایج حاصل از صحت‌سنجی و واسنجی دستگاه در شکل ۴-۴ ارائه شده است.

۳-۴-۱- نتایج حاصل از واسنجی دستگاه رطوبت‌سنج

پس از محاسبه ضریب گذردهی $\sqrt{\varepsilon}$ با استفاده از فرمول (۷) و برازش خطی این ضریب نسبت به θ_{v-0} ضرایب ثابت کالیبره دستگاه a_0 و a_1 برای هریک از مزارع به دست آمد. در شکل ۴-۴ نمودارهای کالیبراسیون دستگاه برای همه مزارع نشان داده شده است. همچنین ضرایب کالیبره دستگاه a_0 و a_1 و مقدار ضریب تعیین R^2 کالیبراسیون دستگاه در جدول ۴-۵ نشان داده شده است. بیشترین مقدار R^2 برای مزرعه R3 و R4 برابر با ۰/۹۱ و کمترین مقدار آن برای مزرعه B1 برابر با ۰/۵۹ به دست آمد.



شکل ۴-۴- نمودارهای کالیبراسیون دستگاه PR2 برای مزارع مطالعاتی آذربایجان شرقی (B- جو، W- گندم، R- کلزا و G سیر)

۴-۳-۲- نتایج حاصل از صحت‌سنجی دستگاه رطوبت‌سنج

داده‌های θ_v-o با θ_v-t ، با استفاده از شاخص‌های آماری نظیر میانگین مربعات خطا (RMSE)، حداکثر خطا (ME)، ضریب تعیین (R^2)، شاخص توافق (d) و ضریب باقی‌مانده (CRM) مقایسه گردید.

بیشترین مقدار RMSE و ME به‌ترتیب برابر ۰/۱۳ و ۰/۲۱ و کمترین مقدار R^2 برابر ۰/۴۳ در مزرعه R_2 اتفاق افتاده است (جدول ۴-۴). این اعداد نشان‌دهنده کارایی ضعیف دستگاه در قرائت رطوبت در این مزرعه است. همچنین مزرعه R_1 نیز با بالا بودن ضرایب RMSE و ME به‌ترتیب برابر ۰/۱۲ و ۰/۱۶ و پایین بودن نسبی مقادیر R^2 و d به‌ترتیب برابر ۰/۶۴ و ۰/۳۶ پس از مزرعه R_2 ضعیف‌ترین عملکرد دستگاه را در برآورد رطوبت داشت. کمترین مقدار RMSE و ME به‌ترتیب برابر ۰/۰۳۷ و ۰/۰۷ و بیشترین مقدار R^2 برابر ۰/۹ در مزرعه R_3, R_4 اتفاق افتاد. این اعداد نشان‌دهنده آن است که دستگاه در این مزرعه رطوبت را به‌خوبی برآورد کرده است. در مزارع W_1, W_2, B_1, B_2 کلیه شاخص‌های آماری محاسبه‌شده به‌طور تقریب در یک محدوده بوده و مقادیر عددی هریک نشان‌دهنده برآورد نسبتاً خوب دستگاه در این مزارع است. ارقام شاخص CRM در مزارع W_1, W_2, B_1 و B_2 با بافت خاک تقریباً سبک منفی و در مزارع R_1, R_2, R_3 و R_4 با بافت خاک سنگین مثبت است؛ بنابراین می‌توان اظهار داشت که رطوبت‌های اندازه‌گیری شده توسط دستگاه در خاک‌های با بافت سنگین کمتر از مقدار واقعی و در خاک‌های با بافت سبک بیشتر از مقدار واقعی بوده است.

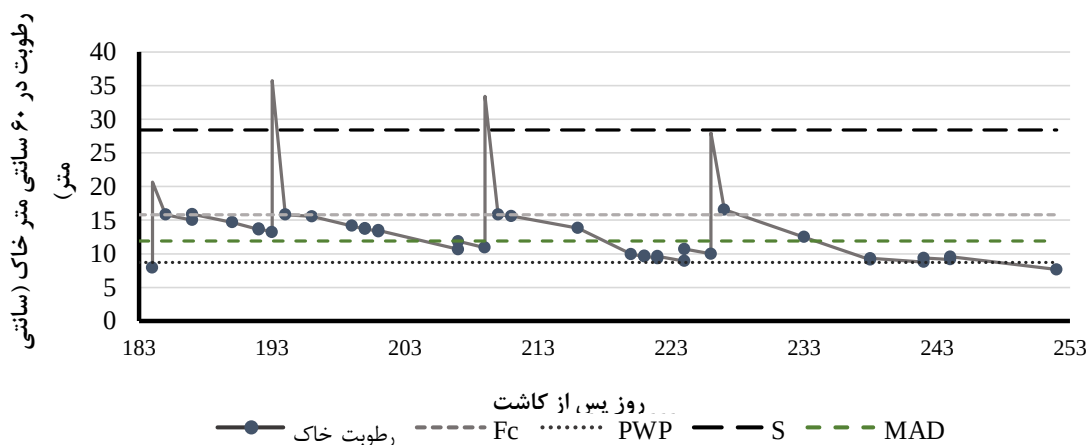
جدول ۴-۵- شاخص‌های آماری صحت‌سنجی و واسنجی و ضرایب ثابت واسنجی دستگاه رطوبت‌سنج (B-جو، W-گندم، R-کلزا و G-سیر)

کد مزرعه	RMSE	d	CRM	MA	R^2		a_0	a_1
					صحت‌سنجی	واسنجی		
W1	۰/۰۷	۰/۸۵	-۰/۲۴	۰/۱	۰/۸۲	۰/۷۱	۱/۱	۳/۳
W2	۰/۰۴۸	۰/۹۲	-۰/۰۵	۰/۰۹	۰/۷۴	۰/۷۸	۱/۲۱	۳/۱۵
B1	۰/۰۵۷	۰/۸۷	-۰/۱۷	۰/۰۸	۰/۷۹	۰/۵۹	۱/۳۱	۳/۶۵
B2	۰/۰۵۶	۰/۹۶	-۰/۳۱	۰/۰۸	۰/۸۹	۰/۷۴	۱/۳	۳/۳
R1	۰/۱۲	۰/۳۶	۰/۴۵	۰/۱۶	۰/۶۴	۰/۶۳	۱/۲	۱/۹۶
R2	۰/۱۳	۰/۵۶	۰/۲۷	۰/۲۱	۰/۴۳	۰/۶۹	۰/۸۵	۲/۸۱
R3,R4	۰/۰۳۸	۰/۸۷	۰/۰۹	۰/۰۷	۰/۹	۰/۹۱	۰/۷۱	۴/۳۵
G	۰/۰۷	۰/۶		۰/۱۲	۰/۵۵		۰/۹۳۲	۳/۵۷

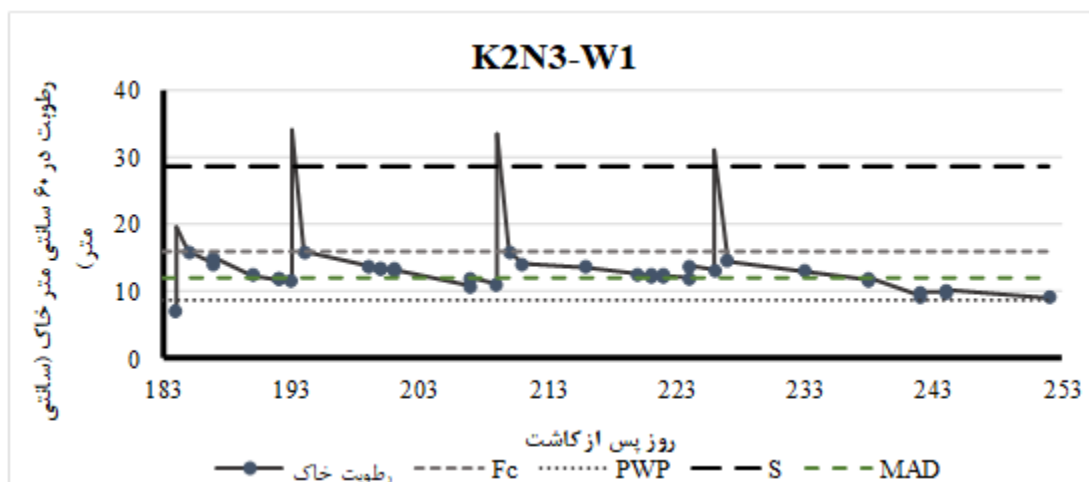
۴-۴- ترسیم منحنی‌های رطوبتی خاک - مزارع استان آذربایجان شرقی

رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه (WC) محاسبه گردید (شکل ۴-۵ و ۴-۶). در مجموع ۹ لوله دسترسی در مزارع گندم، ۷ نقطه در مزارع جو، ۱۳ نقطه در مزارع کلزا و ۶ نقطه در مزرعه سیر کارگذاری و نمودارهای رطوبتی برای آن‌ها تهیه شد. هر منحنی با حروف لاتین نام‌گذاری شده است که حرف بخش اول مشخصات نقطه لوله‌گذاری و بخش دوم کد مزرعه مطابق با جدول ۴-۶ است. به عنوان مثال K1N1-W1 یعنی کرت اول و نقطه اول در مزرعه تیمار گندم یا N2-R2 یعنی نقطه دوم در مزرعه شاهد کلزا عجب‌شیر. نمودارهای که با پیشوند O نمایش داده می‌شود، نمودارهای رطوبتی مشاهدتی است و داده‌های رطوبتی آن با استفاده از اوگر برداشت شده است. در این نمودارها محور Y بیانگر روزهای پایش مزرعه از اولین روزی که رطوبت برداشت شده تا آخرین روز برداشت رطوبت و محور Xها بیانگر میزان رطوبت برحسب سانتی‌متر در ۶۰ سانتی‌متر خاک است.

O-W1



شکل ۴-۵- منحنی تغییرات رطوبتی خاک از عمق ۰ تا ۶۰ سانتی‌متری در نقاط نمونه‌برداری شده با استفاده از نمونه‌گیری وزنی در مزرعه تیمار گندم- بناب



شکل ۴-۶- منحنی تغییرات رطوبتی خاک از عمق ۰ تا ۶۰ سانتی‌متری در کرت ۲ و نقطه ۳ لوله‌گذاری شده در مزرعه تیمار گندم- بناب

جدول ۴-۶- مشخصات نقاط لوله‌گذاری در مزارع تحت پایش آذربایجان شرقی (B- جو، W- گندم، R- کلزا و G- سیر)

ردیف	کد مزرعه	شهرستان	روستا	محصول	نام زارع	نوع مزرعه	تعداد نقطه لوله‌گذاری
۱	W1	بناب	قره چیق	گندم	رستمیان	تیمار	۵
۲	W2	بناب	قره چیق	گندم	بابائیان	شاهد	۴
۳	B1	بناب	آخوند قشلاق	جو	مراد زکی	تیمار	۴
۴	B2	بناب	آخوند قشلاق	جو	برادر زکی	شاهد	۳
۵	R1	عجب‌شیر	خضرلو	کلزا	آشنایی	تیمار	۴
۶	R2	عجب‌شیر	خضرلو	کلزا	سعیدی‌آذر	شاهد	۴
۷	R3	اسکو	مهدینلو	کلزا	انصاری	تیمار	۱
۸	R4	اسکو	مهدینلو	کلزا	انصاری	شاهد	۴
۹	G	آذرشهر	تیمورلو	سیر	نصرتی	تیمار و شاهد	۶

۴-۵- نتایج کلی حاصل از منحنی‌های رطوبتی خاک

شرایط رطوبتی خاک پویا بوده، به این مفهوم که مشخصات رطوبتی خاک از نقطه‌ای به نقطه دیگر قابل تغییر است. با مقایسه منحنی‌های رطوبتی ترسیم‌شده به‌وضوح مشخص است که روند تغییرات رطوبت در نقاط مختلف لوله‌گذاری در یک مزرعه متفاوت است. حتی تغییرات روند رطوبت بین دو بازه اندازه‌گیری بافاصله کم نیز در بعضی موارد با یکدیگر مغایرت دارد. با این توضیح نمی‌توان استدلال و دلایل روشنی به‌منظور تغییرات رطوبت به ازای تک‌تک منحنی‌های رطوبتی ارائه داد. به‌عنوان مثال گرچه می‌توان افزایش شیب تغییرات رطوبت بعد از آبیاری را متوجه افزایش بخش تبخیر دانست، اما این افزایش در تمام دفعات بعد از آبیاری به وقوع نپیوسته است؛ بنابراین به نظر می‌رسد به دلیل پیچیدگی‌های محیط آب‌و‌خاک و عوامل متعدد تأثیرگذار بر آن، نمی‌توان نتایج مشخصی در خصوص جزئیات تغییرات رطوبت خاک ارائه نمود. با این وجود با مشاهده منحنی‌های رطوبتی مزارع تحت پایش می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- ۱- روند تغییرات منحنی‌های رطوبت خاک به‌دست‌آمده با استفاده از نمونه‌گیری وزنی، نسبت به منحنی‌های ترسیم‌شده با استفاده از قرائت‌های دستگاه رطوبت‌سنج منطقی‌تر هست.
- ۲- با توجه به این‌که در قرائت‌های رطوبت خاک توسط دستگاه (PR2) به میزان ناچیز تا تقریباً زیاد (بسته به مزرعه) با توجه به نتایج صحت‌سنجی دستگاه، خطا وجود داشت، تغییرات منحنی‌های رطوبت خاک حاصل از داده‌های دستگاه در بعضی از موارد خارج از منطق است.

۴-۶- نتایج حاصل از نفوذ عمقی و راندمان کاربرد

نفوذ عمقی (dp) و راندمان کاربرد آب (Ea) برای دفعات آبیاری‌های پایش شده به ازای هر ۴۳ منحنی رطوبت خاک با استفاده از روابط و توضیحات ارائه‌شده در فصل مواد و روش‌ها محاسبه گردید. در جدول ۴-۷ نتایج حاصل از مزرعه W1 به‌عنوان نمونه نشان داده شده است. مقادیر dp و Ea به ازای مکان‌های مختلف اندازه‌گیری رطوبت خاک در مزرعه در یک نوبت آبیاری با یکدیگر متفاوت بودند. علاوه بر آن، در مقادیر ذکرشده به ازای نوبت‌های مختلف آبیاری نیز تفاوت وجود داشت.

جدول ۴-۷- نفوذ عمقی (dp) و راندمان کاربرد (Ea) با استفاده از منحنی‌های رطوبت خاک در مزرعه W1

نوبت آبیاری		اول		دوم		سوم		چهارم
نقاط اندازه‌گیری		dp	Ea	dp	Ea	dp	Ea	dp
		(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)
K1N1		۱۱	۹۱	۱۲۱	۴۶	۱۸۸	۱۶	۱۲۵
K1N2		۳۴	۷۳	۲۱۶	۴	۱۶۵	۲۷	۱۶۰
K2N1		۲۹	۷۷	۱۵۰	۳۳	۱۶۷	۲۶	۱۳۰
K2N2		۲۲	۸۲	۱۸۲	۱۹	۱۱۴	۴۹	۱۳۹
K2N3		۳۱	۷۶	۱۷۵	۲۲	۱۵۸	۳۰	۱۴۴
O		۴۲	۶۷	۱۹۲	۱۵	۱۷۴	۲۳	۱۱۳

عوامل تأثیرگذار متعددی موجب اختلاف ارقام در پارامترهای مذکور در این مزرعه و سایر مزارع مورد مطالعه می‌گردید که ازجمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- ۱- افزایش و یا کاهش فاصله بین دو نوبت آبیاری متوالی و به بیان ساده‌تر عدم رعایت فاصله زمانی بین دو نوبت آبیاری متوالی تأثیر بسزایی در میزان نفوذ عمقی و راندمان کاربرد مزرعه داشت. به‌طور مثال زمانی که بافاصله کم بعد از یک آبیاری، آبیاری مجدد انجام می‌گرفت به دلیل رطوبت بالای خاک، عمده آب صرف نفوذ عمقی می‌شد.
- ۲- افزایش و یا کاهش شدت ورودی جریان به مزرعه به‌این‌ترتیب که جریان با دبی خیلی کم به سبب طولانی شدن فاز پیش‌روی، موجب افزایش نفوذ عمقی و به طبع آن کاهش راندمان کاربرد شده و جریان ورودی خیلی زیاد نیز به دلیل عدم کنترل زارع در آبیاری می‌تواند به‌نوعی منجر به افزایش نفوذ عمقی و کاهش راندمان در مزرعه گردد.
- ۳- بافت خاک نیز به‌عنوان یکی از عوامل تأثیرگذار محسوب شده به این صورت که هرچه بافت خاک سبک‌تر باشد، نفوذ عمقی بیشتر خواهد بود. علت این امر سرعت نفوذ بالای آب در خاک‌های سبک است. در خاک‌های سنگین به دلیل نفوذپذیری کم خاک، سرعت پیشروی آب در خاک بیشتر است، به این دلیل نفوذپذیری آب در خاک‌های سنگین به‌خصوص در ابتدای کرت‌ها نسبت به خاک‌های سبک کمتر است.
- ۴- بارش‌های وقوع یافته قبل از آبیاری سهم عمده‌ای در کاهش عمق آبیاری، نفوذ عمقی و افزایش راندمان کاربرد داشت. به دلیل اینکه وقوع بارش باعث خیس شدن لایه سطحی خاک و افزایش سرعت پیشروی در خاک می‌شود.
- ۵- عمق آبیاری و مسطح بودن زمین نیز ازجمله عوامل تأثیرگذار بر نفوذ عمقی و راندمان کاربرد بود، به‌این‌ترتیب که عمق آبیاری بیش از اندازه باعث افزایش نفوذ عمقی و کاهش راندمان کاربرد می‌شد، همچنین تسطیح مناسب زمین به دلیل پخش مناسب آب در قسمت‌های مختلف مزرعه، افزایش راندمان کاربرد و کاهش نفوذ عمقی را به همراه داشت. قرار گرفتن نقاط اندازه‌گیری با امکان دسترسی به آب بیشتر یا کمتر در سطح مزرعه (به‌عنوان عامل اختلاف نقاط اندازه‌گیری در یک نوبت آبیاری) به‌خصوص در مکان‌هایی که فاصله بین دو لوله دسترسی اندازه‌گیری رطوبت خاک کم، اما اختلاف ارقام زیاد است.
- ۶- مهارت و دانش کشاورز در آبیاری و تحویل حجم آب موردنیاز به هر کرت می‌تواند تأثیر بسزایی در میزان نفوذ عمقی و راندمان کاربرد آب در مزرعه داشته باشد.

بنابراین همان‌طور که ذکر شد علت اختلاف ارقام dp و Ea به ازای مکان‌های مختلف اندازه‌گیری، دفعات آبیاری مختلف و مزارع

مختلف با یکدیگر می‌تواند به دلیل یک یا چند مورد از عوامل ذکر شده باشد.

در مزرعه سیر نوبت آبیاری پنجم به دلیل مشکل پیش‌آمده برای پمپ آبیاری و انجام دو آبیاری با عمق کم، نفوذ عمقی در کلیه لوله‌های دسترسی و اندازه‌گیری شده صفر است. همچنین علاوه بر موارد ذکر شده فوق قابل ذکر است در مزرعه سیر فاصله کم بین دو آبیاری و بالا بودن رطوبت در محیط ریشه در نوبت آبیاری چهارم، منجر به افزایش نفوذ عمقی و کاهش راندمان کاربرد گردید. فاصله زمانی زیاد بین آبیاری ششم و هفتم موجب خشکی محیط ریشه در نوبت آبیاری هفتم شد که همین خشکی مانع از نفوذ عمقی زیاد گردید. با توجه به فاصله زمانی کم بین آبیاری پنجم و ششم و همچنین وقوع بارش‌های متعدد در این بازه‌ی زمانی، آبیاری ششم با وجود عمق آبیاری کمتر، نسبت به آبیاری هفتم دارای نفوذ عمقی بیشتر و به طبع آن راندمان کاربرد کمتری است.

میانگین مقادیر Ea و dp مجموع لوله‌های دسترسی قرائت رطوبت خاک در یک مزرعه به‌عنوان متوسط راندمان کاربرد و نفوذ عمقی هر نوبت آبیاری لحاظ شد. همچنین میانگین Ea و dp تمام آبیاری‌های پایش شده در یک مزرعه به‌عنوان متوسط راندمان کاربرد و نفوذ عمقی کل فصل رشد منظور گردید. نتایج حاصل به ازای داده‌های رطوبتی θ_v-t در جدول ۴-۸ نشان داده شده است.

جدول ۴-۸- متوسط مقادیر نفوذ عمقی (dp) و راندمان کاربرد (Ea) برای هر نوبت آبیاری و کل فصل رشد با استفاده از داده‌های

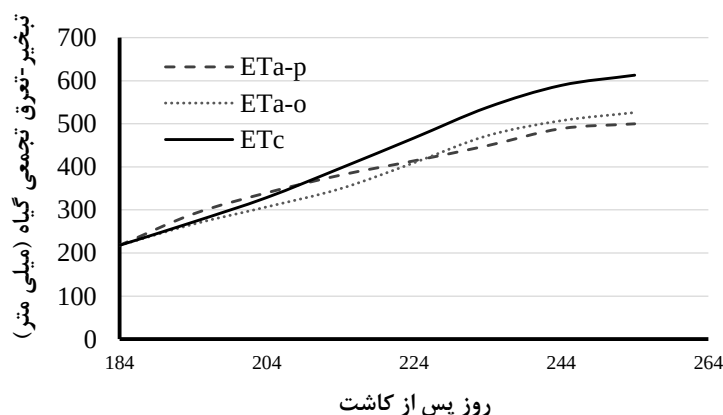
رطوبتی (θ_v-t)

Ea (%)				dp (mm)				شرح	کد مزرعه
۲۲	۳۰	۲۵	۸۰	۱۴۰	۱۵۸	۱۶۹	۲۶	میانگین هر نوبت آبیاری	W1
۳۹				۱۲۳				میانگین فصل رشد	
۳۰	۳۷	۲۴		۱۲۱	۱۳۶	۳۲۱		میانگین هر نوبت آبیاری	W2
۳۱				۱۹۳				میانگین فصل رشد	
۵۴				۵۱				میانگین هر نوبت آبیاری	B1
۵۴				۵۱				میانگین فصل رشد	
۶۳		۳۶		۴۴		۱۵۲		میانگین هر نوبت آبیاری	B2
۵۰				۹۸				میانگین فصل رشد	
۷۶	۵۸	۴۴		۲۴	۵۳	۶۱		میانگین هر نوبت آبیاری	R1
۵۹				۴۶				میانگین فصل رشد	
۶۹		۷۲		۴۱		۲۴		میانگین هر نوبت آبیاری	R2
۷۰				۳۳				میانگین فصل رشد	
۵۵		۵۸		۵۵		۵۰		میانگین هر نوبت آبیاری	R3
۵۶				۵۲				میانگین فصل رشد	
۷۷		۶۵		۲۳		۳۵		میانگین هر نوبت آبیاری	R4
۷۱				۲۹				میانگین فصل رشد	
۸۳	۷۲	۷۳		۱۹	۳۵	۳۳		میانگین هر نوبت آبیاری	G1
۷۶				۲۹				میانگین فصل رشد	

۷-۴- نتایج حاصل از تبخیر- تعرق مزارع

با استفاده از داده‌های رطوبت بدست آمده از قرائت‌های رطوبتی دستگاه PR2 (ETa-p) و نمونه‌گیری وزنی (ETa-o) مطابق آنچه در قسمت (۲-۳-۲) گفته شد، تبخیر- تعرق واقعی مزارع (ETa) محاسبه گردید. همان‌طور که قبلاً اشاره شد در دوره‌هایی که داده‌های رطوبتی مزارع پایش نشده بود، میزان تبخیر- تعرق روزانه مطابق با تبخیر- تعرق پتانسیل ETc در نظر گرفته شد. ETc نیز با داشتن تبخیر- تعرق گیاه مرجع چمن و ضرایب گیاهی (مطابق روش‌های گفته‌شده در فصل سوم) محاسبه گردید.

نمونه‌ای از منحنی‌های تبخیر- تعرق تجمعی، واقعی و پتانسیل محصولات مطالعاتی در شکل ۷-۴ نشان داده شده است. بیشترین و کمترین مقدار تبخیر- تعرق واقعی در طول فصل رشد (ETc-s) به ترتیب مربوط به مزرعه R1 (کلزا) با ۶۵۶ و مزرعه B1 (جو) با ۴۳۱ میلی‌متر است. بیشترین و کمترین مقادیر تبخیر- تعرق واقعی در طول فصل رشد بر اساس نمونه‌گیری وزنی (ETa.o-s) نیز مربوط به مزرعه R1 (کلزا) با ۶۵۲ و مزرعه B1 (جو) با ۴۰۶ میلی‌متر است. همچنین بیشترین و کمترین مقادیر تبخیر- تعرق واقعی در طول فصل رشد که دستگاه PR2 تعیین شد (ETa.p-s) نیز مربوط به مزرعه R2 (کلزا) با ۵۹۲ و مزرعه B1 (جو) با ۳۸۸ میلی‌متر است.



شکل ۷-۴- تبخیر- تعرق تجمعی مزارع مطالعاتی- مزرعه گندم آقای ابراهیمی (W1) و (ETc)- تبخیر- تعرق پتانسیل، ETa-o تبخیر- تعرق واقعی بر اساس نمونه‌گیری وزنی، ETa-p تبخیر- تعرق واقعی توسط دستگاه (PR2)

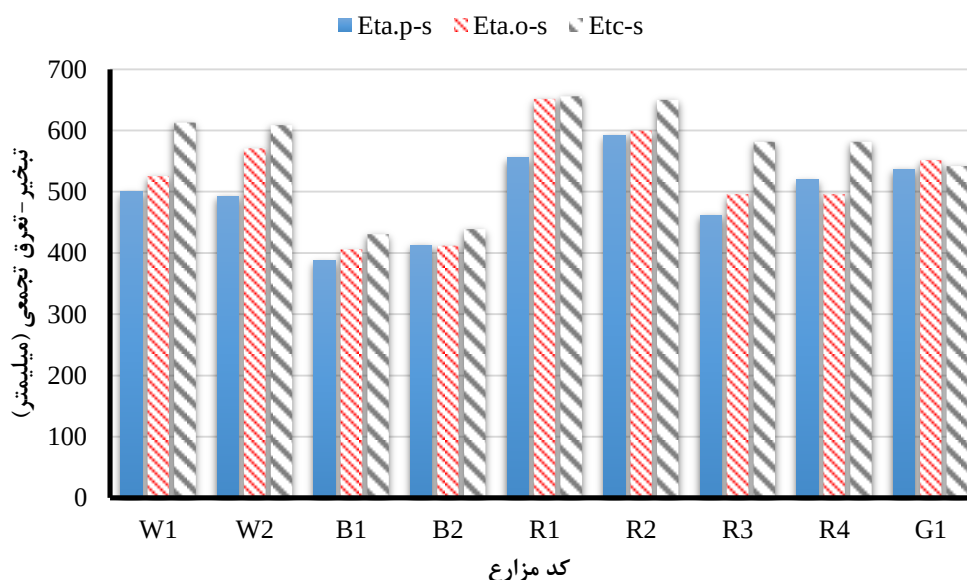
مقدار ETc-s در مزارع گندم W1 و W2 به ترتیب برابر ۶۱۳ و ۶۰۹ میلی‌متر بدست آمد. مقدار ETc-s در مزارع جو B1 و B2 به ترتیب ۴۳۱ و ۴۳۰ میلی‌متر بدست آمد. مقدار ETc-s در مزارع کلزا R3 و R4 ۵۸۲ و ۵۸۲ میلی‌متر و در مزارع کلزا R1 و R2 به ترتیب ۶۵۶ و ۶۵۰ میلی‌متر بدست آمد. همچنین مقادیر تبخیر- تعرق واقعی تجمعی گیاه در این تحقیق به ازای هر دو روش اندازه‌گیری برای محصول کلزا در هر ۴ مزرعه، در بازه ۴۶۲ تا ۶۵۲ میلی‌متر بدست آمد.

به منظور مقایسه مقادیر ETc-s با ETa.o-s و ETa.p-s با یکدیگر نمودار ستونی آن‌ها برای همه مزارع رسم گردید (شکل ۸-۴). نتایج نشان‌دهنده آن است که در همه مزارع مقدار ETc-s از مقادیر ETa.o-s و ETa.p-s به مقدار اندکی بیشتر است. این موضوع بیانگر آن است که شرایط واقعی تبخیر- تعرق مزارع، مطابق شرایط استاندارد نبوده و ممکن است به دلایل مختلف اعم از

تنش شوری و آبی، تراکم کشت پایین و ... میزان تبخیر- تعرق واقعی مزارع مطابق آنچه حاصل نتایج است، پایین‌تر از تبخیر- تعرق پتانسیل یا استاندارد باشد (Allen et al., 1998). همچنین مقادیر $ET_{a.o-s}$ در مقایسه با $ET_{a.p-s}$ در مزارع B1، W2، W1، R1، R2، R3، R4 بیشتر، در مزرعه B2 برابر و تنها در مزرعه R4 کمتر است.

$ET_{a.o-s}$ سیر در طول دوره رشد برابر با ۵۵۲ میلی‌متر برآورد گردید. همچنین به دلیل اینکه پایش در کل دوره‌ی رشد گیاه انجام نشد و تنها در بهار میسر گردید، تبخیر- تعرق واقعی روزانه در دوره‌ای که اطلاعات رطوبتی برداشت نشد، برابر با میزان تبخیر- تعرق پتانسیل روزانه فرض شد. به‌طوری‌که مجموع تبخیر- تعرق پتانسیل تا قبل از پایش برابر با ۲۸۳ میلی‌متر برآورد شد. همچنین میزان تبخیر- تعرق گیاه سیر با استفاده از لوله‌های دسترسی نیز محاسبه شد ($ET_{a.p-s}$) که نتایج آن ارائه شده است. $ET_{a.p-s}$ برابر با ۵۳۷ میلی‌متر برآورد گردید که به دلیل دقت پایین دستگاه در برآورد رطوبت قابل استناد نیست و صرفاً جهت مقایسه ذکر شده است. همچنین ET_c نیز برابر با ۵۴۲ میلی‌متر محاسبه شد.

میزان $ET_{a.o-s}$ و $ET_{a.p-s}$ بیشتر از ET_c است که در توجیه این امر می‌توان به نبود ایستگاه هواشناسی در منطقه مورد مطالعه، کیفیت پایین داده‌های هواشناسی در برآورد ET_o و یکسان نبودن ویژگی‌های گیاه و خصوصیات منطقه رشد، با شرایط در نظر گرفته شده توسط فائو و روش مورد استفاده در تعیین ET_o و همچنین عدم واسنجی و تصحیح روش پنمن- مانتیت و ضرایب گیاهی برای منطقه مورد مطالعه اشاره کرد.



شکل ۴-۸- مقایسه مقادیر تبخیر- تعرق واقعی گیاه (با هر دو روش اندازه‌گیری) و تبخیر- تعرق پتانسیل فصلی گیاه (B- جو، W- گندم، R- کلزا و G سیر) و ET_c-s - تبخیر- تعرق پتانسیل در طول فصل رشد، $ET_{a.o-s}$ تبخیر- تعرق واقعی در طول فصل رشد بر اساس نمونه‌گیری وزنی، $ET_{a.p-s}$ تبخیر- تعرق واقعی در طول فصل رشد که دستگاه PR2 تعیین شد.

۴-۸- بیلان آبی در مزارع تحت پایش

از تفاضل حجم آب کاربردی با میزان تبخیر- تعرق واقعی بر اساس داده‌های مشاهداتی، میزان نفوذ عمقی در مزارع مختلف محاسبه گردید. طبق جدول ۴-۹ در مزارع تیمار کلزا و یکی از مزارع شاهد کلزا به دلیل انجام کم آبیاری میزان نفوذ عمقی به صفر رسیده است و حجم آب کاربردی از حجم تبخیر- تعرق واقعی کمتر است که می‌تواند موجب ایجاد تنش در گیاه شده باشد.

جدول ۴-۹- بیلان آبی مزارع تحت پایش استان آذربایجان شرقی

نام زارع	تیمار/ شاهد	محصول	حجم آبیاری	بارندگی مؤثر	حجم آب کاربردی	تبخیر-تعرق واقعی (بر اساس نقاط لوله‌گذاری)	تبخیر-تعرق واقعی (بر اساس داده‌های مشاهداتی)	تبخیر-تعرق پتانسیل	نفوذ عمقی
			(m ³ /ha)	(m ³ /ha)	(m ³ /ha)	(m ³ /ha)	(m ³ /ha)	(m ³ /ha)	(m ³ /ha)
برادر زکی	شاهد	جو	۵۳۷۸	۶۶۴	۶۰۴۲	۴۱۳۰	۴۱۲۰	۴۳۹۰	۱۹۲۲
مراد زکی	تیمار	جو	۴۷۸۹	۶۶۴	۵۴۵۳	۳۸۸۰	۴۰۶۰	۴۳۱۰	۱۳۹۳
بابائیان	شاهد	گندم	۱۰۳۰۷	۶۶۴	۱۰۹۷۱	۴۹۳۰	۵۷۱۰	۶۰۹۰	۵۲۶۱
رستمیان	تیمار	گندم	۶۹۸۶	۹۲۰	۷۹۰۶	۵۰۰۰	۵۲۶۰	۶۱۳۰	۲۶۴۶
آشنایی	تیمار	کلزا	۵۵۴۶	۵۲۶/۴	۶۰۷۲/۴	۵۵۶۰	۶۵۲۰	۶۵۶۰	۰
سعیدی‌آذر	شاهد	کلزا	۶۰۹۴	۵۲۶/۴	۶۶۲۰/۴	۵۹۲۰	۶۰۰۰	۶۵۰۰	۰
انصاری	تیمار	کلزا	۶۱۹۶	۵۲۶/۴	۶۷۲۳/۴	۴۶۲۰	۴۹۶۰	۵۸۲۰	۰
انصاری	شاهد	کلزا	۵۲۵۹	۵۲۶/۴	۵۷۸۵/۴	۵۲۰۰	۴۹۶۰	۵۸۲۰	۱۳۹/۴
نصرتی	تیمار و شاهد	سیر	۷۳۳۳	۱۹۲۱	۹۲۵۴/۳	۵۳۷۰	۵۵۲۰	۵۴۲۰	۳۰۳

۹-۴- شاخص‌های بهره‌وری و کارایی مصرف آب

پس از محاسبه عمق آبیاری تجمعی، بارش مؤثر، تبخیر- تعرق واقعی و عملکرد محصولات، شاخص‌های بهره‌وری و کارایی مصرف آب با استفاده از معادلات ارائه‌شده در فصل دوم محاسبه گردید (جدول ۴-۹). شاخص‌های مذکور به دو صورت محاسبه گردید. در حالت اول (WPa, WUEa) عملکرد واقعی مزارع Yca (عملکرد ارائه‌شده توسط کشاورز) مبنای محاسبات قرار گرفت و در حالت دوم (WPm, WUEm) عملکرد اندازه‌گیری شده Ycm (با استفاده از نمونه‌برداری از مزارع) مبنای محاسبات قرار گرفت. علاوه بر آن همان‌گونه که در بخش قبل توضیح داده‌شده تبخیر- تعرق واقعی نیز توسط رطوبت بدست آمده با استفاده از نمونه‌گیری وزنی ETa.o-s و داده‌های رطوبتی دستگاه رطوبت‌سنج ETa.p-s به دو صورت محاسبه گردید که به دلیل نزدیکی تقریبی هر دو حالت محاسبه‌شده، اطمینان بیشتر رطوبت بدست آمده با استفاده از نمونه‌گیری وزنی و کاهش محاسبات مربوط به شاخص‌های بهره‌وری و کارایی مصرف آب ETa.o-s به‌عنوان مبنای محاسبات قرار گرفت.

۹-۴-۱- نتایج حاصل از شاخص بهره‌وری آب

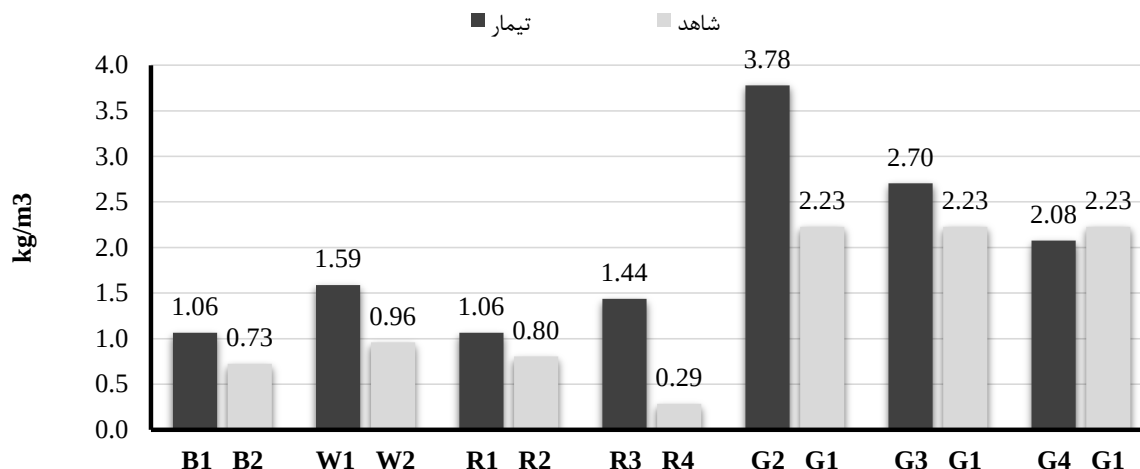
شاخص‌های بهره‌وری (WP) یکی از شاخص‌های مهم برای ارزیابی مزارع است. شکل ۴-۹ میزان بهره‌وری محصولات مختلف در مزارع تیمار و شاهد را مقایسه می‌کند.

بهره‌وری آب، محصول گندم به ازای مزارع شاهد و تیمار و همچنین روش‌های مختلف اندازه‌گیری در بازه ۰/۴۴ تا ۱/۲۲ (کیلوگرم بر مترمکعب) قرار دارد. به نظر می‌رسد در منطقه مورد مطالعه، بهره‌وری آب در سال‌های اخیر روندی صعودی داشته است. در تحقیق دهقان و همکاران (۱۳۸۸) میزان بهره‌وری آب در استان آذربایجان شرقی برای گندم بر اساس داده‌ها سال ۱۳۷۵ بین بازه ۰/۱۱ تا ۰/۴۴ گزارش شده است. مقایسه این اعداد با ارقام به‌دست‌آمده حاصل از این تحقیق و همچنین ارقام بهره‌وری اخیر سایر استان‌های کشور نشان‌دهنده افزایش میزان بهره‌وری آب محصول گندم در منطقه مطالعاتی است.

بهره‌وری آب محصول جو به ازای مزارع پایش شده و روش‌های مختلف اندازه‌گیری در بازه ۰/۳۴ تا ۰/۸۴ (کیلوگرم بر مترمکعب) قرار دارد. میزان بهره‌وری آب محصول جو در استان آذربایجان شرقی بر اساس داده‌های سال ۱۳۷۵ در بازه ۰/۱۲ تا ۰/۴۵ گزارش شد (دهقان و همکاران، ۱۳۸۸).

بهره‌وری آب محصول کلزا در این تحقیق، با استفاده از روش‌های مختلف اندازه‌گیری در بازه ۰/۰۸ تا ۱/۱ (کیلوگرم بر مترمکعب) قرار گرفت. مقدار کم، حد پایین این بازه به دلیل فقیر بودن خاک مزرعه مورد مطالعه و عملکرد به‌شدت پایین مزرعه بود.

بهره‌وری آب محصول سیر با استفاده از روش‌های مختلف اندازه‌گیری در بازه ۲/۰۸ تا ۳/۷۸ (کیلوگرم بر مترمکعب) قرار گرفت که بیشتر از ارقام گزارش‌شده توسط زارع ابیانه و همکاران (۱۳۸۷) است. دلیل این افزایش با توجه به تعریف بهره‌وری و کارایی مصرف آب، عملکرد بالای سیر در مزرعه به دلیل دریافت آب کافی در طول دوره‌ی رشد گیاه و تیمارهای کودی شامل (G2) استفاده از کود ورمی‌کمپوست (G3) استفاده از مخلوط کود مرگی و ورمی‌کمپوست به‌صورت مخلوط در خاک (G4) فسفات آمونیوم است. بهره‌وری آب برای شاهد و تیمارهای کودی زراعت سیر به‌ترتیب برابر است با ۲/۲۳، ۳/۷۸، ۲/۷۰ و ۲/۰۸ کیلوگرم بر مترمکعب بدست آمده است.



شکل ۴-۹- میزان بهره‌وری آب در مزارع تحت پایش استان آذربایجان شرقی (B- جو، W- گندم، R- کلزا و G سیر)

۴-۹-۲- نتایج حاصل از شاخص بهره‌وری (WP) و کارایی مصرف آب (WUE)

کارایی مصرف آب محصولات گندم، جو، کلزا و سیر به ازای مزارع شاهد و تیمار و همچنین روش‌های مختلف اندازه‌گیری به ترتیب در بازه (۰/۹۵ تا ۲/۲۲)، (۰/۶۱ تا ۱/۴۲)، (۰/۱۲ تا ۱/۹۲) و (۳/۴۷ تا ۵/۴) کیلوگرم بر مترمکعب قرار دارد (جدول ۴-۱۰).

جدول ۴-۱۰- شاخص‌های بهره‌وری (WP) و کارایی مصرف (WUE) آب مزارع تحت پایش آذربایجان شرقی

کد مزرعه	$\sum I + \sum Re$ (mm)	$\sum I$	$ETa.o-s$	Y_{ca} (kg/Farm)	Y_{cm} (kg/Farm)	WPa	WUEa	Wpm	WUEm
								(kg/m³)	
W1	۹۵۰	۶۹۹	۵۲۶	۹۲۵۰	۸۸۷۸	۱/۲۲	۲/۲	۱/۱۷	۲/۱۱
W2	۱۲۴۸	۱۰۳۱	۵۷۱	۴۵۰۰	۸۲۳۲	۰/۴۴	۰/۹۵	۰/۸	۱/۷۴
B1	۶۸۴	۴۷۹	۴۰۶	۳۸۱۰	۳۳۴۲	۰/۸۴	۱/۴۲	۰/۷۴	۱/۲۵
B2	۷۳۴	۵۳۸	۴۱۲	۸۰۰	۱۲۵۹	۰/۳۴	۰/۶۱	۰/۵۴	۰/۹۶
R1	۸۰۵	۵۵۵	۶۵۲	۱۰۰۰	۲۴۳۰	۰/۳	۰/۳۷	۰/۷۴	۰/۹۱
R2	۸۶۰	۶۱۰	۶۰۰	۶۷۵	۱۶۲۳	۰/۲۷	۰/۳۹	۰/۶۵	۰/۹۴
R3	۸۰۲	۶۱۵	۴۶۲	۱۰۷	۲۷۱	۰/۴۴	۰/۷۶	۱/۱۱	۱/۹۲
R4	۷۲۱	۵۳۴	۵۲۰	۲۴۷	۶۰۸	۰/۰۸	۰/۱۲	۰/۲۱	۰/۲۹
G	۹۲۵/۴	۷۳۳/۳	۵۵۲	۶۲۷۰	۹۷۴۴	۲/۰۷	۳/۴۷	۳/۲	۵/۴

* $ETc - ETa.o-s$ تبخیر-تعرق واقعی در طول فصل رشد بر اساس نمونه‌گیری وزنی، I - عمق آب آبیاری، Re - عمق بارش موثر، Y_{ca} عملکرد ارائه‌شده توسط کشاورز، Y_{cm} عملکرد اندازه‌گیری شده در مزرعه، WPa و $WUEa$ بهره‌وری و کارایی مصرف آب بر اساس عملکرد ارائه شده توسط کشاورز، Wpm و $WUEm$ بهره‌وری و کارایی مصرف آب بر اساس عملکرد اندازه‌گیری شده در مزرعه.

فصل پنجم

اثر بخشی تکنیک‌های به‌زراعی بر کاهش آب ورودی به

مزرعه در استان آذربایجان غربی

۵-۱- نتایج حاصل از پایش آبیاری مزارع

فلوم‌های WSC و خط‌کش جت برای اندازه‌گیری آب در مزارع استفاده شد. مطابق حجم آب ورودی به قطعه تحت آبیاری و مساحت قطعه آبیاری، عمق آب آبیاری محاسبه گردید. آبیاری اول مربوط به خاک‌آب و بقیه مربوط به طول دوره‌ی رشد است که در اردیبهشت و خردادماه انجام شده است.

چهار نوبت آبیاری در مزارع W3 تا W7 با استفاده از آب چاه صورت گرفت (جدول ۵-۱). در مجموع دفعات آبیاری صورت گرفته، بیشترین عمق آبیاری ۲۷۹ میلی‌متر و کمترین آن ۶۵ میلی‌متر است که هر دو در مزرعه W5 وقوع یافته است. محصولات بهاره با توجه به نوع محصول ۴ تا ۷ نوبت آبیاری شده‌اند. میزان آب کاربردی در جدول ۵-۱ و شکل ۵-۱ نشان داده شده است.

جدول ۵-۱- اطلاعات آبیاری مزارع تحت پایش- ارومیه

محصول	کد مزرعه	نام زارع	تیمار/ شاهد	نوبت آبیاری	زمان آبیاری تاریخ	منبع آب	حجم آب ورودی (m ³ /ha)	حجم آب ورودی به مزرعه (m ³)	عمق آب آبیاری (mm)	نحوه پایش آبیاری مزارع
گندم	W3	یحیی ابراهیمی	تیمار	۱	۹۴/۰۸/۰۴	چاه	۱۲۳۳	۲۴۶/۶۶	۱۲۳	اندازه گیری دقیق
				۲	۹۵/۰۲/۱۵	چاه	۱۷۹۳	۳۵۸/۶	۱۷۹/۳	اندازه گیری دقیق
				۳	۹۵/۰۲/۳۱	چاه	۱۲۴۲	۲۴۸/۴	۱۲۴/۲	اندازه گیری دقیق
				۴	۹۵/۰۳/۱۷	چاه	۱۷۷۴	۳۵۴/۸	۱۷۷/۴	اندازه گیری دقیق
	W4	قهرمان اصغری	تیمار	۱	۹۴/۰۷/۲۳	چاه	۱۲۰۶	۴۸۲/۴	۱۲۰/۶	اطلاعات کشاورز
				۲	۹۵/۰۲/۱۶	چاه	۸۲۷	۳۳۰/۸	۸۲/۷	اندازه گیری دقیق
				۳	۹۵/۰۳/۰۱	چاه	۱۲۳۶	۴۹۴/۴	۱۲۳/۶	اندازه گیری دقیق
				۴	۹۵/۰۳/۱۷	چاه	۱۱۶۶	۴۶۶/۴	۱۱۶/۶	اندازه گیری دقیق

ادامه جدول ۵-۱- اطلاعات آبیاری مزارع تحت پایش پاییزه- ارومیه

محصول	کد مزرعه	نام زارع	تیمار/ شاهد	نوبت آبیاری	زمان آبیاری تاریخ	منبع آب	حجم آب ورودی (m ³ /ha)	حجم آب ورودی به مزرعه (m ³)	عمق آب آبیاری (mm)	نحوه پایش آبیاری مزارع
گندم	W5	محمد اصغری	تیمار	۱	۹۴/۰۷/۲۲	چاه	۶۵۸	۲۶۳	۶۵/۸	اندازه گیری دقیق
				۲	۹۵/۰۲/۱۶	چاه	۲۷۹۰	۱۱۱۶	۲۷۹	اندازه گیری دقیق
				۳	۹۵/۰۳/۰۱	چاه	۱۱۲۹	۴۵۱/۶	۱۱۲/۹	اندازه گیری دقیق
				۴	۹۵/۰۳/۱۸	چاه	۲۱۷۱	۸۶۸/۴	۲۱۷/۱	اندازه گیری دقیق
	W6	جمشید باقرزاده	تیمار	۱	۹۴/۰۸/۰۷	چاه	۷۹۴	۱۰۳۲/۲	۷۹/۴	اطلاعات کشاورز
				۲	۹۵/۰۲/۱۶	چاه	۱۲۴۶	۱۶۱۹/۸	۱۲۴/۶	اندازه گیری دقیق
				۳	۹۵/۰۳/۰۵	چاه	۱۵۷۲	۲۰۴۳/۶	۱۵۷/۲	اندازه گیری دقیق
				۴	۹۵/۰۳/۱۷	چاه	۱۴۲۲	۱۸۴۸/۶	۱۴۲/۲	اندازه گیری دقیق

ادامه جدول ۵-۱- اطلاعات آبیاری مزارع تحت پایش پاییزه و بهاره- ارومیه

محصول	کد مزرعه	نام زارع	تیمار/ شاهد	نوبت آبیاری	زمان آبیاری تاریخ	منبع آب	حجم آب ورودی (m ³ /ha)	حجم آب ورودی به مزرعه (m ³)	عمق آب آبیاری (mm)	نحوه پایش آبیاری مزارع
گندم	W7	احمد هوشیار	تیمار	۱	۹۴/۰۷/۲۷	چاه	۱۲۱۰	۱۲۱۰	۱۲۱	اندازه گیری دقیق
				۲	۹۵/۰۲/۱۲	چاه	۱۹۶۳	۱۹۶۳	۱۹۶/۳	اندازه گیری دقیق
				۳	۹۵/۰۳/۰۱	چاه	۱۹۵۷	۱۹۵۷	۱۹۵/۷	اندازه گیری دقیق
				۴	۹۵/۰۳/۰۹	چاه	۱۷۸۱	۱۷۸۱	۱۷۸/۱	اندازه گیری دقیق
				۵	۹۵/۰۳/۲۱	چاه	۱۷۵۵	۱۷۵۵	۱۷۵/۵	اندازه گیری دقیق
آفتابگردان	S	اکبر باقرزاده	تیمار	۱	۹۵/۰۴/۱۹	چاه	۱۶۷۹	۲۰۱۴/۸	۱۶۷/۹	اندازه گیری دقیق
				۲	۹۵/۰۵/۰۳	چاه	۱۸۱۴	۲۱۷۶/۸	۱۸۱/۴	اندازه گیری دقیق
				۳	۹۵/۰۵/۱۸	چاه	۱۷۵۹/۶	۲۱۱۱/۵	۱۷۶	اندازه گیری دقیق
				۴	۹۵/۰۶/۰۴	چاه	۱۴۶۳/۷	۱۷۵۶/۴	۱۴۶/۴	اندازه گیری دقیق

ادامه جدول ۵-۱- اطلاعات آبیاری مزارع تحت پایش بهاره- ارومیه

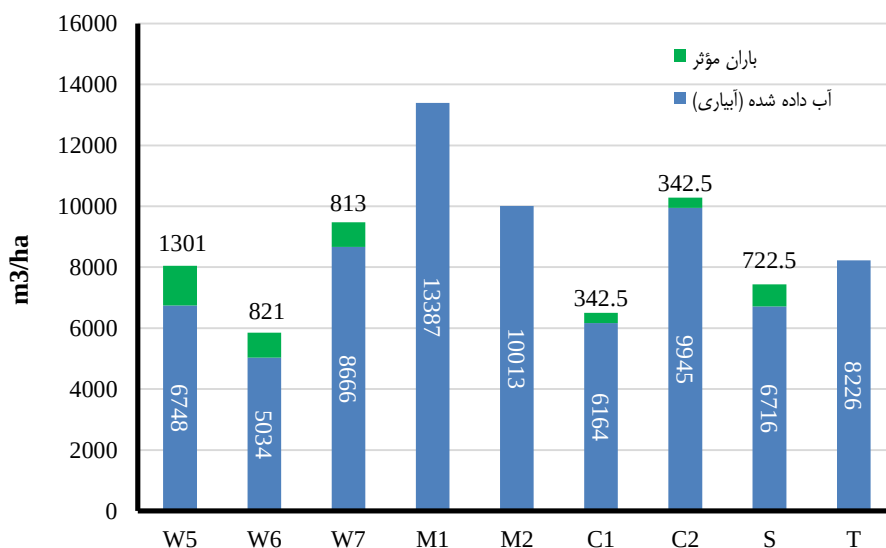
محصول	کد مزرعه	نام زارع	تیمار/ شاهد	نوبت آبیاری	زمان آبیاری تاریخ	منبع آب	حجم آب ورودی (m ³ /ha)	حجم آب ورودی به مزرعه (m ³)	عمق آب آبیاری (mm)	نحوه پایش آبیاری مزارع
ذرت	M1	احمد هوشیار	تیمار	۱	۹۵/۰۴/۲۱	چاه	۲۴۲۷	۱۰۶۷/۹	۲۴۳	اندازه گیری دقیق
				۲	۹۵/۰۴/۲۹	چاه	۲۵۷۶/۷	۱۱۳۳/۸	۲۵۸	اندازه گیری دقیق
				۳	۹۵/۰۵/۹	چاه	۲۰۳۴/۵	۸۹۵/۲	۲۰۳/۵	اندازه گیری دقیق
				۴	۹۵/۰۵/۲۳	چاه	۲۰۹۳	۹۲۰/۹	۲۰۹/۳	اندازه گیری دقیق
				۵	۹۵/۰۶/۰۱	چاه	۲۲۷۵/۶	۱۰۰۱/۳	۲۲۷/۶	اندازه گیری دقیق
				۶	۹۵/۰۶/۱۱	چاه	۲۳۴۰	۱۰۲۹/۶	۲۳۴	اندازه گیری دقیق

ادامه جدول ۵-۱- اطلاعات آبیاری مزارع تحت پایش بهاره- ارومیه

محصول	کد مزرعه	نام زارع	تیمار/ شاهد	نوبت آبیاری	زمان آبیاری تاریخ	منبع آب	حجم آب ورودی (m ³ /ha)	حجم آب ورودی به مزرعه (m ³)	عمق آب آبیاری (mm)	نحوه پایش آبیاری مزارع
ذرت	M2	قهرمان اصغری	تیمار	۱	۹۵/۰۴/۲۰	چاه	۱۴۸۷	۳۲۷	۱۴۸/۷	اندازه گیری دقیق
				۲	۹۵/۰۴/۳۱	چاه	۱۶۸۷	۳۷۱	۱۶۸/۷	اندازه گیری دقیق
				۳	۹۵/۰۵/۱۷	چاه	۱۰۶۲/۷	۲۳۴	۱۰۶/۳	اندازه گیری دقیق
				۴	۹۵/۰۵/۲۷	چاه	۹۱۳/۵	۲۰۱	۹۱/۴	اندازه گیری دقیق
				۵	۹۵/۰۶/۰۱	چاه	۱۱۹۸/۵	۲۶۴	۱۱۹/۹	اندازه گیری دقیق
				۶	۹۵/۰۶/۱۱	چاه	۱۲۷۶/۳	۲۸۱	۱۲۷/۶	اندازه گیری دقیق
				۷	۹۵/۰۶/۱۸	چاه	۱۱۸۵/۷	۲۶۱	۱۱۸/۶	اندازه گیری دقیق
کدو آجیلی	C1	قهرمان اصغری	تیمار	۱	۹۵/۰۴/۲۲	چاه	۱۸۴۰	۷۹۱/۲	۱۷۲/۸	اندازه گیری دقیق
				۲	۹۵/۰۴/۳۰	چاه	۲۴۸۸	۱۰۶۹/۸	۲۴۸/۹	اندازه گیری دقیق
				۳	۹۵/۰۵/۱۵	چاه	۱۸۳۶	۷۸۹/۵	۱۸۳/۶	اندازه گیری دقیق

جدول ۵-۱- اطلاعات آبیاری مزارع تحت پایش بهاره- ارومیه

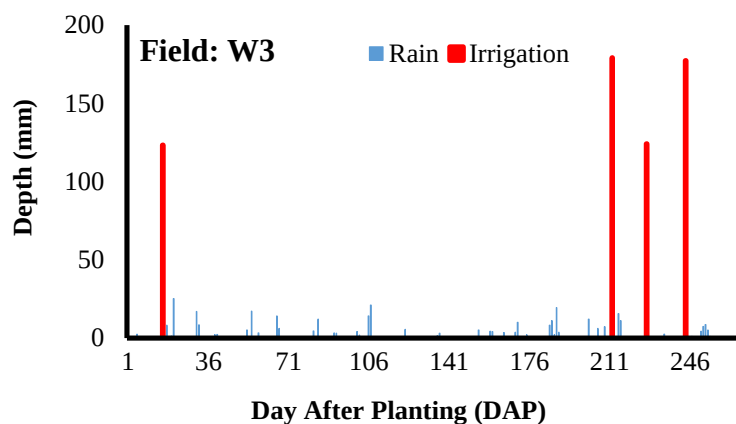
محصول	کد مزرعه	نام زارع	تیمار/ شاهد	نوبت آبیاری	زمان آبیاری تاریخ	منبع آب	حجم آب ورودی (m ³ /ha)	حجم آب ورودی به مزرعه (m ³)	عمق آب آبیاری (mm)	نحوه پایش آبیاری مزارع
کدو آجیلی	C2	فتح اله زاده	تیمار	۱	۹۵/۰۴/۱۰	چاه	۱۷۸۱	۱۶۰۳	۱۷۸/۱	اندازه گیری دقیق
				۲	۹۵/۰۴/۱۸	چاه	۱۶۰۱	۱۴۴۱	۱۶۰/۱	اندازه گیری دقیق
				۳	۹۵/۰۴/۲۵	چاه	۱۴۶۲	۱۳۱۶	۱۴۶/۳	اندازه گیری دقیق
				۴	۹۵/۰۴/۳۱	چاه	۱۶۵۹	۱۴۹۳	۱۶۵/۹	اندازه گیری دقیق
				۵	۹۵/۰۵/۰۸	چاه	۱۸۱۸	۱۶۳۶	۱۸۱/۸	اندازه گیری دقیق
				۶	۹۵/۰۵/۱۹	چاه	۱۶۲۴	۱۴۶۱	۱۶۲/۴	اندازه گیری دقیق



شکل ۵-۱- میزان آب کاربردی در مزارع تحت پایش استان آذربایجان غربی (W- گندم، M- ذرت، C- کدو آجیلی، S- آفتابگردان و T- گوجه‌فرنگی)

۵-۲- ترسیم منحنی آبیاری و بارش مزارع تحت پایش

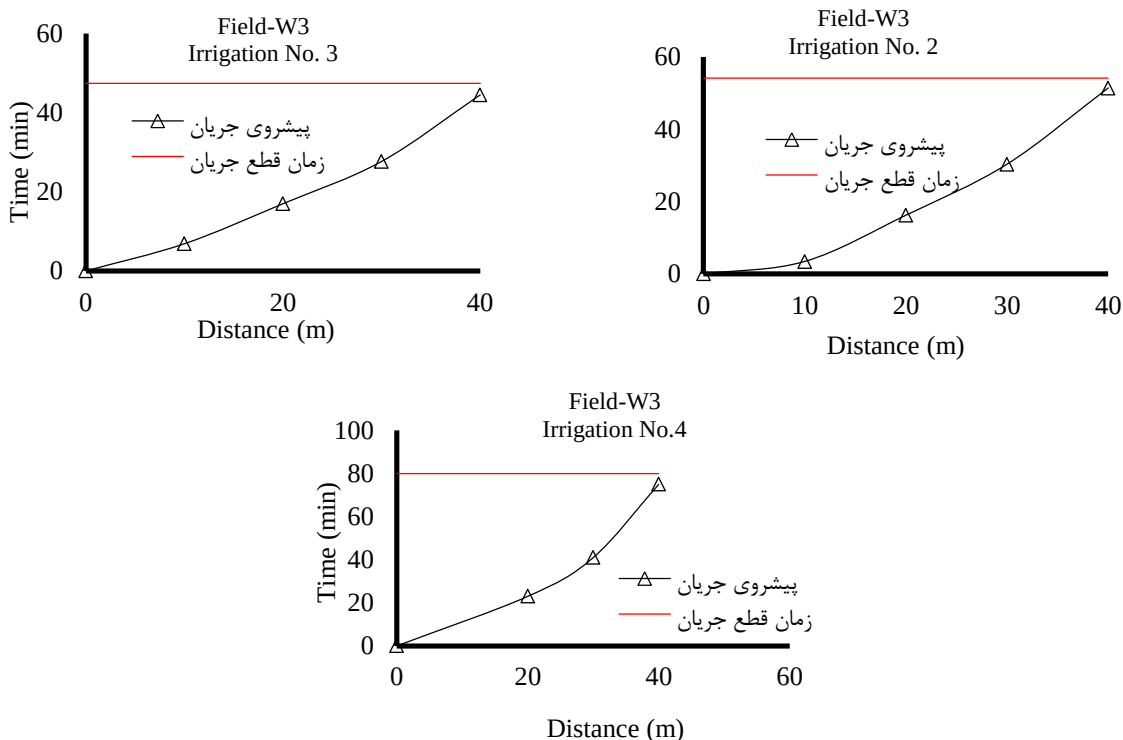
نمودارهای آبیاری و بارش برای مزارع تحت پایش در طول فصل رشد محصولات مختلف مطابق شکل ۵-۳ است.



شکل ۵-۲- نمودار آبیاری و بارش، مزرعه گندم یحیی ابراهیمی، آذربایجان غربی

۵-۳- ترسیم منحنی‌های پیشروی مزارع تحت پایش

نمونه‌ای از وضعیت پیشروی در آبیاری‌های اندازه‌گیری شده در شکل ۵-۲ نشان داده شده است.

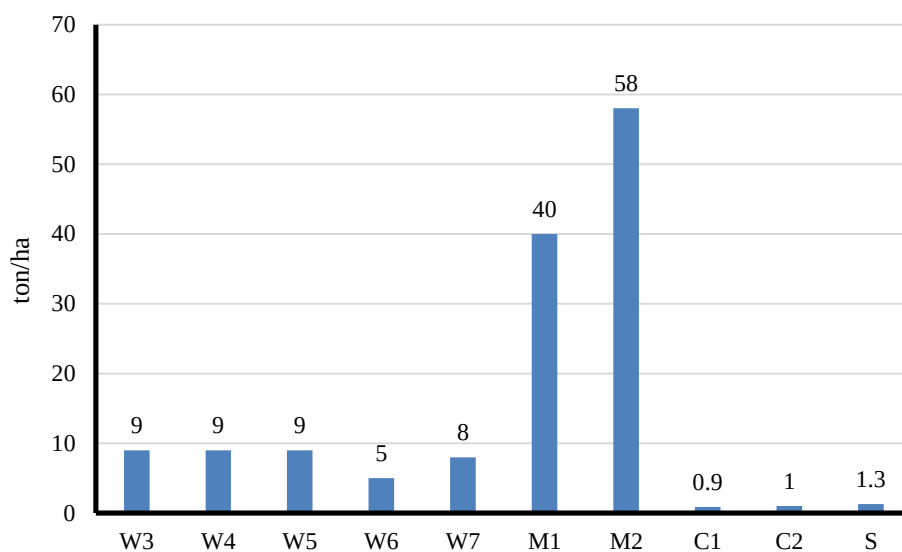


شکل ۵-۳- پیشروی جریان آب در نوار مورد آزمایش مزرعه W3 (گندم)- ارومیه

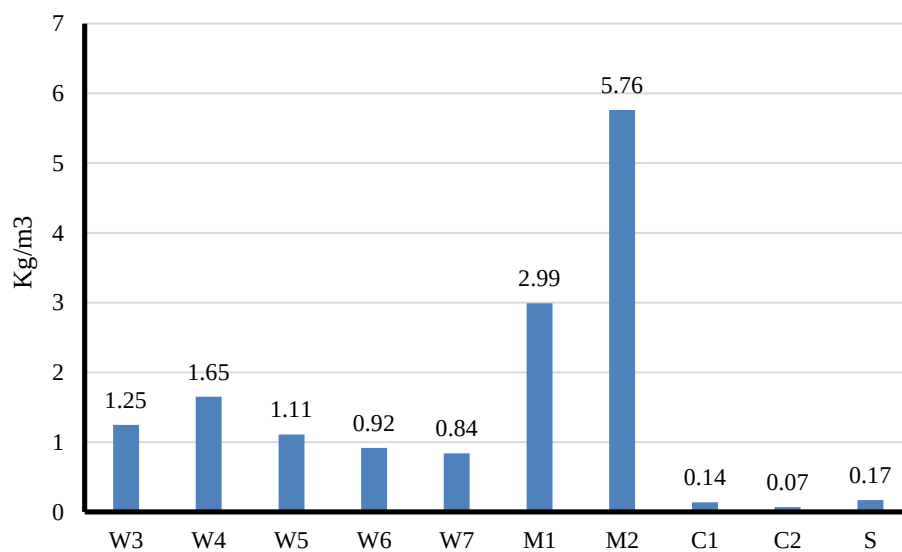
۵-۴- نتایج عملکرد و بهره‌وری آب در مزارع تحت پایش

متوسط عملکرد گندم در مزارع پایش شده ۸ تن در هکتار است (جدول ۵-۲ و شکل‌های ۴-۵ و ۵-۵). مطابق آمارنامه وزارت جهاد کشاورزی سال (۱۳۹۴) متوسط عملکرد گندم در استان آذربایجان ۳/۴ تن در هکتار است که بیانگر اثر مثبت روش‌های به‌زراعی به کار گرفته شده در مزارع مورد پایش است. بهره‌وری آب مزارع گندم در بازه ۰/۹۲ تا ۱/۶۵ کیلوگرم در هکتار قرار گرفت که بیشتر از متوسط کشوری است.

عملکرد ذرت در مزارع مورد پایش بین ۴۰ تا ۵۸ تن در هکتار و بهره‌وری ۲/۹۹ و ۵/۸ کیلوگرم در هکتار متغیر است. بهره‌وری کدو آجیلی در بازه ۰/۱۴ تا ۰/۰۷ است که کمترین میزان بهره‌وری را در بین محصولات بهار پایش شده دارا است.



شکل ۴-۵- میزان عملکرد دانه در مزارع تحت پایش استان آذربایجان غربی (W- گندم، M- ذرت، C- کدو آجیلی و S- آفتابگردان)



شکل ۵-۵- میزان بهره‌وری آب در مزارع تحت پایش استان آذربایجان غربی (W- گندم، M- ذرت، C- کدو آجیلی و S- آفتابگردان)

جدول ۵-۲- خلاصه نتایج عملکرد، آب کاربردی و بهره‌وری، آذربایجان غربی

کد مزرعه	محصول	عملکرد	حجم آب آبیاری ورودی	باران مؤثر	آب کاربردی	بهره‌وری آبیاری	بهره‌وری بارش و آبیاری
		(ton/ha)	(m ³ /ha)	(m ³ /ha)	(m ³ /ha)	(kg/m ³)	(kg/m ³)
W3	گندم	۸/۹	۶۰۴۲/۳	۱۰۶۹	۷۱۱۱/۳	۱/۴۷	۱/۲۵
W4	گندم	۸/۵	۴۴۳۵	۷۳۳	۵۱۶۸	۱/۹۳	۱/۶۵
W5	گندم	۹	۶۷۴۸	۱۳۰۱	۸۰۴۹	۱/۳۳	۱/۱۱
W6	گندم	۵/۴	۵۰۳۴	۸۲۱	۵۸۵۵	۱/۰۷	۰/۹۲
W7	گندم	۸	۸۶۶۵/۶	۸۱۳	۹۴۷۸/۶	۰/۹۲	۰/۸۴
C1	کدو	۰/۹	۶۱۶۴	۳۴۲/۵	۶۵۰۶/۵	۰/۱۵	۰/۱۴
C2	کدو	۰/۷	۹۹۴۵/۴	۳۴۲/۵	۱۰۲۸۷/۹	۰/۰۷	۰/۰۷
S	آفتابگردان	۱/۳	۶۷۱۶/۱	۷۲۲/۵	۷۴۳۸/۶	۰/۲	۰/۱۷
M1	ذرت	۴۰	۱۳۳۸۷	۰	۱۳۳۸۷	۳/۷	۳/۷
M2	ذرت	۵۷/۷	۱۰۰۱۲/۷	۰	۱۰۰۱۲/۷	۵/۷۶	۵/۷۶

۵-۵- ارزیابی بازده کاربرد آب در مزرعه و گزینه‌های اجرایی افزایش بازده کاربرد آب در مزرعه

بازده کاربرد آب در مزارع در هر نوبت آبیاری از تقسیم کمبود رطوبت خاک به مقدار آب‌داده شده به زمین محاسبه گردید. بر اساس نتایج بدست آمده از دلایل پایین بودن بازده کاربرد آب در مزارع عدم تسطیح دقیق نوار، عدم یکنواختی شیب در طول مزرعه و شیب‌های منفی در طول نوار است. از گزینه‌های اجرایی افزایش بازده کاربرد آب در مزرعه کاهش طول نوار، تسطیح نوار و بهینه‌سازی عرض نوار است (جدول ۵-۳).

متوسط بازده کاربرد آب در مزارع W3 تا W7 که مربوط به محصولات پاییزه است، به‌ترتیب برابر ۲۰، ۳۱، ۲۹، ۲۲ و ۱۱ درصد بدست آمد که با بهینه‌سازی‌های صورت گرفته به‌ترتیب تا ۴۵، ۸۱، ۶۴، ۵۵ و ۲۱ درصد و حتی بیشتر (در صورت تسطیح نوارها و ترویج آموزش آبیاری) قابل افزایش است (جدول ۵-۲). همچنین متوسط عرض بهینه‌شده برای مزارع فوق باید به‌ترتیب از مقادیر ۴/۷، ۴/۴، ۳/۵، ۳/۲ و ۴/۲ متر به ۱/۸، ۱/۹، ۱/۴، ۱/۲ و ۱/۷ متر کاهش یابد. به‌طورکلی برای مزارع پاییزه باید عرض‌های موجود به کمتر از نصف عرض‌های اولیه کاهش یابد.

در مورد محصولات بهاره، متوسط بازده کاربرد آب در مزارع به‌ترتیب برابر ۴۲، ۲۴، ۴۴، ۳۱، ۴۶ و ۵۸ درصد بدست آمد که با بهینه‌سازی‌های صورت گرفته به‌ترتیب تا ۶۸، ۶۵، ۸۲، ۷۵، ۸۲ و ۸۰ درصد و حتی بیشتر (در صورت تسطیح نوارها و ترویج آموزش آبیاری) قابل افزایش است. به‌طورکلی برای مزارع پاییزه نیز باید عرض‌های موجود به کمتر از نصف عرض‌های اولیه کاهش یابد. در مزارع بهاره نیز متوسط عرض بهینه‌شده برای مزارع فوق باید به‌ترتیب از مقادیر ۱/۸، ۲، ۲/۵، ۲، ۶/۵ و ۷ متر به ۰/۷، ۱، ۲، ۰/۹، ۴/۴، ۴/۶ متر کاهش یابد.

جدول ۵-۳- بازده کاربرد آب و عرض نوار اندازه‌گیری شده و بهینه‌سازی شده - شهرستان ارومیه

کد مزرعه	نام زارع	محصول	عرض نوار (m)	بازده کاربرد آب در مزرعه (%)	عرض بهینه شده نوار (m)	بازده بهینه شده کاربرد آب در مزرعه (%)
W3	یحیی ابراهیمی	گندم	۴/۷	۲۰	۱/۸	۴۵
W4	قهرمان اصغری	گندم	۴/۴	۳۱	۱/۹	۸۱
W5	محمد اصغری	گندم	۳/۵	۲۹	۱/۴	۶۴
W6	جمشید باقرزاده	گندم	۳/۲	۲۲	۱/۲	۵۵
W7	احمد هوشیار	گندم	۴/۲	۱۱	۱/۷	۲۱
S	اکبر باقرزاده	آفتابگردان	۱/۸	۴۲	۰/۷	۶۸
M1	احمد هوشیار	ذرت	۲	۲۴	۱	۶۵
M2	قهرمان اصغری	ذرت	۲/۵	۴۴	۲	۸۲
C1	قهرمان اصغری	کدو	۲	۳۱	۰/۹	۷۵
C2	شمس‌علی فتح‌اله‌زاده	کدو	۶/۵	۴۶	۴/۴	۸۲
T	فردین ابراهیمی	گوجه‌فرنگی	۷	۵۸	۴/۶	۸۰

فصل ششم

جمع‌بندی و پیشنهادها

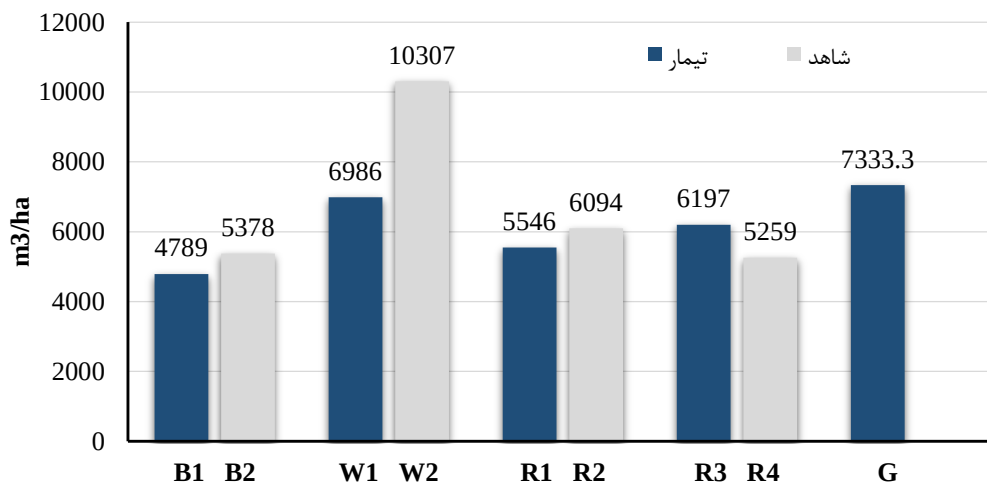
۶-۱- نتایج بررسی کاهش آب ورودی به مزرعه

میزان آب کاربردی در عموم مزارع تیمار گندم، جو و کلزا کمتر از مزارع شاهد است (شکل ۶-۱). این افزایش به کاربرد تکنیک‌های به‌زراعی بکار گرفته‌شده در مزرعه نسبت داده می‌شود. مقدار آب کاربردی گندم در مزرعه تیمار شهرستان بناب ۶۹۸۶ مترمکعب در هکتار بود و مقدار آن در مزرعه شاهد ۱۰۳۰۷ مترمکعب در هکتار بدست آمد که به‌طور متوسط ۴۷ درصد آب کمتر بود، لیکن مقدار کاربرد آب آن همچنان بالا بوده و باید برنامه‌ریزی لازم برای کاهش کاربرد آن به عمل آید. نیاز خالص آبی گندم در این منطقه ۳۲۳۰ مترمکعب در هکتار است بر همین اساس تکنیک مدیریت آبیاری که بیان‌کننده زمان آبیاری و مقدار آبیاری در هر نوبت است همچنان در مزارع تیمار با چالش و ضعف مواجه است و لازم است در سال‌های بعد اجرایی کردن آن مورد توجه قرار گیرد.

در منطقه بناب مقدار آب کاربردی در مزرعه تیمار جو ۴۷۸۹ مترمکعب در هکتار بود و مقدار آن در مزرعه شاهد ۵۳۷۸ مترمکعب در هکتار به دست آمد. با توجه به به‌کارگیری تکنیک‌های مختلف به‌زراعی در مزرعه تیمار، نتیجه‌گیری می‌شود تکنیک‌های مختلف و بخصوص کاهش ابعاد قطعات زراعی توانسته است در کاهش کاربرد آب مؤثر باشد. به عبارتی در مزرعه تیمار به‌طور متوسط ۱۲ درصد آب کمتری استفاده‌شده است.

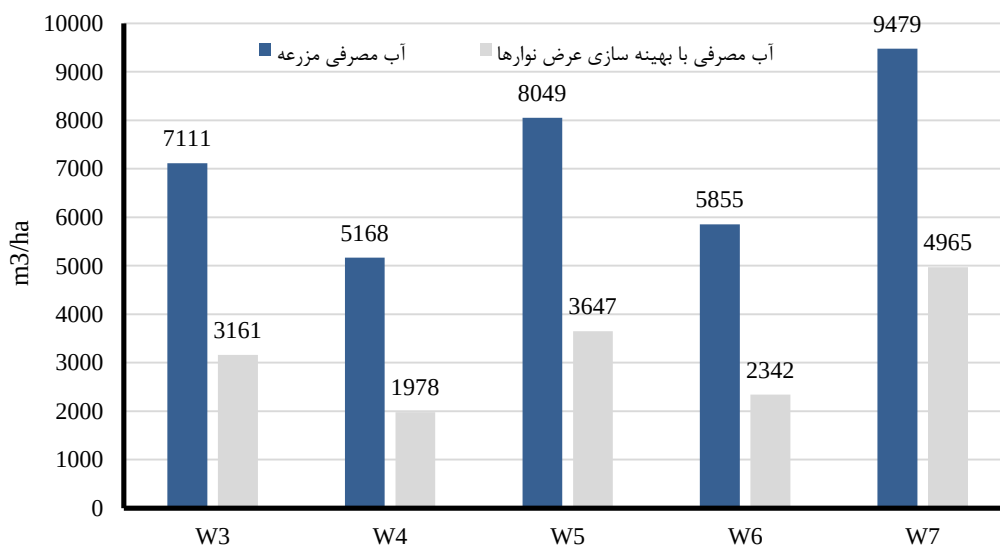
کلزا از زراعت‌های صنعتی است که اخیراً در الگوی کشت منطقه وارد شده است. در مزرعه تیمار کلزا در عجب‌شیر بهینه کردن ابعاد قطعات زراعی موجب کاهش ۹ درصدی در آب کاربردی گردید. دو مزرعه کلزا در منطقه اسکو مورد مقایسه قرار گرفت که تکنیک برتر در مزرعه تیمار کود حیوانی برای حاصلخیزی خاک بود. کل آب کاربردی آبیاری برای مزرعه تیمار و شاهد برابر با ۶۱۹۷ و ۵۲۵۹ مترمکعب در هکتار بود که نشان‌دهنده افزایش ۱۵ درصدی کاربرد آب در مزرعه تیمار بود که دلیل این امر همان‌طور که بیان شد به علت آبیاری کرت‌های مزرعه تیمار از آبراهه اصلی است و آبیاری کرت‌های شاهد از انتهای کرت‌های تیمار انجام گردید و در تمام مدت آبیاری کرت‌های شاهد، آب از روی کرت‌های تیمار عبور پیدا نمود. این امر نشان‌دهنده اهمیت

مدیریت در آبیاری کشاورزی است. در مزرعه سیر کل آب کاربردی در همه تیمارها به دلیل کوچک بودن قطعات ثابت و برابر با ۷۳۳۳ مترمکعب در هکتار بود. همچنین بر اساس مطالعات انجام‌شده میزان تبخیر-تعرق واقعی سیر در طول فصل رشد با استفاده از داده‌های رطوبتی اندازه‌گیری شده ۵۵۲ میلی‌متر محاسبه شد.



شکل ۱-۶- تغییرات کاربرد آب در نتیجه کاربرد تکنیک‌های به‌زراعی در مزارع مختلف در شرق دریاچه ارومیه، (B - جو، W - گندم، R - کلزا و G - سیر)

در شهرستان ارومیه متوسط آب کاربردی در مزارع گندم حدود ۷۱۳۲ مترمکعب در هکتار است که در اثر بهینه‌سازی عرض نوارهای آبیاری و کاهش حدود ۶۰ درصدی عرض نوارها، بازده کاربرد آب در مزرعه به‌طور متوسط ۵۶ درصد افزایش یافته و کاربرد آب به ۳۲۱۹ مترمکعب در هکتار کاهش خواهد یافت (شکل ۲-۶ و جدول ۱-۶).



شکل ۲-۶- مقایسه آب کاربردی گندم در شرایط موجود مزرعه و بهینه‌سازی عرض نوارها

جدول ۶-۱- بازده کاربرد آب و عرض نوار اندازه‌گیری شده و بهینه‌سازی شده - شهرستان ارومیه (S- آفتابگردان، M- ذرت، C- کدو آجیلی، T- گوجه‌فرنگی و Wh- گندم)

کد مزرعه	نام زارع	محصول	عرض نوار (m)	بازده کاربرد آب در مزرعه (%)	عرض بهینه شده نوار (m)	بازده بهینه شده کاربرد آب در مزرعه (%)
W3	یحیی ابراهیمی	گندم	۴/۷	۲۰	۱/۸	۴۵
W4	قهرمان اصغری	گندم	۴/۴	۳۱	۱/۹	۸۱
W5	محمد اصغری	گندم	۳/۵	۲۹	۱/۴	۶۴
W6	جمشید باقرزاده	گندم	۳/۲	۲۲	۱/۲	۵۵
W7	احمد هوشیار	گندم	۴/۲	۱۱	۱/۷	۲۱
S	اکبر باقرزاده	آفتابگردان	۱/۸	۴۲	۰/۷	۶۸
M1	احمد هوشیار	ذرت	۲	۲۴	۱	۶۵
M2	قهرمان اصغری	ذرت	۲/۵	۴۴	۲	۸۲
C1	قهرمان اصغری	کدو	۲	۳۱	۰/۹	۷۵
C2	شمس‌علی فتح‌اله‌زاده	کدو	۶/۵	۴۶	۴/۴	۸۲
T	فریدین ابراهیمی	گوجه‌فرنگی	۷	۵۸	۴/۶	۸۰

۶-۲- نتایج بررسی عملکرد محصول

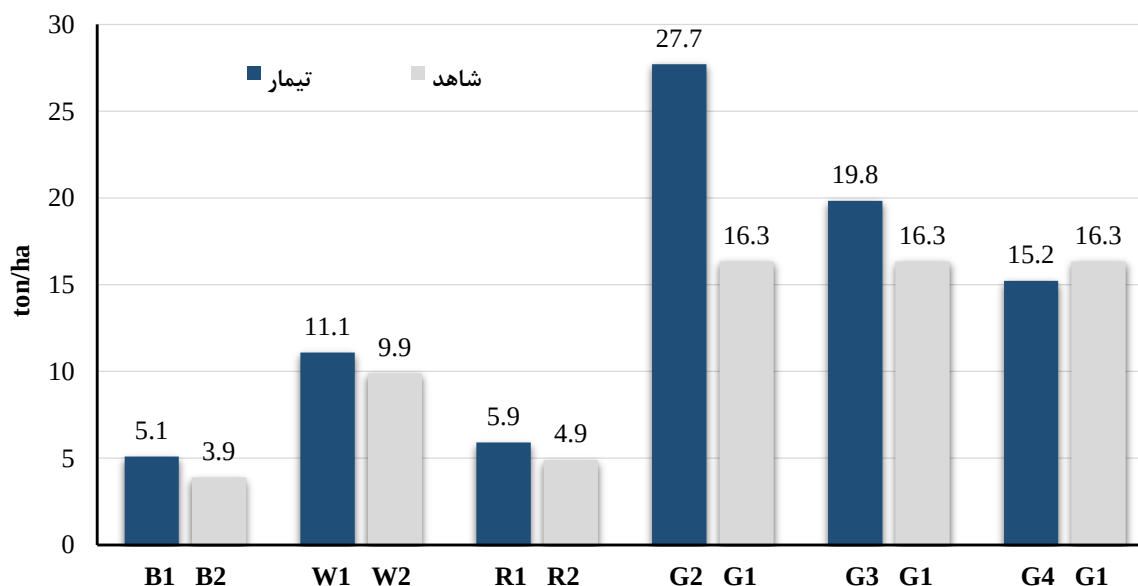
عملکرد دانه تمامی مزارع تیمار نسبت به مزارع شاهد، به ازای هر دو روش اندازه‌گیری عملکرد (Y_{cm} , Y_{ca}) بیشتر بود. بر همین اساس اگرچه تکنیک‌ها در بعضی مزارع نتوانسته‌اند موجب کاهش آب ورودی به مزرعه شوند، لیکن موجب افزایش عملکرد شده‌اند.

در منطقه بناب بررسی عملکرد در دو مزرعه گندم نشان‌دهنده آن است که عملکرد مزرعه تیمار بالا و قابل توجه بوده و برابر با ۱۱۱۰۲ کیلوگرم در هکتار اندازه‌گیری شده است. درحالی‌که در مزرعه شاهد این مقدار برابر با ۹۹۳۲ کیلوگرم در هکتار اندازه‌گیری شد. عملکرد بالا در مزرعه تیمار کاملاً به کاربرد تکنیک‌ها نسبت داده می‌شود، چراکه تیمارهای بکار رفته به حاصلخیزی مزرعه، تأمین نیاز کودی به‌طور دقیق و حفظ رطوبت در حفاصل بین دو آبیاری کمک زیادی داشته است. در منطقه بناب بررسی عملکرد دو مزرعه جو نشان‌دهنده آن است که عملکرد مزرعه تیمار برابر با ۵۰۵۸ کیلوگرم در هکتار اندازه‌گیری شده است. درحالی‌که در مزرعه شاهد این مقدار برابر با ۳۹۰۸ کیلوگرم در هکتار اندازه‌گیری شد. عملکرد جو نیز مانند گندم در منطقه بناب در مزرعه تیمار از شاهد بیشتر بود و این افزایش در حدود ۲۳ درصد بود که قابل توجه است. به عبارتی هزینه‌های انجام‌شده برای تکنیک‌های بکار رفته در مزرعه می‌تواند به‌راحتی از افزایش تولید گندم و جو پوشش داده شود.

در منطقه عجب‌شیر عملکرد مزرعه تیمار کلزا برابر با ۵۹۲۱ و در مزرعه شاهد ۴۹۱۵ کیلوگرم در هکتار بود. بر همین اساس در مزارع تیمار با ابعاد قطعات زراعی عملکرد کلزا نسبت به شاهد ۱۷ درصد افزایش نشان داد.

متوسط عملکرد اندازه‌گیری شده در مزرعه سیر ۲۹/۷ تن در هکتار است، متوسط عملکرد سیر در شهرستان آذرشهر ۱۴ تن در هکتار است که نتایج بدست آمده بیانگر افزایش ۵۳ درصدی عملکرد در نتیجه اعمال تکنیک‌های کودی است. برای به‌دست

آوردن حداکثر عملکرد باید از اعمال تنش آبی در مرحله تشکیل غده و رسیدن اجتناب کرد. لذا دریافت آب کافی در طول دوره‌ی رشد گیاه (۲ نوبت آبیاری در پاییز و ۵ نوبت آبیاری در بهار)، موجب افزایش عملکرد سیر شده است. همچنین عملکرد سیر در بلوک‌های شاهد (G1) و تیمار، شامل: (G2) استفاده از کود ورمی‌کمپوست، (G3) استفاده از مخلوط کود مرغی و ورمی‌کمپوست به‌صورت مخلوط در خاک و (G4) فسفات آمونیوم به‌ترتیب برابر با ۱۶۳۳۳، ۲۷۷۰۲، ۱۹۸۳۰، ۱۵۲۲۸ کیلوگرم بر هکتار بود. تیمارهای کودی توانسته است تغییرات زیادی در عملکرد سیر ایجاد کند. بیشترین افزایش عملکرد مربوط به تیمار استفاده از کود ورمی‌کمپوست است (شکل ۳-۶).



شکل ۳-۶- تغییرات عملکرد در نتیجه کاربرد تکنیک‌های به‌زراعی در مزارع مختلف در شرق دریاچه ارومیه (B- جو، W- گندم، R- کلزا و G- سیر)

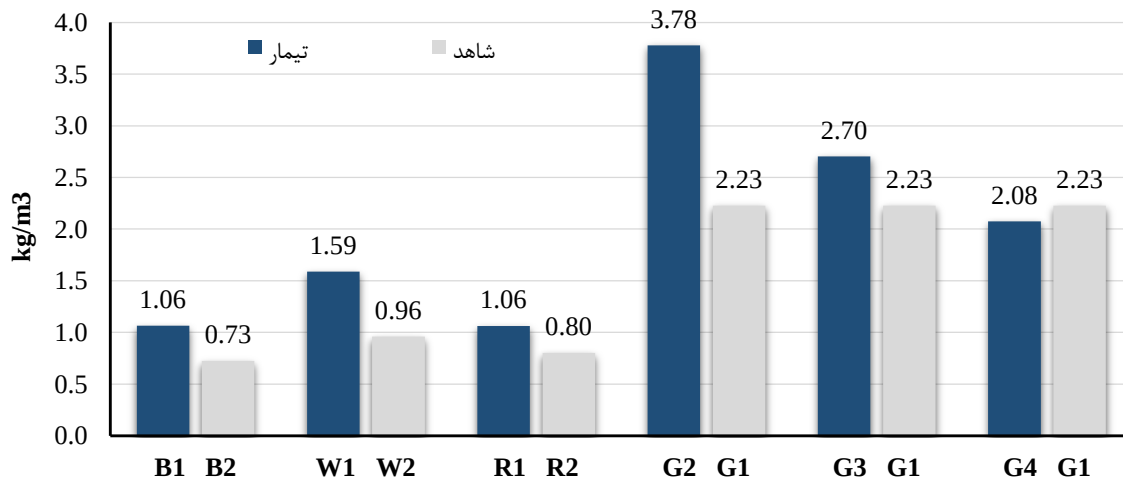
۳-۶- نتایج بررسی بهره‌وری آب

کاهش کاربرد آب در مزارع تیمار و افزایش عملکرد در مقایسه با مزارع شاهد منجر به افزایش بهره‌وری آب در مزارع مورد پایش شده است. افزایش بهره‌وری آب در ارتباط مستقیم با معیشت کشاورزان در شرایط کم‌آبی و یا تحویل حجمی آب است. در منطقه بناب عملکرد بالا در مزرعه تیمار گندم باعث شده تا شاهد بهره‌وری آب معادل ۱/۵۹ کیلوگرم بر مترمکعب آب باشیم که مقدار آن در مزرعه شاهد برابر با ۰/۹۶ کیلوگرم بر مترمکعب آب بود، به عبارتی بهره‌وری آب در مزرعه تیمار ۴۰ درصد نسبت به مزرعه شاهد افزایش یافت. نتایج حاصل در مزرعه تیمار گندم نشان‌دهنده پتانسیل قابل‌دستیابی از نظر تولید گندم در شهرستان بناب است.

در منطقه بناب بهره‌وری آب در مزرعه تیمار و شاهد جو به‌ترتیب برابر با ۱/۰۶ و ۰/۷۳ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمد، به عبارتی مقدار بهره‌وری آب در نتیجه کاربرد تکنیک‌های به‌زراعی منجر به افزایش بهره‌وری آب به میزان ۳۲ درصد افزایش نشان داده است. در منطقه عجب‌شیر در مزرعه کلزا بهره‌وری آب در مزرعه تیمار ۱/۰۶ و در مزرعه شاهد ۰/۸ کیلوگرم بر مترمکعب بود.

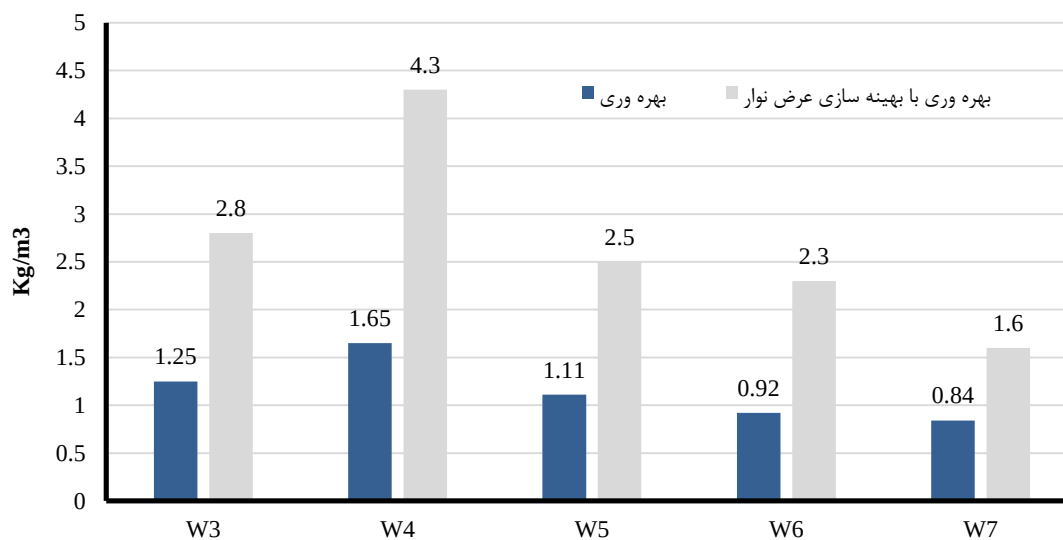
بهره‌وری آب محصول سیر در تیمارهای مختلف کودی اعمال شده در بازه ۲/۰۸ تا ۳/۷۸ (کیلوگرم بر مترمکعب) قرار

گرفت که دلیل این افزایش با توجه به تعریف بهره‌وری و کارایی مصرف آب، عملکرد بالای سیر در مزرعه به دلیل دریافت آب کافی در طول دوره‌ی رشد گیاه و تیمارهای کودی شامل (G2) استفاده از کود ورمی‌کمپوست، (G3) استفاده از مخلوط کود مرغی و ورمی‌کمپوست به‌صورت مخلوط در خاک و (G4) فسفات آمونیوم است. بهره‌وری آب برای شاهد و تیمارهای کودی زراعت سیر به‌ترتیب برابر است با ۲/۲۳، ۳/۷۸، ۲/۷۰ و ۲/۰۸ کیلوگرم بر مترمکعب بدست آمده است که تیمار استفاده از کود ورمی‌کمپوست بالاترین بهره‌وری را در مقایسه با سایر تیمارها بدست آورد که نشانگر اثر مثبت استفاده از کود ورمی‌کمپوست بر عملکرد و بهره‌وری آب در زراعت سیر است (شکل ۴-۶).

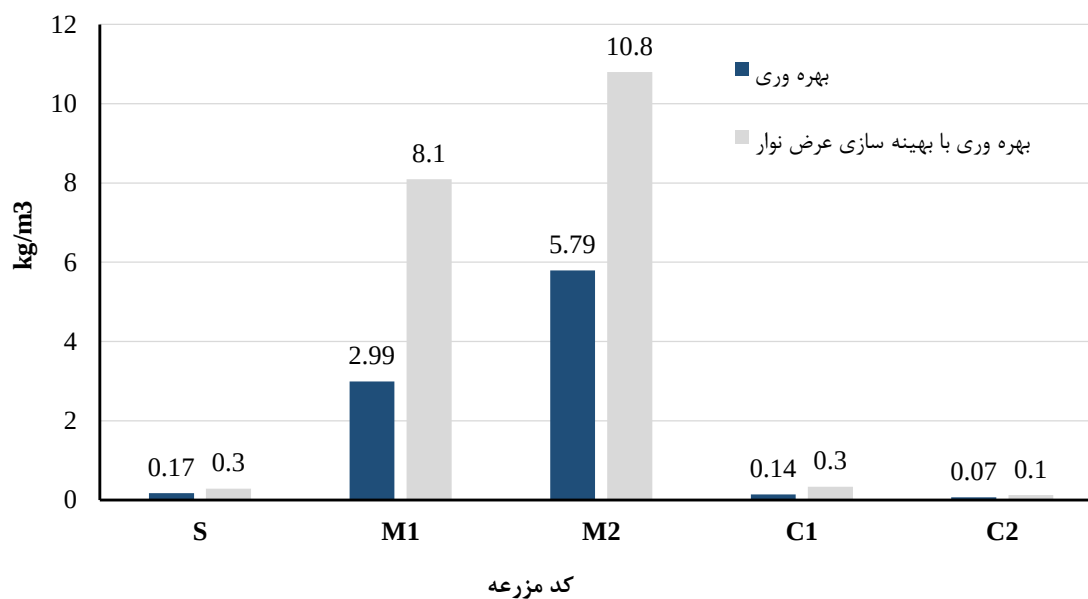


شکل ۴-۶- تغییرات بهره‌وری آب در نتیجه کاربرد تکنیک‌های به‌زراعتی در مزارع مختلف در شرق دریاچه ارومیه (B- جو، W- گندم، R- کلزا و G- سیر)

یکی از تکنیک‌های کاهش آب ورودی به مزارع، بهینه‌سازی عرض نوارهای آبیاری و تسطیح زمین است. طبق بررسی‌های انجام شده در شهرستان ارومیه تنها با کاهش عرض نوارها و تسطیح زمین امکان افزایش بهره‌وری آب در محصولات پاییزه حدود ۴۰ درصد وجود دارد. در شرایط موجود بهره‌وری آب گندم در بازه ۰/۸۴ تا ۱/۶۵ کیلوگرم بر مترمکعب است که با کاهش عرض نوارهای آبیاری، بهره‌وری آب به حدود ۱/۶ تا ۴/۳ افزایش می‌یابد (شکل ۵-۶). همچنین در مزارع محصولات بهار کاهش عرض نوارها موجب افزایش بهره‌وری آب به میزان حدود ۳۷ تا ۶۰ درصد خواهد گردید (شکل ۶-۶).



شکل ۶-۵- اثر بهینه‌سازی عرض‌نوارها بر بهره‌وری آب گندم در مزارع مورد پایش شهرستان ارومیه

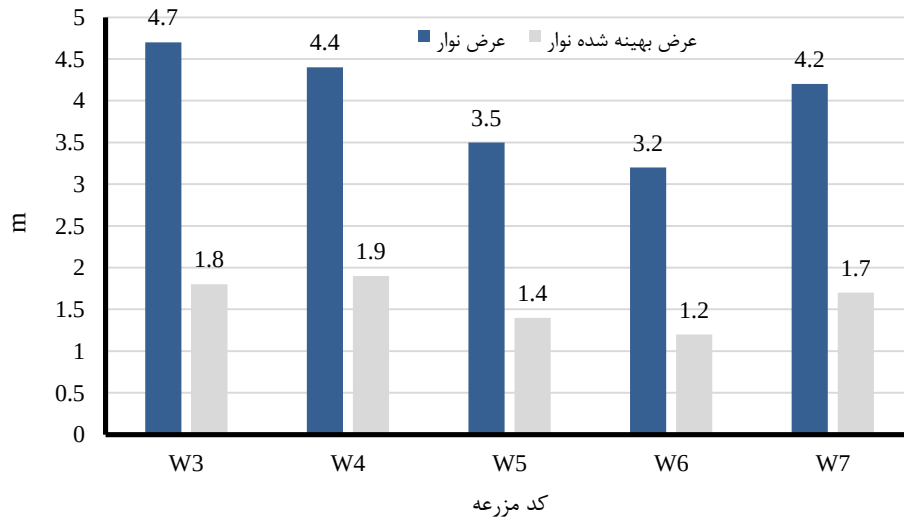


شکل ۶-۶- اثر بهینه‌سازی عرض‌نوارها بر بهره‌وری آب محصولات بهاره در مزارع مورد پایش شهرستان ارومیه (S- آفتابگردان، M- ذرت و C- کدو آجیلی)

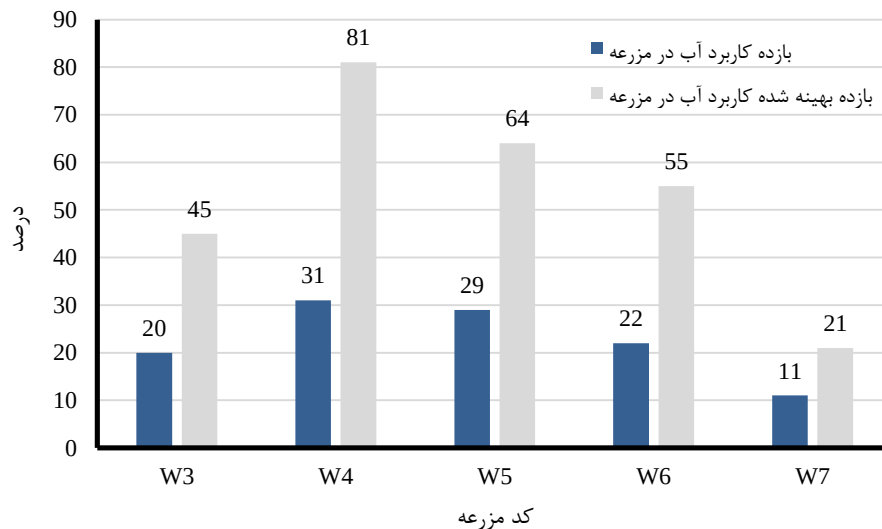
۴-۶- سناریوها برای افزایش راندمان کاربرد آب

در استان آذربایجان غربی، شهرستان ارومیه، عملکرد ۱۱ سیستم آبیاری سطحی مورد ارزیابی و بررسی قرار گرفت که با توجه به داده‌های صحرایی و با استفاده از نرم‌افزار WinSRFR4.1 شبیه‌سازی و بهینه‌سازی گردیدند که نتایج کلی به‌صورت زیر است.

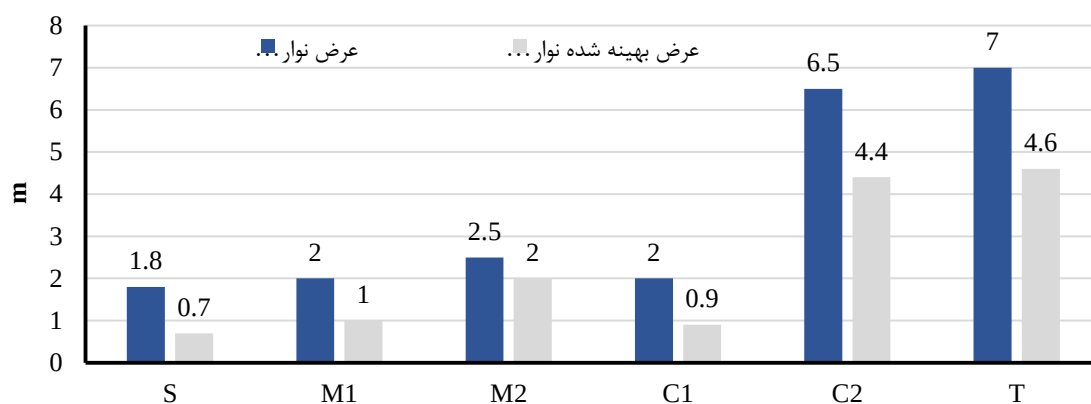
متوسط بازده کاربرد آب در مزارع W3 تا W7 به‌ترتیب برابر ۱۱، ۳۱، ۲۲، ۲۹ و ۲۰ درصد بدست آمد که با بهینه‌سازی‌های صورت گرفته به‌ترتیب تا ۲۱، ۸۱، ۵۵، ۶۴ و ۴۵ درصد (در صورت تسطیح نوارها و ترویج آموزش آبیاری) قابل افزایش است (شکل‌های ۶-۷ و ۶-۸). در محصولات بهاره نیز با کاهش عرض‌های موجود به کمتر از نصف عرض‌های اولیه راندمان کاربرد آب ۲۷ تا ۶۳ درصد در زراعت‌های مختلف افزایش می‌یابد (شکل‌های ۶-۹ و ۶-۱۰).



شکل ۶-۷- مقایسه عرض نوارهای آبیاری محصولات پاییزه (گندم) در شرایط مزرعه و بهینه‌سازی شده

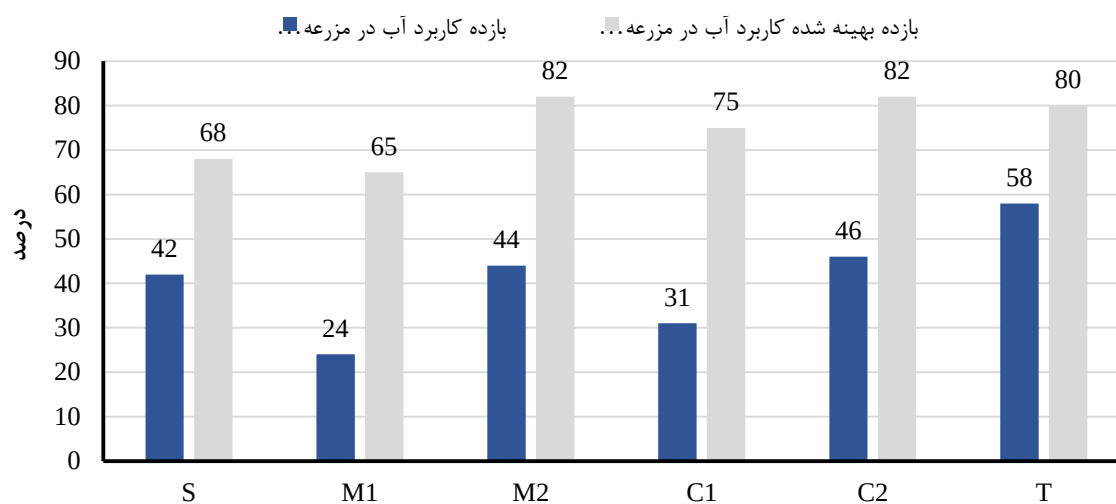


شکل ۶-۸- اثر بهینه‌سازی عرض نوارها بر بازده کاربرد آب محصولات پاییزه (گندم) شهرستان ارومیه



کد مزرعه

شکل ۶-۹- مقایسه عرض نوارهای آبیاری محصولات بهاره در شرایط مزرعه و بهینه‌سازی شده (S- آفتابگردان، M- ذرت، C- کدو آجیلی و T- گوجه‌فرنگی)



کد مزرعه

شکل ۶-۱۰- اثر بهینه‌سازی عرض نوارها بر بازده کاربرد آب محصولات بهاره شهرستان ارومیه (S- آفتابگردان، M- ذرت، C- کدو آجیلی و T- گوجه‌فرنگی)

۶-۵- پیشنهادها

- سطح آگاهی کشاورزان و ظرفیت‌سازی برای ارتقاء مدیریت آبیاری باید افزایش یابد تا آبیاری را در زمان مشخص و حجم مشخص انجام دهند؛ زیرا در اکثر مواقع کشاورزان معتقد بودند که بیش آبیاری هیچ ضرری به محصول وارد نمی‌کند و لذا آب را وارد نوار کرده و بعد از چند ساعت (۲-۳ برابر نیاز) نوار را عوض می‌کردند.
- اکثر زمین‌ها باید تسطیح گردند تا پستی و بلندی‌های زمین مانع حرکت آب و افزایش تلفات نفوذ عمقی نگردد.
- کشاورزان در مناطق مورد پایش عرض نوارها را با دهانه ادوات برداشت محصول تنظیم می‌کنند، پس بهتر است کشاورزان را به استفاده از عرض‌های بهینه شده در این تحقیق برای آبیاری‌های بعدی توجیه و تشویق کرد؛ زیرا این کار موجب می‌شود مرحله پیشروی آب سریعاً تکمیل شده و تلفات نفوذ عمقی کاهش یابد. با این روش می‌توان بازده کاربرد آبیاری سطحی در منطقه را تا بالای ۸۰ درصد افزایش داد.
- عدم نظارت بر تخصیص آب یکی دیگر از دلایل اصلی کم شدن بازده کاربرد آب است که با نصب کنتورهای هوشمند برای هر چاه، کشاورزان با دقت بیشتری از آب استفاده می‌کنند و موجب افزایش بازده کاربرد آب در مزارع می‌گردد.
- برای ارزیابی دقیق آب کاربردی و مصرفی پیشنهاد می‌گردد در صورت امکان از کنتورهای حجمی جهت اندازه‌گیری حجم آب تحویلی به مزارع استفاده گردد؛ زیرا نوسانات حاصله از پمپ حین آبیاری موجب ایجاد خطا در ارزیابی می‌گردد.

منابع

- احتشامی، م.، علی کناری، ش. و عباسی، ن. ۱۳۷۹. ارزیابی راندمان انتقال و توزیع و همچنین علل افزایش زبری در کانال‌های شبکه آبیاری قزوین. مجموعه مقالات دهمین سمینار کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، ۸۳-۹۳.
- احمدآبادی، ز. و قاجار سپانلو، م. ۱۳۹۱. تأثیر کاربرد کودهای آلی روی برخی خواص فیزیکی خاک. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. جلد ۱۹، شماره ۲، ۱۶۶-۹۹ ص.
- اسدی، ا.، اشرفی، ش.، باغانی، ج.، ریاحی، ح.، سهرابی، ت.، طایفه‌رضایی، ح.، عباسی، ف.، کشاورز، ع.، مامن‌پوش، ع. ر. و میان‌آبی، ع. ۱۳۷۵. بررسی عملکرد روش‌های آبیاری سطحی تحت مدیریت زارعین. مجموعه مقالات دومین کنگره ملی مسایل آب و خاک کشور، ۲۷-۳۰ بهمن ۱۳۷۵ تهران. ۳۰-۴۰.
- اسکندری، ا. ۱۳۸۱. مقایسه روش‌های مختلف خاک‌ورزی بر روی عملکرد گندم دیم بعد از برداشت نخود. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی. جلد ۳، شماره ۱۱، ۵۷-۷۳.
- اسکندری، ا. و همت، ع. ۱۳۸۲. اثر زیرشکنی بر حفظ و ذخیره رطوبت خاک و عملکرد محصول گندم دیم. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی. جلد ۴، شماره ۱۴، ۱-۱۹.
- بنی‌عباسی، ن. ۱۳۷۳. وضعیت موجود شبکه آبیاری و زهکشی اراضی سد درودزن و امکان بهره‌برداری مطلوب از آن. مجموعه مقالات هفتمین سمینار کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران.
- بهره‌دار، د. ۱۳۷۳. بررسی علل نارسایی‌ها و مشکلات موجود در بهره‌برداری از شبکه فرعی آبیاری و زهکشی در اراضی کشت و صنعت مغان. مجموعه مقالات هفتمین سمینار کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران.
- دهقان، م. ذبیحی افروز، ر. ع. و حسینی ثابت، م. ۱۳۸۸. بهره‌وری محصولات زراعی در ازای مصرف آب در ایران و مقایسه آن با کشورهای جهان. وزارت جهاد کشاورزی، مؤسسه پژوهش‌های برنامه‌ریزی، اقتصاد کشاورزی و توسعه روستایی، ۸۲ ص.
- دهقانی سانچ، ح. و حیدری، ن. ۱۳۹۵. کارایی مصرف و بهره‌وری آب کشاورزی. ص ۶۰-۲۳. در مدیریت تقاضا و مصرف آب کشاورزی در ایران. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. ۲۹۲ صفحه.
- دهقانی سانچ، ح.، میرلطیفی، م.، طایفه‌رضایی، ح. ۱۳۹۵. شناسایی تکنیک‌های مؤثر بر مصرف و بهره‌وری آب کشاورزی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه. ۱۵۹ ص.
- رحیمی، م. و سپاسخواه، ع. ر. ۱۳۸۳. تعیین معادلات نفوذ و پیشروی آب در آبیاری جویچه‌ها در مزارع نیشکر هفت‌تپه. مجموعه مقالات دومین کنفرانس ملی دانشجویی، دانشکده منابع آب و خاک کشاورزی دانشگاه شیراز، ۴۹-۵۵.
- روزبه، م. و دهقانیان، س. ا. ۱۳۸۳. بررسی اثرات زیرشکن و دور آبیاری به ازای مقدار معینی از نیاز آبی گیاه بر میزان محصول پنبه در داراب. گزارش نهایی موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی. شماره ۸۰۸.
- روزبه، م. ۱۳۷۸. ارزیابی و مقایسه میزان انرژی موردنیاز روش‌های مختلف خاک‌ورزی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده کشاورزی. ۷۷ صفحه.
- شفیعی، ا. ۱۳۷۱. اصول ماشین‌های کشاورزی. جلد اول. انتشارات دانشگاه تهران.
- شماعی، غ. ر.، موسوی، ف. و مصطفی‌زاده، ب. ۱۳۷۵. ارزیابی راندمان‌های سیستم آبیاری شیاری در اراضی یکپارچه استان چهارمحال و بختیاری. مجموعه مقالات هشتمین سمینار کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. وزارت نیرو. ۱۴۹-۱۵۹.

- صلح‌جو، ع.، لغوی، م.، احمدی، ح. و روزبه، م. ۱۳۸۰. تأثیر درصد رطوبت خاک و عمق شخم بر میزان خرد شدن خاک و کاهش عملیات خاک‌ورزی ثانویه. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی. جلد ۲. شماره ۶، ۱-۱۳.
- طایفه‌رضایی، ح.، معیری، م. و ریاحی، ح. ۱۳۸۲. ارزیابی راندمان آبیاری سطحی توسط کشاورزان ایران گزارش فنی نهایی مرکز تحقیقات فنی مهندسی کشاورزی کرج. شماره گزارش ۱۰۰۲.
- ظریف نشاط، س. ۱۳۸۲. تأثیر روش‌های متفاوت آماده‌سازی زمین در هیرم‌کاری و خشکه‌کاری بر عملکرد زیره سبز. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی. جلد ۴. شماره ۱۶، ۲۹-۴۳.
- علیزاده، ا. ۱۳۹۰. طراحی سیستم‌های آبیاری - جلد اول، طراحی سیستم‌های آبیاری سطحی. آستان قدس رضوی؛ دانشگاه امام رضا.
- علیزاده، ا. ۱۳۸۳. طراحی سیستم‌های آبیاری. ترجمه (چاپ پنجم با تجدید نظر)، انتشارات آستان قدس رضوی.
- کانونی، ا. ۱۳۸۶. ارزیابی راندمان آبیاری جویچه‌ای تحت مدیریت‌های مختلف در منطقه مغان. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، ۸(۲): ۱۷-۳۲.
- مصطفی زاده ب و موسوی ف. ۱۳۷۵. آبیاری سطحی: تئوری و عمل. انتشارات فرهنگ جامع.
- معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی وزارت جهاد کشاورزی. آمارنامه کشاورزی ۱۳۹۴ [جلد اول: محصولات زراعی]، ۹۳، معاونت فناوری اطلاعات و ارتباطات وزارت جهاد کشاورزی.
- ملوچی، ح.، بهزاد، م. و ناصری، ع.ع. ۱۳۸۵. راندمان‌های کاربرد آب در دوحالت جویچه‌های بازسازی شده و بدون بازسازی در مزارع نیشکر. همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، ۱۲-۱۴.
- منعم، م.ج.، قاهری، ع.، بادزهر، ع.ع.، غروی، ح.، برهان، ن.، ذوالفقاری، ع.، ثابتی، ع. و احسانی، م. ۱۳۷۹. ارزیابی عملکرد شبکه آبیاری قزوین با استفاده از مدل PAIS. دهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. ۱۵۵-۱۶۶.
- میرابوالقاسمی، ه. ۱۳۷۳. ارزیابی بازده آبیاری در تعدادی از شبکه‌های سنتی ایران. مجموعه مقالات هفتمین سمینار کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. تهران.
- نیریزی، س.، سهرابی، ت.، ماهرانی، م. و حیدری، ن. ۱۳۷۶. آشنایی با آبیاری کابلی. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، وزارت نیرو ۱-۱۰.
- یزدی، ز.، محسنی موحد، س.ا. و حیدری، م. ۱۳۸۷. تهیه مدلی جهت ارزیابی، طراحی، شبیه‌سازی و بهینه‌سازی عملکرد آبیاری شیاری. دومین سمینار راهکارهای بهبود و اصلاح سامانه‌های آبیاری سطحی، ۱۲۱-۱۳۶.

- Alazba, A.A. and Fangmeire, D. D. 1995. Hydrograph shape and irrigation efficiency. Irrigation. and Drainage. Div., ASCE, 121(6): 452-457
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO, Rome, 300(9), p.D05109.
- Anothai, J., Patanothai, A., Jogloy, S., Pannangpetch, K., Boote, K.J., and G. Hoogenboom. 2008. A sequential approach for determining the cultivar 118 coefficients of peanut lines using end-of-season data of crop performance trails. Field Crops Research Journal.vol. 108, pp. 169-178.
- Attia, A., Rajan, N., Xue, Q., Nair, S., Ibrahim, A., and Hays, D. 2016. Application of DSSAT-CERES-Wheat model to simulate winter wheat response to irrigation management in the Texas High Plains. Agricultural Water Management, vol. 165, pp. 50-60.

- Borrelli, J., Fornstrom K.J., Brosz D.J., and Jackson G.D.** 1982. Sediment yield and its control from fann land in the Bitter Creek drainage at Powell, Wyoming. Final report submitted to State of Wyoming, Department of Environmental Quality, Cheyenne, Wyoming.
- Brosz., D.D. and Wierama, J.L.** 1971. Evaluation and functional system. National Technical Information servise, PB-206124, 34p.
- Butista, E. and Wallender, W.W.** 1993. Optimal management strategies for cut-back furrowirrigation. Irrigation. and Drainage. Engineering, ASCE, 119(6): 1099-1115 .
- Butista, E. and Wallender, W.W.** 1993. Optimal management strategies for cut-back furrowirrigation. Irrigation. and Drainage. Engineering, ASCE, 119(6): 1099-1115.
- Chamberlain, A.R.,** 1952. Measuring water in small channels with WSC flume. Washington Agricultural Experiment Stations, Institute of Agricultural Sciences, State College of Washington.
- Coolidge, P.S., Walker, W.R. and Bishop, A.A.** 1982. Advance and runoff-surge flow furrow irrigation. Irrigation. and Drainage. Engineering, ASCE 108(3): 179-195.
- Criddle, W.D., Steling, D. and Dell, G.S.** 1956. Methods for evaluation of irrigation systems. SCS. Handbook. No. 82.
- Dehghanisanij H.** 2012. Current agricultural water and soil resources and productivity in the Iranian highlands: measures and Improvements. Journal of Agriculture, Biotechnology & Ecology. Volume 5, issue 1, 1-14.
- Dehghanisanij H., Nakhjavani M.M. Tahir A.Z., Anyoji H.** 2009. Assessment of wheat and maize water productivity and production function for cropping system decisions in arid and semiarid regions. Irrigation and Drainage Journal (ICIDJ). Irrigation and Drainage Journal (ICIDJ). Volume 58, Issue 1, Pages: 105-115.
- Galinato, G.O.** 1974. "Evaluation of Irrigation System in the SNAKE RIVER FAN". Springfield. VA 22161 AS. 140 p.
- Garton, J.E.** 1966. Designing an automatic cut-back furrow irrigation system. Bull. B. 651, Oklahoma Agric. Exp. Station, Oklahoma State Univ., Stillwater, Ok.
- Izadi, B. and Wallender, W.W.** 1985. Furrow hydraulic characteristics and infiltration. Trans. ASAE, 28(6): 1901-1908.
- Izadi, B., Studer, D. and Mc Cann, I.** 1991. Maximazing set furrow irrigation application efficiency under full irrigation strategy. Trans. ASAE, 34(5): 2006-2014.
- Izadi, B., Studer, D. and Mc Cann, I.** 1991. Maximazing set furrow irrigation application efficiency under full irrigation strategy. Trans. ASAE, 34(5): 2006-2014.
- Izadi, B., Studer, D. and Mc Cann, I.** 1991. Maximazing set furrow irrigation application efficiency under full irrigation strategy. Trans. ASAE, 34(5): 2006-2014.
- Javan, M.S., Jahromi, S. and Fiuzat, A.A.** 2002. "Quantifiying Management of Irrigation and Drainage Systems". Irrigation. and Drainage. Engineering, 128(1): 19-25.
- Jones, A. J., R.D. Grisso, and C. A. Shapiro.** 1988. Soil compaction... fact and fiction, common questions and their answers. NE. Coop. Ext. Serv. CC 342.
- Jones, A.J.** 1996. Subsoiling in Nebreska. NE. Coop. Ext. Serv. NebGuide G96- 258
- Jones, A.J., E.C. Dickey, D. D. Eisenhauer and R. A. Wiese.** 1987. Identification of soil compaction and its limitations to roots growth. NE. Coop. Ext. Serv. NebGuide G87- 331.
- Karlen, D. L., and Camp, C. R.** 1985. Row spacing, plant population, and water management effects on corn in the Atlantic Coastal Plain. Agronomy Journal, 77(3), 393-398.

- Khalilian, A.** 1983. Soil strength and cotton yields from five tillage systems. Paper, ASAE. No, 83. 1023, 17pp.
- Letey, J., Vaux, H. and Feinerman, E.** 1984. Optimum crop water application as affected by uniformity of water infiltration. *Agronomy journal*, 76(3): 435-441.
- Mantovani, E., Villalobos, F., Organ, F. and Fereres, E.** 1995. Modelling the effects of sprinkler irrigation uniformity on crop yield. *Agricultural Water Management*, 27(3): 243-257.
- Merriam, J.L.** 1977. Efficient Irrigation, California polytechnic and State Univ., San Luis Obispo, Calif.
- Pandian, B.J., Muthukrishnan, P. and Rajasekaran, S.** 1992. Efficiency of different irrigation methods and regimes in sugarcane. *Ind. Sugar*, 42(4): 215-219.
- Qi, Z., and Helmers, M. J.** 2010. The conversion of permittivity as measured by a PR2 capacitance probe into soil moisture values for Des Moines loess soils in Iowa. *Soil use and management*, 26(1), 82-92
- Sohrabi, T and Keshavarz, A.** 1994. "Surface Irrigation System Evaluation under Farmers Managment". XII CIGR World Congress and Agricultural Engineering Conference Milan. Italy.
- Thoms, W., Ley, W. and Clyma, W.** 1981. "Furrow Irrigation in Northern Colorado". ASAE.
- Wang, M. C., and Yang, C. H.** 2002. Effect of paddy-upland crop rotation with various fertilizations on soil physical and chemical properties. In 17. World congress of soil science,, Bangkok (Thailand), 14-21 Aug 2002
- Warrick, A. and Yates, S.** 1987. Crop yield as influenced by irrigation uniformity. *Advances in irrigation (USA)*.