



سازمان جهاد کشاورزی استان اردبیل

عنوان طرح پژوهشی:

تعیین نیاز آبی الگوی کشت غالب دشت اردبیل با استناد

بر آمارهای به روز هواشناسی

مجری طرح:

دانشگاه محقق اردبیلی

محقق طرح:

دکتر جوانشیر عزیزی مبصر

ناظر طرح:

دکتر داوود حسن پناه

سازمان مدیریت و برنامه ریزی استان اردبیل

دبیرخانه کارگروه آموزشی، پژوهشی، فناوری و نوآوری

سال ۱۳۹۹-۱۴۰۰

## فهرست

فصل اول: کلیات	۴
۱-۱ مقدمه	۵
۲-۱ ضرورت انجام تحقیق	۱۰
فصل دوم: مواد و روش ها	۱۲
۱-۲ منطقه مورد مطالعه ( دشت اردبیل)	۱۳
۲-۲ نیاز آبی	۱۵
۲-۲-۲ ابزار جمع آوری اطلاعات	۱۸
۲-۲-۳ رطوبت ظرفیت زراعی	۳۶
منابع	۴۲

## فهرست شکل ها

شکل ۱-۲ منطقه مورد مطالعه، نقشه دشت اردبیل	۱۳
شکل ۲-۲ صفحه مربوط به ثبت اطلاعات اقلیمی در نرم افزار CROPWAT	۱۹
شکل ۳-۲ صفحه مربوط به اطلاعات اقلیمی ثبت شده در نرم افزار CROPWAT	۲۰
شکل ۴-۲ اطلاعات اقلیمی مورد استفاده در نرم افزار CROPWAT	۲۰
شکل ۵-۲ تغییرات دما و خط برازش رگرسیون مربوطه مورد استفاده در نرم افزار CROPWAT	۲۱
شکل ۶-۲ تغییرات رطوبت نسبی و خط برازش رگرسیون مربوطه مورد استفاده در نرم افزار CROPWAT	۲۲
شکل ۷-۲ تغییرات سرعت باد و خط برازش رگرسیون مربوطه مورد استفاده در نرم افزار CROPWAT	۲۳
شکل ۸-۲ تغییرات سرعت باد و خط برازش رگرسیون مربوطه مورد استفاده در نرم افزار CROPWAT	۲۴
شکل ۹-۲ تغییرات تشعشعات خورشیدی و خط برازش رگرسیون مربوطه مورد استفاده در نرم افزار CROPWAT ...	...

شکل ۲-۱۰ تغییرات تبخیر و تعرق مرجع و خط برازش رگرسیون مربوطه مورد استفاده در نرم افزار CROPWAT ....

۲۶

شکل ۲-۱۱ صفحه ثبت اطلاعات بارندگی مورد استفاده در نرم افزار CROPWAT ..... ۲۷

شکل ۲-۱۲ اطلاعات ثبت شده بارندگی و بارندگی موثر در نرم افزار CROPWAT ..... ۲۸

شکل ۲-۱۳ تغییرات بارش و بارندگی موثر و خط برازش رگرسیون مربوطه مورد استفاده در نرم افزار CROPWAT

۲۹....

شکل ۲-۱۴ اطلاعات ثبت شده گندم در نرم افزار CROPWAT ..... ۳۱

شکل ۲-۱۵ تغییرات رطوبت نسبت به زمان (رسول زاده و رئوف، ۱۳۹۲) ..... ۳۴

شکل ۲-۱۶ تیپ منحنی های رطوبتی (مکش-رطوبت) (رسول زاده و رئوف، ۱۳۹۲) ..... ۳۵

### فهرست جداول

جدول ۲-۱- محدوده برخی خصوصیات فیزیکی انواع مختلف خاک ها (رسول زاده و رئوف، ۱۳۹۲) ..... ۳۶

# فصل اول

## کلیات

با توجه به جمعیت کنونی کشور و نرخ رشد آن، لازمست که تولید غذای کشاورزی برای ۵۰ سال آینده، برای حفظ شرایط فعلی تولید غذا برای هر نفر، حدود ۵۰ درصد افزایش یابد. آبیاری باید نقش حیاتی در این افزایش ایفا نماید. با توجه به این که هم اکنون در اغلب کشورهای در حال توسعه تقریباً کل منابع آب مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد، کشاورزی اراضی فاریاب در آینده به ناچار باید آب را با راندمان بیش‌تری مصرف نماید. همچنین با توجه به رقابتی شدن استفاده از منابع آب توسط بخش‌های مختلف و با در نظر گرفتن این نکته که بخش کشاورزی به عنوان بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب در کشورمان مطرح است. این بخش باید راه‌کارهای مختلف افزایش بهره‌وری آب، بخصوص راه‌کارهای مدیریتی، را مورد آزمایش قرار دهد تا در آینده‌ای نه چندان دور برای تأمین نیاز غذایی دچار مشکل نشود. یکی از راه‌کارهای مدیریتی، برنامه‌ریزی آبیاری است که اساس آن تعیین نیاز آبی دقیق است. همچنین تعیین دقیق نیاز آبی یکی از مهم‌ترین پارامترهایی است که دانستن آن برای برآورد آب مصرفی گیاه، طراحی شبکه‌های آبیاری، برنامه‌ریزی برای رسیدن به تولید بیش‌تر و تعیین ظرفیت شبکه‌های آبیاری و زهکشی نقش مهمی دارد.

مدیریت منابع آب به عنوان مهم‌ترین منبع تجدیدپذیر، اما محدود، یکی از مهمترین چالش‌های سده کنونی بوده و موجبات نگرانی‌های عمده جهانی را فراهم آورده است (دینگ ۲۰۰۵؛ لینر ۲۰۰۹). مباحث و مطالعاتی که پیرامون موضوع آب به‌عنوان یکی از محوری‌ترین اجزای توسعه پایدار صورت پذیرفته، مدیریت ضعیف و ناپایدار آب و نه محدودیت‌های واقعی فیزیکی عرضه را مسئول مشکلات یاد شده می‌داند (استراتون ۲۰۰۸؛ آنجلس ۲۰۱۱). بر اساس شاخص مؤسسه بین‌المللی مدیریت آب، کشور ایران در وضعیت بحران شدید کم آبی قرار دارد. بنابر گزارش این مؤسسه ایران برای حفظ وضع موجود خود تا سال ۲۰۲۵ باید بتواند ۱۱۲ درصد به منابع آب قابل استحصال خود بیفزاید که این مقدار با توجه به امکانات و منابع موجود ناممکن به نظر میرسد (مؤسسه بین‌المللی مدیریت آب، ۲۰۱۲).

در سال ۱۴۰۴، بر اساس مرکز آمار ایران و تحقیقات صورت گرفته بر اساس همان آمار، جمعیت کشور ایران از مرز ۸۶ میلیون نفر خواهد گذشت. رشد جمعیت در کشور همچنین، در مقایسه با بسیاری از کشورهای دیگر دارای سرعت بیشتری می‌باشد (محمودی و همکاران ۲۰۱۳). رشد نمایی و سریع جمعیت ایران و جهان یک مشکل قابل توجه در تولید غذا ایجاد خواهد کرد، زیرا منابع آب و زمین محدود می‌باشد. در سالیان اخیر کمبود آب به یک مسئله مهم کشور تبدیل شده است که در برخی از استان‌ها دارای شدت بسیار بالایی می‌باشد. مشکل ذکر شده مختص به کشور ایران نبوده بلکه در بسیاری از کشورهای جهان نیز کم‌آبی مشکلات بسیاری را در مورد اقتصاد ملی کشورها ایجاد کرده است. سال ۲۰۱۴ به عنوان گرم‌ترین و خشک‌ترین سال در جهان ثبت گردید (سوآین و همکاران ۱ ۲۰۱۴، چورنوسکی و همکاران ۲ ۲۰۱۵، مان و گلیک ۳ ۲۰۱۵). کمبود آب باعث می‌گردد که نیاز به مدیریت بهتر آب، بهینه‌سازی مصرف آب و بالا بردن راندمان کاربرد آب در سطح مزرعه بیش از پیش احساس گردد. مدیریت بهتر آب، بهینه‌سازی مصرف آب، بالا بردن راندمان کاربرد آب در مزرعه و در کل هر عملی که منجر به کاهش تلفات آب در مزرعه یا مسیر انتقال گردد مستلزم این است که روش‌ها و ابنیه‌های کارآمدی طراحی و اجرا گردند. لازمه طراحی و اجرای ابنیه‌ها و تعیین روش‌های کارآمد داشتن یک مدل مجازی از نحوه حرکت آب از محل منبع تا مصرف و در نهایت تبخیر و خروج آب از سیستم گیاه می‌باشد. یکی از مهم‌ترین بخش‌های انتقال آب در خاک اتفاق افتاده که در این بین جذب ریشه گیاه نیز وجود دارد. چنانچه جذب آب توسط ریشه بررسی و تعیین گردد مناطقی از رشد ریشه که آب بیشتر و یا کمتر جذب می‌کند قابل شناسایی بوده و کمک شایانی در زمینه مقدار آب آبیاری و در نهایت مدیریت آب در مزرعه نماید. جهت آبرسانی به یک مزرعه نیاز به تاسیسات انتقال آب اعم از کانالها یا لوله‌های انتقال آب می‌باشد. تعیین ظرفیت کانال‌ها یا لوله‌های انتقال آب بستگی به هیدرومدول مزرعه مورد نظر داشته و این پارامتر بایستی به دقت برای هر منطقه استخراج گردد. از یک طرف، چنانچه هیدرومدول یک منطقه کمتر از مقدار واقعی برآورد گردد، نیاز آبی گیاهان

---

1 Swain et al.

2 Chornesky et al.

3 Mann and Gleick

آن منطقه برطرف نشده و کشاورزی آن منطقه خسارت فراوانی از این مسئله خواهد دید. از طرف دیگر، چنانچه هیدرومدول یک منطقه بیشتر از مقدار واقعی برآورد گردد، کشاورزان در مصرف آب صرفه جویی نخواهند کرد و لذا راندمان سیستم های آبیاری در آن مناطق پایین خواهد آمد. لذا ایجاب می نماید که برای هر منطقه هیدرومدول الگوی کشت، به دقت برآورد شده و هیدرومدول ترکیبی استخراج و مبنای طراحی پروژه های آبی قرار گیرد.

با توجه به دلایلی که در بخش مربوط به ضرورت انجام تحقیق اشاره خواهد شد، نیاز است نیاز آبی پتانسیل در دشت اردبیل با استفاده از اطلاعات جدید دوبار محاسبه شود، بنابر این هدف اصلی این تحقیق محاسبه دقیق نیاز آبی پتانسیل در محدوده دشت اردبیل و محاسبه نیاز آبی واقعی برای الگوی کشت غالب دشت اردبیل است. در راستای دستیابی به اهداف اصلی تحقیق و با توجه به اطلاعاتی که جمع آوری و تولید خواهد شد، تغییر پارامترهای اقلیمی نسبت به گذشته، تأثیر تفاوت اقلیم در دشت اردبیل، عامل بافت خاک و تعیین نیاز آبی در مراحل مختلف رشد گیاهان اصلی دشت، به عنوان اهداف فرعی این تحقیق ترسیم شده است.

اندازه گیری نیاز آبی در برنامه ریزی و مدیریت منابع آب به عنوان ابزار لازم برای ارتقاء بهره وری آب بسیار ضروری و لازم است. (قهرمانی و همکاران، ۲۰۱۳).

معمولاً تبخیر و تعرق برای گیاهان مختلف با استفاده از مدل های تجربی و عوامل اقلیمی محاسبه می شوند (فرهانی و همکاران، ۲۰۰۷؛ آلن و همکاران، ۲۰۱۱؛ ورستراتن و همکاران، ۲۰۰۸). برای استفاده از مدل های تجربی نیاز به استفاده از ضریب گیاهی است و دقت این ضریب در مقدار تعیین نیاز آبی گیاه بسیار تأثیرگذار است. مطالعات زیادی در دو دهه اخیر وجود دارد که نشان می دهد که مناسب ترین مدل، مدل فائو ۵۶ است (پریرا و همکاران، ۲۰۲۱). همچنین شناخت کافی بودن تعریف و محاسبه تبخیر و تعرق مرجع و رویه های مربوط به ضرایب محصول بسیار ضروری است. بنابراین با اصلاح رویه ها و به روز کردن محاسبات مربوط به نیاز آبی می توان در مدیریت صحیح آب در مزرعه و افزایش راندمان تغییر مثبتی ایجاد نمود (رامیرز و همکاران، ۲۰۱۹؛ پاکس و همکاران، ۲۰۲۰).

موسکی و همکاران (۲۰۱۹)، نیاز آبی و نیاز آبیاری برخی گیاهان را با استفاده از مدل CROPWAT (استفاده از روش فائو ۵۶ به عنوان هسته اصلی مدل) در مناطق نیمه خشک در مراحل مختلف رشد محاسبه کردند و دریافتند که تأمین نیاز آبی در برخی مراحل رشد حساس گیاه باعث افزایش عملکرد محصول می‌شود. انجام تحقیقات و مطالعات گسترده در زمینه مدیریت منابع آب، کشاورزی و محیط زیست مستلزم آگاهی از تبخیر-تعرق واقعی در مقیاس زمانی و مکانی می‌باشد. روش‌های اصلی تعیین تبخیر-تعرق نظیر روش لایسیمتر و نسبت بوون برای اندازه‌گیری تبخیر-تعرق در مقیاس مزرعه به کار برده می‌شوند (علیزاده و همکاران، ۱۳۹۲).

با توجه به اینکه سند ملی آب، نیاز آبی را در دشت‌ها و حوزه‌های آبریز کشور با استفاده از رابطه پنمن - مانیتث فائو (گزارش فائو ۵۶) برآورد نموده است. به عبارت دیگر سند ملی آب استفاده بومی از معادله مذکور بوده و سوابق مربوطه به آن مختص تحقیقات داخلی است. بنابراین در این تحقیق به طور مختصر چند تحقیق کاملاً مرتبط با این موضوع به شرح ذیل اشاره می‌شود:

براتی و همکاران (۱۳۹۷)، نیاز خالص آبیاری گیاهان الگوی کشت دشت کرمانشاه را برآورد و با داده‌های سند ملی آب مقایسه نمودند. این محققین در مطالعه انجام شده، برای محاسبه نیاز آبی گیاهان، از آمار هواشناسی سال‌های ۶۶-۱۳۶۵ تا ۹۵-۱۳۹۴ استفاده کردند و به منظور برآورد نیاز خالص آبیاری الگوی کشت دشت کرمانشاه از نرم افزار ET0Calculator برای محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع استفاده شد. سپس مقادیر تبخیر و تعرق گیاهان الگوی کشت، مقادیر باران مؤثر، و در ادامه مقادیر نیاز خالص آبیاری گیاهان محاسبه شدند. نتایج حاصل از مقایسه مقادیر بدست آمده در این تحقیق با مقادیر موجود در نرم افزار NETWAT نشان داد که برای اغلب گیاهان، مقادیر بدست آمده در این تحقیق به طور میانگین ۱/۲ برابر مقادیر ارائه شده در نرم افزار NETWAT بود.

در مطالعه‌ای به بررسی روش محاسبه و مقادیر برآورد شده نیاز آبی محصولات استان خوزستان در سند ملی آبیاری پرداخته شد. بر اساس نتایج بدست آمده از این مطالعه، مقایسه نیاز آبی محاسبه شده در سند با دیگر



مراجع برای دشت‌های مختلف استان خوزستان تفاوتی در حدود ۹۱ تا ۱۸ درصد برای گندم و تا ۳۱ درصد برای برنج را نشان داده است (مینائی و مادح خاکسار، ۱۳۸۱).

پژوهش انجام گرفته برای سه منطقه برناج (واقع در استان کرمانشاه) و شیخ بشارت و قصریان (واقع در استان کردستان) جهت مقایسه مقادیر محاسبه شده آب مورد نیاز الگوی کشت به روش پنمن-مانتیث و مقادیر ارائه شده در سند ملی آبیاری کشور، بیانگر آن بود که سند ملی آبیاری کشور در برخی موارد مقدار نیاز خالص آبی را بیش‌تر از مقدار محاسبه شده و در برخی از موارد کم‌تر گزارش نموده است (قمرنیا و سپهری، ۱۳۸۸).

موضوع تغییرات اقلیمی ظرف ۱۵ سال اخیر و قابلیت افزایش طول دور آماری ۱۵ ساله به مطالعات قبلی سند ملی آبیاری کشور نیز در مطالعه‌های برای استان خراسان رضوی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد نیاز آبی گیاه مرجع در استان خراسان رضوی در شرایطی که ۱۵ سال اخیر نیز در محاسبات گنجانده شوند به طور متوسط ۴۷ درصد بیش از مقدار محاسبه شده در مطالعات قبلی است. در این مطالعه، بر لزوم بازنگری و به روزرسانی سند ملی آبیاری کشور تأکید شده است (عرفانیان و همکاران، ۱۳۸۹).

در پژوهشی دیگر، نیاز آبیاری گیاهان زراعی مهم مناطق مختلف در استان فارس برای شرایط میانگین (سطح احتمال ۵۰ درصد) و شرایط بحرانی (تبخیر و تعرق زیاد و بارندگی کم) تعیین شد. نتایج این تحقیق نشان داد که مقدار نیاز آبیاری گزارش شده در برنامه NETWAT در ۸۸/۵ درصد موارد کمتر از مقدار نیاز آبیاری میانگین و در ۹۸/۱ درصد موارد کمتر از نیاز آبیاری بحرانی است (فولادمنند، ۱۳۸۹).

علاوه بر این، میزان انطباق نیاز آبی بادام در ایستگاه سینوپتیک سامان واقع در استان چهارمحال و بختیاری نیز با سند ملی آبیاری کشور در پژوهشی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نیز بیانگر افزایش ۴۰ درصدی تبخیر و تعرق بادام در منطقه مذکور نسبت به مقادیر ذکر شده در سند ملی آبیاری کشور بود (حیدری بنی و همکاران، ۱۳۹۰).

انصافی مقدم (۱۳۹۴)، نیاز خالص آبیاری محصولات زراعی و باغی در دشت‌های استان مرکزی با استفاده از نرم افزار NETWAT مقایسه کردند و نتایج حاصله نشان داد که ضروری است در استان مرکزی، کشت‌های با

مصرف آب بالا و بازده اقتصادی پایین همانند چغندر قند و یونجه از الگوی کشت منطقه حذف و به جای آنها کشت هایی نظیر ذرت علوفه ای و کشت های بومی نظیر گندم و ارزن، یا تناوب یکساله که هم موجب کاهش استحصال آب و هم متضمن منافع اقتصادی بالا برای بهره برداران کشاورزی باشد، جایگزین شود.

(براهمی و شاهوردی، ۱۳۹۷) اقدام به بهوز رسانی و بازنگری سند ملی آب در دشت های قزوین و فومنات کردند، نتایج نشان می دهد که مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل سالانه بین ۱۳۳۰ تا ۱۵۸۷/۱ میلی متر در دشت قزوین و ۷۴۳ تا ۸۰۹ میلی متر در دشت فومنات متغیر است. به طور متوسط، تبخیر و تعرق به اندازه ۴۰/۶ درصد در ایستگاه تاکستان (به عنوان ایستگاه نمونه) در دشت قزوین نسبت به سند ملی آب بیش تر است.

چاخوری و همکاران (۱۳۸۵) در پژوهشی نقش سند ملی آب در عملکرد مصارف آب شبکه آبیاری ناحیه شمال خوزستان بررسی کردند که نتایج نشان داد که سند ملی آب به تنهایی نمی تواند معیار مناسبی جهت الگوی مناسب مصرف آب باشد.

بررسی منابع داخلی و خارجی نشان می دهد که اولاً روش محاسبه تبخیر و تعرق فائو ۵۶ به عنوان یک روش جهانی در نقاط مختلف دنیا استفاده می شود. ثانیاً با توجه به اینکه این روش متأثر از عوامل اقلیمی و محاسبه ضریب گیاهی است، بنابراین بازنگری محاسبات در دوره های زمانی و مکانی مختلف ضروری است.

## ۱-۲- ضرورت انجام تحقیق

دقیق ترین روش برآورد نیاز آبی، استفاده از لایسیمتر وزنی است، اما از آنجا که احداث این نوع لایسیمتر هزینه بسیار زیادی را به همراه دارد، بیش تر از روش های تجربی استفاده می شود. قابل ذکر است که مدل های تجربی زیادی برای این منظور وجود دارد، که انتخاب مناسب ترین مدل در جایی که لایسیمتر وجود ندارد (با توجه به عدم وجود داده مبنا برای ارزیابی مدل) یک چالش اساسی است. اما در حال حاضر روش پنمن- ماتتیت فائو که در قالب نشریه شماره ۵۶ فائو منتشر شده تنها روش استاندارد برای محاسبه نیاز آبی گیاه توصیه شده است. این مدل اساس نرم افزار Cropwat است که امروزه در سراسر دنیا از آن به عنوان یک روش معتبر برای برآورد نیاز

آبی و ارزیابی سایر مدل‌های تجربی از آن استفاده می‌شود. بر اساس این نرم‌افزار برای کل کشور و به تفکیک حوزه آبریز رودخانه‌ها و دشت‌های کشور برای الگوی کشت موجود در دشت‌ها نیاز آبی محاسبه شد و مبانی تصمیم‌ها و برنامه‌ریزی در بخش کشاورزی بود. اما در سال‌های اخیر به دلیل مشکلات زیر نیاز به بازنگری اساسی و محاسبه نیاز آبی می‌باشد:

۱. تغییر پارامترهای اقلیمی مورد استفاده با توجه به ثبت اطلاعات جدید بعد از تعیین نیاز آبی در سال‌های گذشته

۲. عدم ورود صحیح برخی پارامترهای ورودی مدل از قبیل ارتفاع متوسط و محدوده دقیق دشت در برخی دشت‌ها

۳. نادیده گرفتن میکروکلیم در سطح برخی دشت‌ها از قبیل دشت اردبیل

۴. تغییر الگوی کشت در سال‌های اخیر در اکثر دشت‌ها به علت کاهش منابع آب و افزایش سطح زیر کشت.

۵. ایجاد پایگاه‌های جدید ثبت اطلاعات اقلیمی در اکثر دشت‌ها که باعث افزایش دقت نتایج نسبت به گذشته می‌شود.

۶. عدم رعایت الگوی غالب کشت

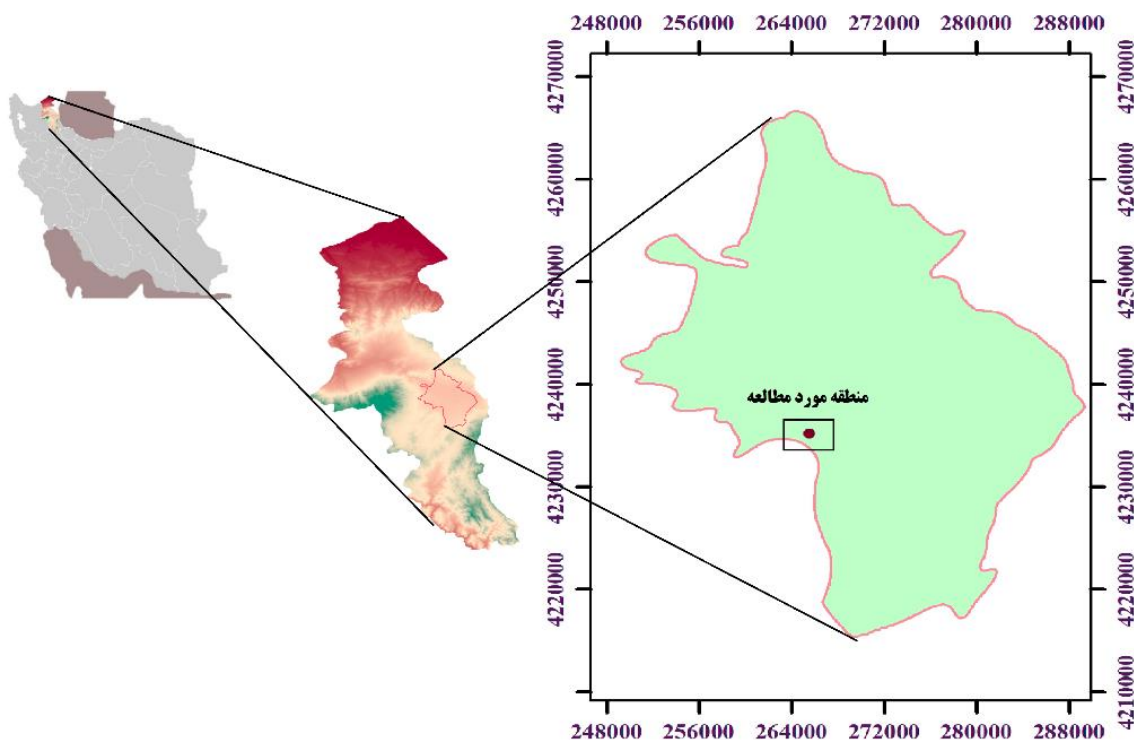
بنابراین ضروریست با توجه کمبود آب در سال‌های اخیر و ضرورت برنامه‌ریزی و برآورد صحیح نیاز آبی گیاه تحقیق مدونی انجام شود.

# فصل دوم

## مواد و روش‌ها

## ۱-۲ منطقه مورد مطالعه ( دشت اردبیل )

دشت اردبیل در مجاورت دشت مغان و مشکین شهر با ارتفاع ۱۳۳۲ متر از سطح دریا، عرض جغرافیایی ۳۸,۱۵ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۴۸,۱۷ درجه شرقی، از مناطق بسیار مستعد کشاورزی استان بوده و تعداد ۱۸۵۰۰ بهره بردار بخش کشاورزی در ۱۵۸ آبادی آن مشغول فعالیت می باشند. شهرستان اردبیل، از مهم‌ترین شهرستان های استان در تولید محصولات کشاورزی استان از لحاظ وزن و یک چهارم از لحاظ ارزش در این شهرستان تولید می گردد.



شکل ۱-۲ منطقه مورد مطالعه، نقشه دشت اردبیل

این شهرستان دارای ۱۱۲ هزار هکتار زمین زراعی مشتمل بر ۶۵ هزار هکتار اراضی آبی، ۴۷ هزار هکتار اراضی دیم، ۱۹۸۲ هکتار باغات و ۱۰۰ هزار هکتار مراتع سرسبز می باشد. سطح زیر کشت محصولات زراعی غالب شهرستان به تفکیک بر حسب درصد عبارتند از ؛ غلات ۶۲ درصد، سیب زمینی ۱۶ درصد، علوفه ۷ درصد (شامل یونجه، اسپرس، سیاه‌دانه، گاودانه، خلر، ماشک و ذرت علوفه ای)، حبوبات ۷ درصد (شامل عدس، نخود، لوبیا و باقلا) و ۸ درصد سایر محصولات.

این شهرستان با تولید بیش از ۱۲۳ هزار تن محصول گندم و ۵۰ هزار تن جو از بزرگ‌ترین قطب‌های کشاورزی استان و کشور محسوب می‌شود. شهرستان اردبیل علاوه بر تولید بیش از ۹۰ درصد بذر چغندر تجاری مورد نیاز کشور، به دلیل تولید بیش از ۶۱۵ هزار تن محصول سیب زمینی در مساحتی حدود ۱۷ هزار هکتار از اراضی شهرستان، یکی از قطب‌های مهم تولید سیب زمینی در کشور می‌باشد که به همراه شهرستان‌های نیر و نمین، رتبه اول و در مواردی رتبه دوم کشور را به خود اختصاص داده است. پتانسیل تولید سیب زمینی و گندم در این شهرستان بالا بوده و تولید کنندگان این شهرستان در سنوات اخیر، حائز رتبه‌های کشوری شده‌اند به طوری که در سال زراعی ۱۳۹۳-۱۳۹۲، رتبه اول کشوری در زمینه تولید محصول سیب‌زمینی با مقدار عملکرد گده ۱۰۰/۹ تن در هکتار، حائز رتبه اول کشوری در زمینه تولید محصول گندم آبی با مقدار عملکرد ۱۲/۵ تن گندم در هر هکتار، کشاورز جو کار آبی نمونه استان با تولید ۱۱/۵ تن در هکتار و با تولید ۴۳ تن سیب‌زمینی سالم کشاورز نمونه محصولات سالم استان از این شهرستان انتخاب شده است.

امروزه شیوه‌ی طراحی و نحوه‌ی اجرای الگوی کشت محصولات زراعی و باغی از مهم‌ترین مباحث در برنامه‌ریزی کشاورزی محسوب می‌شود. دگرگونی‌های اقلیمی در زمان حاضر و به دنبال آن نامناسب بودن پراکندگی زمانی و مکانی ریزش‌های جوی و پایین بودن راندمان آبیاری در بخش کشاورزی مستلزم برنامه‌ریزی برای تدوین الگوی کشت مناسب می‌باشد. افزایش تولیدات کشاورزی از منابع آب محدود و استفاده از روش علمی و فنی مناسب جهت افزایش کارایی مصرف آب کشاورزی، از ضروریات بخش کشاورزی محسوب گردیده و می‌بایست گام‌های اساسی در جهت برنامه‌ریزی صحیح در بهبود مدیریت و مصرف بهینه آب در فرآیند تولید محصولات کشاورزی برداشته شود.

در سال‌های آتی یکی از شاخصه‌های اصلی تمام برنامه‌ریزی‌های کشاورزی مصرف آب خواهد بود، دشت اردبیل به دلیل کمبود بارش در سال‌های اخیر به عنوان دشت بحرانی شناخته شده است و باید برای مصرف بهینه آب و بهره‌وری کامل از این کالای با ارزش فکری اساسی صورت گیرد. استان اردبیل یکی از استان‌های صادرکننده بی‌رویه آب در کشور است. صادرات آب یعنی تولید محصولاتی با مصرف آبی بسیار بالا مانند سیب‌زمینی و ذرت علوفه‌ای.

در تولید محصولات باغی بهینه‌سازی مصرف آب با اجرای شبکه آبیاری نوین مثل آبیاری قطره‌ای و کاشت درختان با مصرف کم‌آب و ارزش سودآوری بیشتر مانند خشکبارها از جمله بادام دیرگل و کشت انواع گیاهان دارویی مثل زعفران، سرخارگل، مریم‌گلی، نعنای فلفلی و صادرات آنها امکان‌پذیر می‌باشد. از دیگر اقدامات مهم و ضروری در بحث مصرف بهینه آب در باغات، اصلاح باغات سنتی موجود و کاشت ارقام با عملکرد بالا و نیاز آبی پایین می‌باشد.

## ۲-۲ نیاز آبی

آب مهم ترین و اساسی ترین منبع زیست محیطی بوده و استفاده بهینه از منابع آب و افزایش کارایی مصرف آب، از ضروریات بخش کشاورزی محسوب شده و توسعه روش های آبیاری مدرن برای کنترل و مهار این وضعیت بحرانی، امری ضروری می باشد. در فن آبیاری، برآورد نیاز آبی گیاهان زراعی و محصولات باغی از پایه ای ترین رکن طراحی و محاسبات مهندسی به شمار می روند. از این رو روش های محاسباتی تبخیر - تعرق گیاهان، جزو اولویت های تحقیقاتی کشورهای جهان بوده است. تا اینکه در سال ۱۹۷۷ نشریه فنی شماره ۲۴ آبیاری و زهکشی فائو با موضوع برآورد نیاز آبی گیاهان انتشار یافت. این کتاب سال های متمادی به عنوان کتاب مرجع در برآورد تبخیر-تعرق گیاهان و به دنبال آن در برآورد نیاز آبی گیاه ملاک محاسبه ها بوده است. با گذشت زمان و به دنبال پیشرفت علوم، مشخص شد که روش های توصیه شده در نشریه مذکور، اغلب بیش از واقعیت برآورد می شده است.

تحقیقات برای یافتن روش های محاسباتی که بر پارامترهای اقلیمی و گیاهی بیشتر استوار باشد ادامه یافت و سرانجام در سال ۱۹۹۰ گروهی از کارشناسان از فائو، کمیسیون بین المللی آبیاری و زهکشی و سازمان جهانی هواشناسی طی نشست، روش ترکیبی پنمن - مونتیت را به عنوان یک روش استاندارد جدید برای محاسبه تبخیر - تعرق مرجع پیشنهاد کردند. و در نهایت ۲۰ سال پس از انتشار نشریه فنی شماره ۲۴ آبیاری و زهکشی فائو، در سال ۱۹۹۸ نشریه فنی شماره ۵۶ فائو با موضوع محاسبه تبخیر - تعرق با تاکید بر روش پنمن - مونتیت انتشار یافت.

### ۲-۲-۱- معرفی تئوری روش محاسبه نیاز آبی

یکی از معروف ترین روش ها برای محاسبه تبخیر تعرق گیاه مرجع ( $ET_0$ ) روش پنمن مانتیت فائو می باشد. اساس برنامه کامپیوتری Cropwat نیز معادله پنمن فائو مانتیت می باشد. در این روش گیاه مرجع یک پوشش چمن فرضی است که ارتفاع آن ۱۲ سانتیمتر بوده و ضریب بازتاب ( $\alpha$ ) در آن ۲۳ درصد در نظر گرفته شده است (در روش پنمن مقدار ضریب بازتاب ۲۵ درصد در نظر گرفته می شود). معادله نهایی پنمن مانتیت فائو به شرح زیر می باشد:

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (1)$$

که در آن

$ET_0$  تبخیر و تعرق گیاه مرجع چمن ( $mm d^{-1}$ )

$\Delta$  شیب منحنی فشار بخار ( $K Pa ^\circ C^{-1}$ )

$R_n$  تشعشع خالص در سطح پوشش گیاهی ( $MJ m^{-2} d^{-1}$ )

$G$  شار گرمای داخل خاک ( $MJ m^{-2} d^{-1}$ ) (Soil heat flux density)

$\gamma$  ثابت رطوبتی (Psychrometric constant) ( $K Pa \text{ } ^\circ C^{-1}$ )

$T$  متوسط دمای روزانه هوا در ارتفاع ۲ متری سطح زمین ( $^\circ C$ )

$u_2$  سرعت باد در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین ( $ms^{-1}$ )

$(e_s - e_a)$  کمبود فشار بخار ( $K Pa$ )

پارامترهای معادله پنمن مانیتث فائو به ترتیب زیر قابل محاسبه می باشند

- شیب منحنی فشار بخار ( $\Delta$ )

این پارامتر تابعی از متوسط دمای هوا می باشد و می تواند از جدول ۵-۸ استخراج گردد.

- ثابت رطوبتی ( $\gamma$ )

ثابت رطوبتی می تواند به صورت زیر محاسبه گردد

$$\gamma = \frac{C_p P}{\epsilon \lambda} \quad (2)$$

که در آن

$C_p$  گرمای ویژه آب در فشار ثابت ( $MJ Kg^{-1} \text{ } ^\circ C^{-1}$ ) و برابر  $1.013 \times 10^{-3}$  در نظر گرفته می شود.

$\lambda$  گرمای نهان تبخیر برای آب ( $MJ Kg^{-1}$ ) و برابر  $2/45$  در نظر گرفته می شود.

$\epsilon$  نسبت وزن مولکولی بخار آب به هوای خشک که برابر  $0/622$  می باشد.

با قرار دادن مقادیر ثابت مذکور در معادله (۲) این رابطه به صورت زیر نوشته خواهد شد.

$$\gamma = 0.665 \times 10^{-3} P \quad (3)$$

$P$  فشار اتمسفر ( $K Pa$ )، که می تواند با توجه به ارتفاع از سطح دریا از رابطه زیر محاسبه شود

$$P = 101.3 \left( \frac{293 - 0.0065 Z}{293} \right)^{5.26} \quad (4)$$

که در آن  $Z$  ارتفاع از سطح دریا بر حسب متر می باشد.

- متوسط فشار بخار اشباع ( $e_s$ )

فشار بخار اشباع بستگی به دمای هوا داشته و می تواند از رابطه زیر تخمین زده شود

$$e(T) = 0.6108 e^{\left[ \frac{17.27 T}{T+237.3} \right]} \quad (5)$$

که در آن

$e(T)$  فشار بخار اشباع در دمای هوای  $T$  ( $K Pa$ ) و  $T$  دمای هوا ( $^\circ C$ )

مقدار متوسط فشار بخار ( $e_s$ ) بر حسب دمای حداکثر ( $T_{Max}$ ) و دمای حداقل ( $T_{Min}$ ) بصورت زیر محاسبه می شود

$$e_s = \frac{e(T_{Max}) + e(T_{Min})}{2} \quad (6)$$

که در آن  $T_{max}$  و  $T_{min}$  به ترتیب دمای ماکزیمم و مینیمم هوا ( $^\circ C$ ) می باشند.

- فشار بخار واقعی ( $e_a$ )



فشار بخار واقعی می تواند از رابطه زیر محاسبه گردد

$$e_a = \frac{RH_{mean}}{100} e_s \quad (7)$$

که در آن  $RH_{mean}$  متوسط رطوبت نسبی می باشد.

### - تشعشع خالص ( $R_n$ )

برای محاسبه تشعشع خالص خورشیدی می توان از رابطه زیر استفاده کرد

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad (8)$$

که در آن  $R_{ns}$  و  $R_{nl}$  به ترتیب تشعشع خالص طول موج کوتاه و بلند می باشد.

مقدار  $R_{ns}$  از رابطه زیر محاسبه می گردد

$$R_{ns} = (1 - \alpha) R_s \quad (9)$$

که در این روش ضریب بازتاب ( $\alpha$ ) برابر ۲۳ درصد بوده و مقدار  $R_s$  از رابطه زیر به دست می آید

$$R_s = \left( 0.25 + 0.5 \frac{n}{N} \right) R_a \quad (10)$$

در این رابطه نحوه استخراج نسبت  $n/N$  مشابه روش پنمن اصلاح شده توسط FAO می باشد.  $R_a$  تشعشع خورشیدی در

خارج از جو زمین بر حسب  $MJ m^{-2} d^{-1}$  بوده و برای تبدیل آن بر حسب  $MJ m^{-2} d^{-1}$  لازم است مقادیر به دست

آمده از جدول در عدد ثابت ۲/۴۵ ضرب گردد.

از طرفی میزان تشعشع خورشیدی رسیده به سطح زمین با طول موج بلند ( $R_{nl}$ ) می تواند از رابطه زیر بدست آید

(۱۱)

$$R_{nl} = 4.903 \times 10^{-9} \left[ \frac{T_{max}^4 + T_{min}^4}{2} \right] \left( 0.34 - 0.14 \sqrt{e_a} \right) \left( 1.35 \frac{R_s}{R_{s0}} - 0.35 \right)$$

که در آن  $T_{max}$  حداکثر دمای روزانه بر حسب درجه کلونین،  $T_{min}$  حداقل دمای روزانه بر حسب درجه کلونین و مقدار  $R_{s0}$

می تواند از رابطه زیر محاسبه گردد

$$R_{s0} = (0.75 + 2 \times 10^{-5} Z) R_a \quad (12)$$

که  $Z$  ارتفاع از سطح دریا برای منطقه مورد نظر بر حسب متر می باشد.

### - شار گرمای خاک (G)

این پارامتر می تواند به صورت زیر محاسبه گردد

$$G = c_s \frac{T_i + T_{i-1}}{\Delta t} \Delta Z \quad (13)$$

که در آن  $c_s$  ظرفیت گرمایی خاک ( $MJ m^{-3} ^\circ C^{-1}$ )،  $T_i$  دمای هوا در زمان  $i$  ( $^\circ C$ )،  $T_{i-1}$  دمای هوا در زمان  $i-1$  ( $^\circ C$ )،

$\Delta t$  گام زمانی (روز) و  $\Delta Z$  عمق موثر خاک (m) می باشند. در محاسبات نیاز آبی معمولاً به دلیل پوشش کامل زمین توسط

گیاه مرجع مقدار  $G$  برابر صفر در نظر گرفته می شود.









## ۲-۲-۲- ابزار جمع‌آوری اطلاعات

برای استفاده از معادلات معرفی شده در بخش ۶-۳-۱ نیاز است که اطلاعات مورد نیاز استخراج و بعد از پردازش مورد استفاده قرار خواهند گرفت. همچنین برای این منظور از آمار و اطلاعات بلندمدت (آمار ۳۰ ساله منتهی به سال ۱۳۹۹) ایستگاه‌های هواشناسی اردبیل، فرودگاه اردبیل، نمین، نیر، هیر و ایستگاه‌های باران سنجی موجود در دشت اردبیل استفاده خواهد شد. لازم به ذکر است که اطلاعات مربوط به ایستگاه‌های هواشناسی از سازمان هواشناسی اردبیل و اطلاعات مربوط ایستگاه‌های تبخیرسنجی از شرکت آب منطقه‌ای استان اردبیل تهیه خواهد شد. این اطلاعات شامل موارد زیر است:

- دمای بیشینه و کمینه
- رطوبت نسبی هوا
- سرعت باد
- تشعشع خورشیدی
- بارندگی روزانه و محاسبه بارندگی موثر

این قسمت مربوط به داده های اقلیمی (بیشینه و کمینه دما، رطوبت، سرعت باد و ساعات آفتابی) می‌باشد. در قسمت بالای صفحه اطلاعات مربوط به ایستگاه هواشناسی موردنظر(اردبیل) وجود دارد که باید آنها را به ترتیب زیر وارد نمود:

- ✓ کشور(Country): Iran
- ✓ نام ایستگاه هواشناسی(Station): Ardebil
- ✓ ارتفاع از سطح دریاهای آزاد برحسب متر(Altitude): ۱۳۳۲
- ✓ عرض جغرافیایی و تعیین شمالی یا جنوبی بودن آن (Latitude): ۳۸,۱۵°N
- ✓ طول جغرافیایی و تعیین شرقی یا غربی بودن آن (Longitude): ۴۸,۱۷°E

 Climate/ETo   Rain   Crop   Soil   CWR   Schedule   Crop Pattern   Scheme	Country <input type="text"/>	Station <input type="text"/>						
	Altitude <input type="text"/> m.	Latitude <input type="text"/> °N	Longitude <input type="text"/> °E					
	Month	Min Temp	Max Temp	Humidity	Wind	Sun	Rad	ETo
		°C	°C	%	km/day	hours	MJ/m <sup>2</sup> /day	mm/day
	January							
	February							
	March							
	April							
	May							
	June							
	July							
	August							
	September							
October								
November								
December								
Average								

شکل ۲-۲ صفحه مربوط به ثبت اطلاعات اقلیمی در نرم افزار CROPWAT

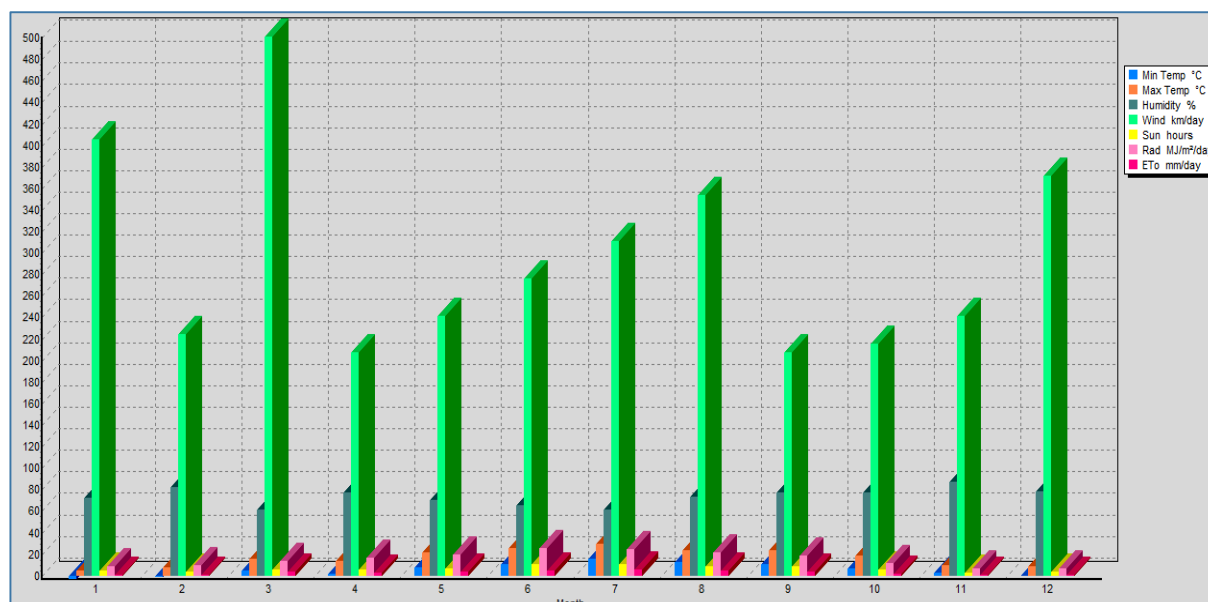
داده‌های اقلیمی اشاره شده در بالا، برای سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۱ از ایستگاه هواشناسی اردبیل استخراج شده و در قسمت‌های مربوطه به ترتیب زیر آورده شده‌است. پس از جاگذاری داده‌ها نرافزار به طور خودکار مقادیر تبخیر - تعرق گیاه مرجع و میزان تابش خورشید را برای تمامی ماه‌های سال محاسبه می‌کند. این عمل را برای تمامی سال‌های موردنظر انجام می‌شود. به طور مثال ترتیب انجام کار در سال ۲۰۲۱ به ترتیب زیر می‌باشد.

Country	Iran			Station	Ardabil		
Altitude	1332	m.	Latitude	38.15	°N	Longitude	48.17 °E
Month	Min Temp	Max Temp	Humidity	Wind	Sun	Rad	ETo
	°C	°C	%	km/day	hours	MJ/m <sup>2</sup> /day	mm/day
January	-3.2	5.2	72	406	4.9	8.3	1.24
February	-1.4	7.6	82	225	4.1	9.5	1.05
March	4.6	15.9	61	501	5.7	13.9	3.28
April	1.3	13.9	77	207	5.5	16.2	2.38
May	7.8	21.2	70	242	7.1	20.0	3.74
June	10.5	25.3	65	277	10.4	25.3	5.17
July	15.6	29.3	61	311	10.4	24.9	6.13
August	13.0	24.1	73	354	9.0	21.5	4.48
September	10.3	23.9	77	207	8.6	18.3	3.47
October	7.1	18.6	77	216	5.8	12.0	2.25
November	2.9	9.6	87	242	3.2	7.2	1.00
December	0.2	8.7	78	372	4.0	6.9	1.19
<b>Average</b>	<b>5.7</b>	<b>16.9</b>	<b>73</b>	<b>297</b>	<b>6.6</b>	<b>15.3</b>	<b>2.95</b>

شکل ۲-۳ صفحه مربوط به اطلاعات اقلیمی ثبت شده در نرم افزار CROPWAT

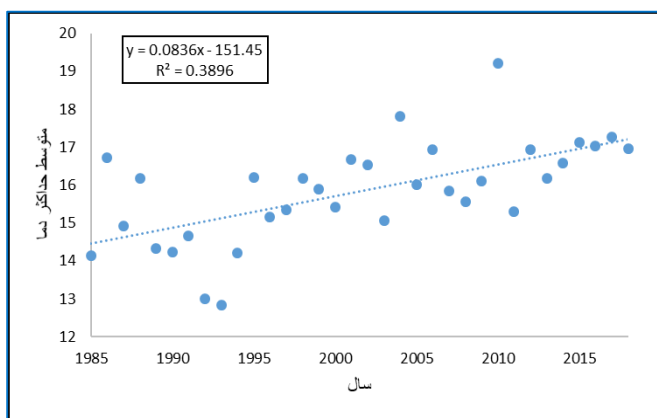
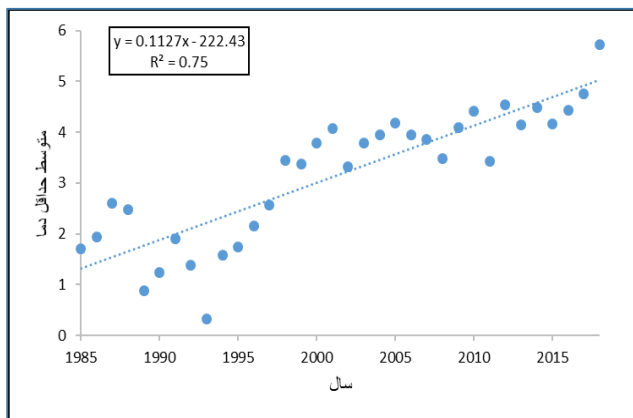
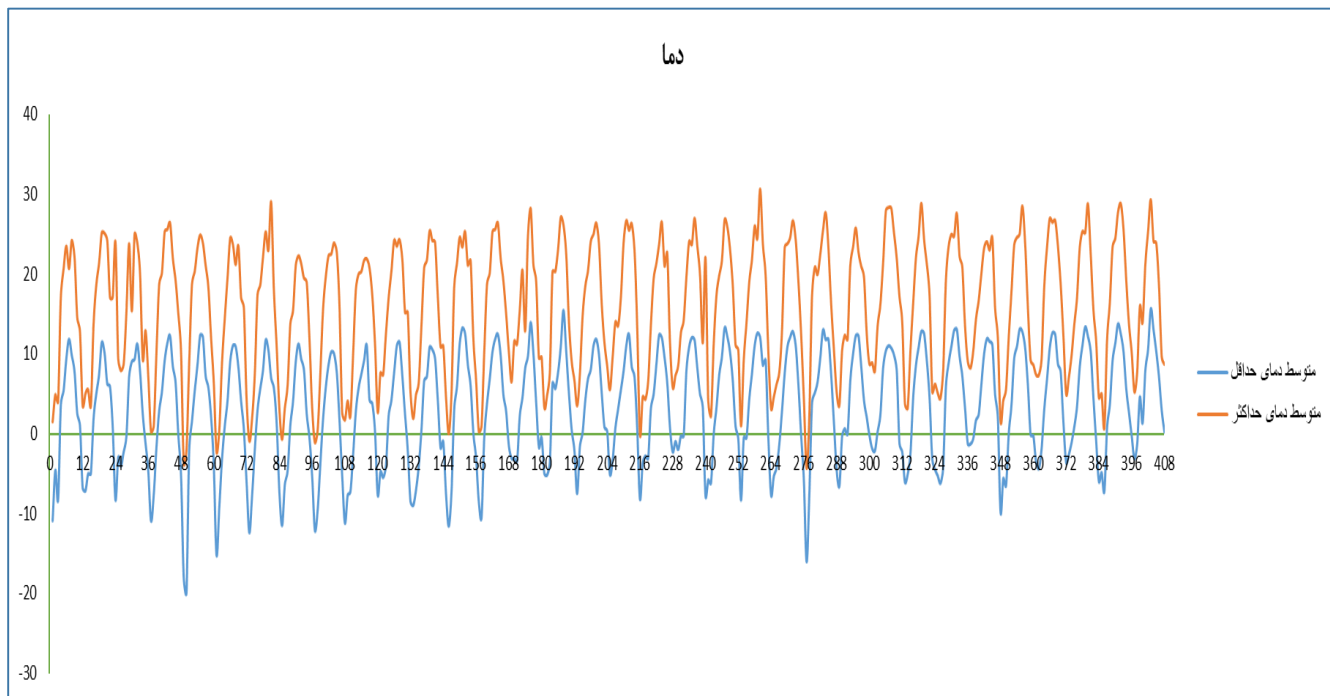
در قسمت بالای صفحه با استفاده از گزینه chart می توان نمودار داده های موجود در جدول climate را مشاهده نمود. برای

مثال نمودار داده های اقلیمی سال ۲۰۲۱ به صورت زیر می باشد.



شکل ۲-۴ اطلاعات اقلیمی مورد استفاده در نرم افزار CROPWAT

برای تحلیل و ارزیابی نحوه روند تغییرات این پارامتر ابتدا از تمامی ماه‌های سال‌های مورد مطالعه پروژه میانگین گرفته می‌شود تا یک عدد، مشخصه پارامتر مورد نظر در آن سال باشد. سپس عمل رگرسیون‌گیری به ترتیب زیر انجام می‌شود.

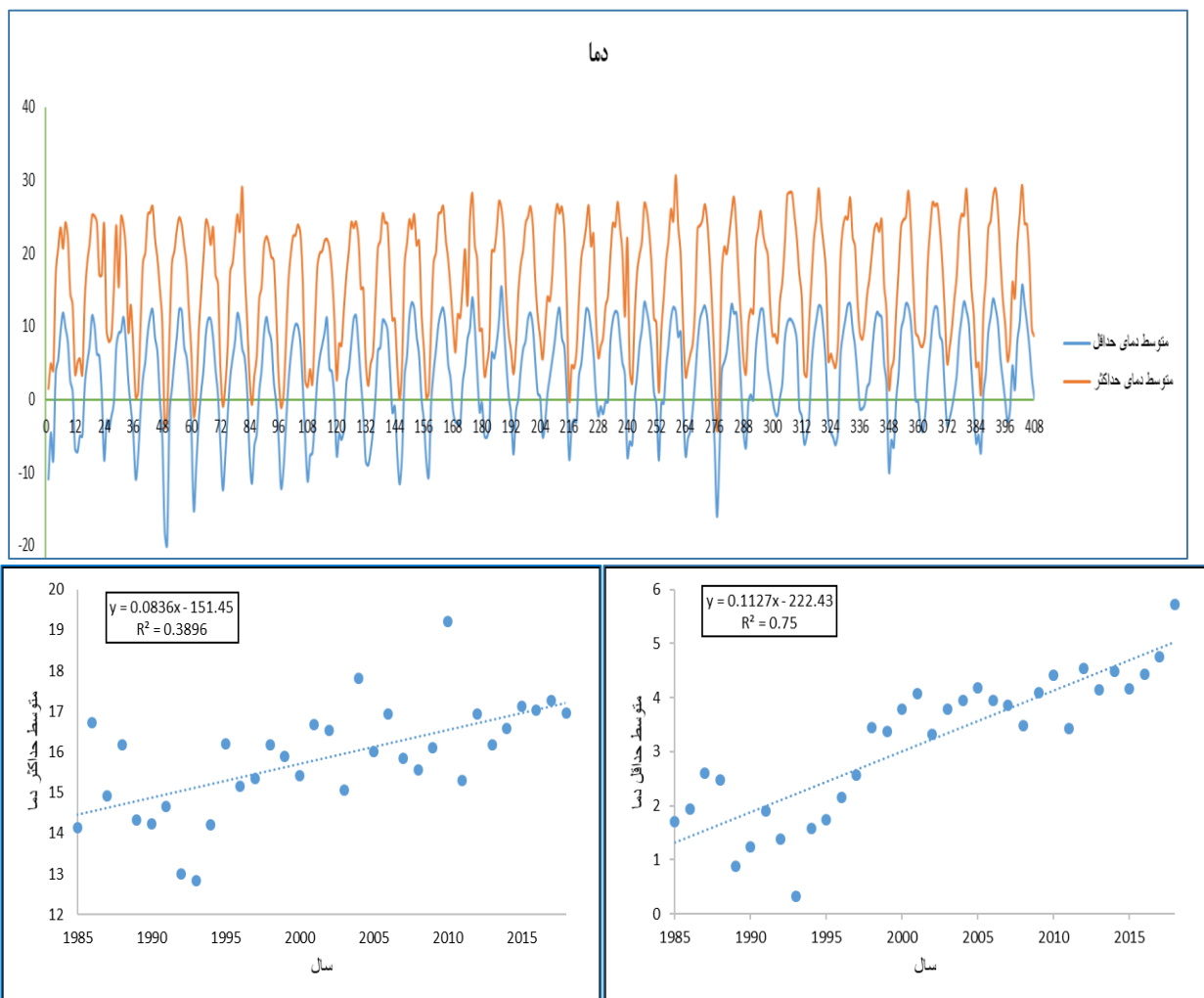


شکل ۲-۵ تغییرات دما و خط برازش رگرسیون مربوطه مورد استفاده در نرم افزار CROPWAT

طبق گراف‌های بالا، متوسط حداقل دما روند افزایشی داشته است؛ بدین صورت که هم ضریب همبستگی آن بالا بوده، هم شیب خط رگرسیون آن مثبت می‌باشد. این اختلاف دما عددی حدود ۴ درجه می‌باشد. بنابراین

می‌توان نتیجه گرفت هرساله شاهد زمستان‌های گرم تری نسبت به سال‌های قبل بوده‌ایم. متوسط حداکثر دما نیز روند افزایشی داشته است. به صورتی که مشاهده می‌شود، شیب خط رگرسیون مثبت بوده ولی مقدار ضریب همبستگی عدد پایینی را نشان می‌دهد. بنابراین این می‌توان نتیجه گرفت متوسط حداکثر دما نیز در طول سال‌های ۱۹۹۱ تا ۲۰۲۱ عملکرد افزایشی داشته است، اما شیب تغییرات آن کم بوده و این تغییرات تقریباً ناچیز می‌باشد. با این حال نمی‌توان از روند افزایش دما چشم‌پوشی کرد.

برای تحلیل و ارزیابی نحوه روند تغییرات این پارامتر ابتدا از تمامی ماه‌های سال‌های مورد مطالعه پروژه میانگین گرفته می‌شود تا یک عدد، مشخصه پارامتر مورد نظر در آن سال باشد. سپس عمل رگرسیون‌گیری به ترتیب زیر انجام می‌شود.

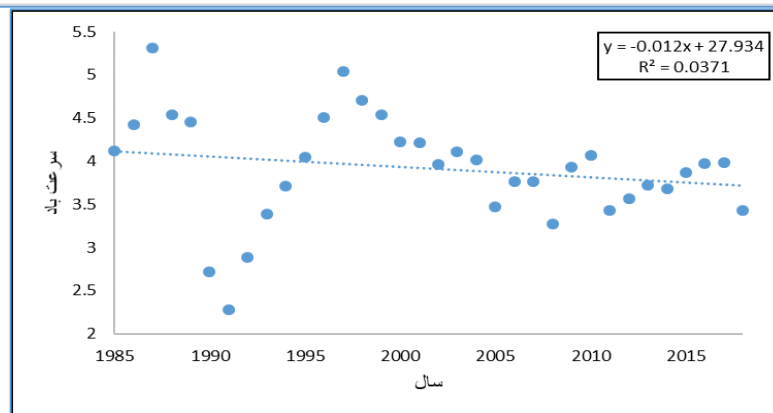
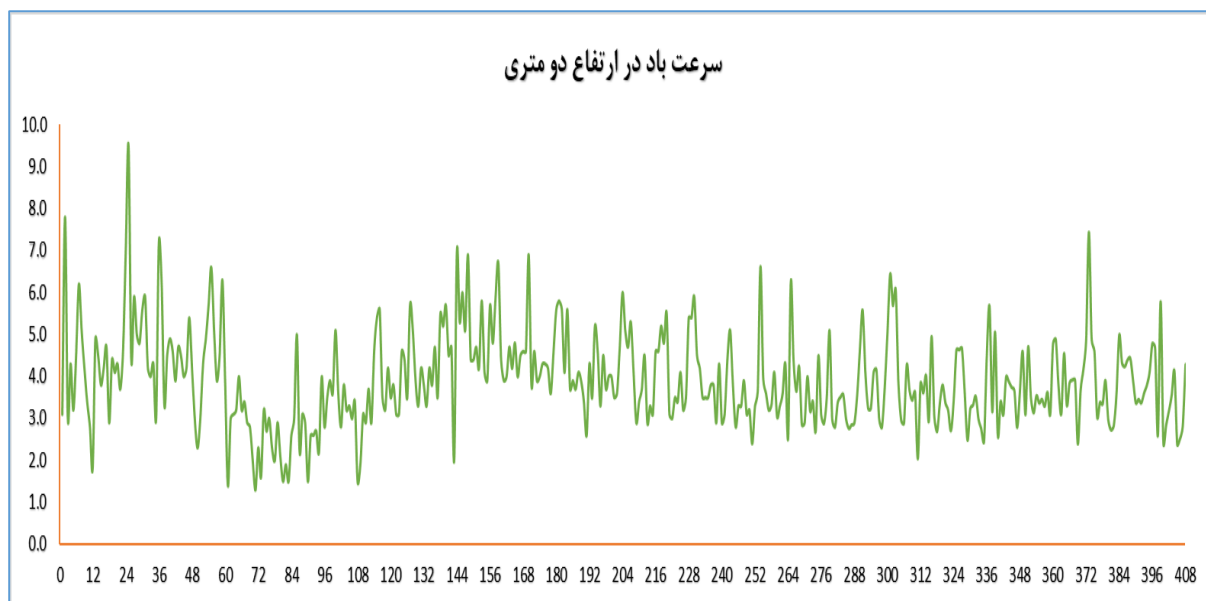


شکل ۲-۶ تغییرات رطوبت نسبی و خط برازش رگرسیون مربوطه مورد استفاده در نرم افزار CROPWAT

طبق گراف‌های بالا، متوسط حداقل دما روند افزایشی داشته است؛ بدین صورت که هم ضریب همبستگی آن بالا بوده، هم شیب خط رگرسیون آن مثبت می‌باشد. این اختلاف دما عددی حدود ۴ درجه می‌باشد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت هرساله شاهد زمستان‌های گرم تری نسبت به سال‌های قبل بوده‌ایم.

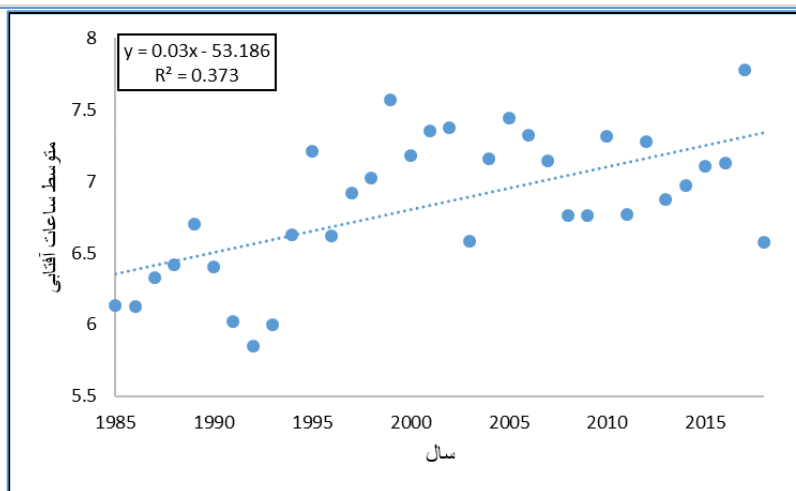
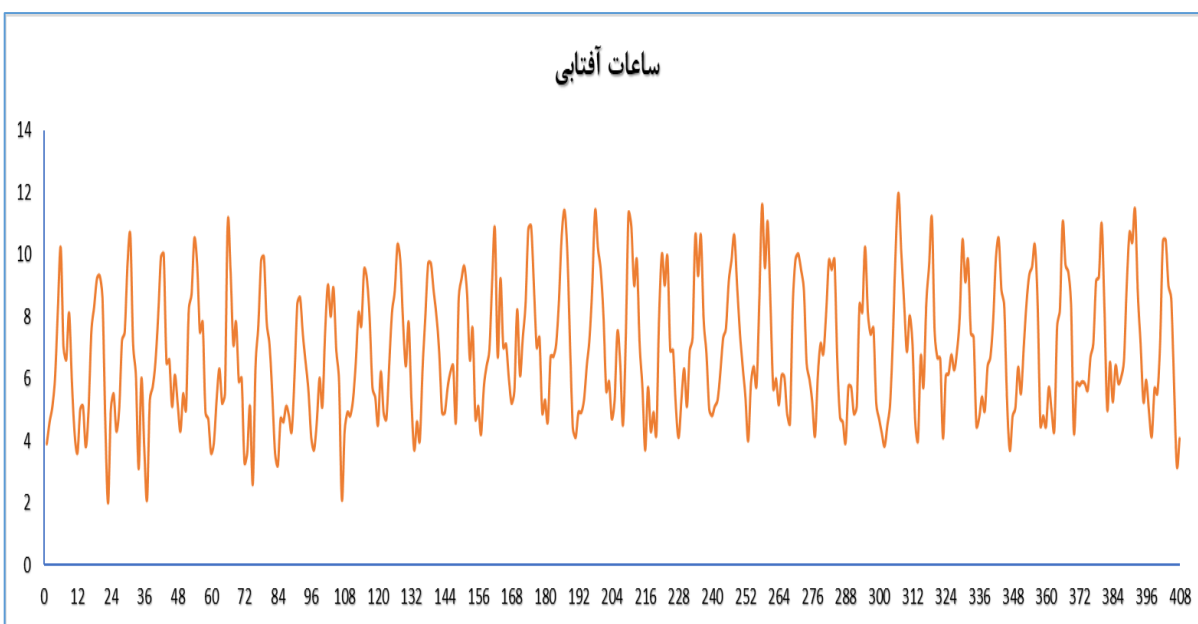
متوسط حداکثر دما نیز روند افزایشی داشته است. به صورتی که مشاهده می‌شود، شیب خط رگرسیون مثبت بوده ولی مقدار ضریب همبستگی عدد پایینی را نشان می‌دهد. بنابراین این می‌توان نتیجه گرفت متوسط حداکثر دما نیز در طول سال‌های ۱۹۹۱ تا ۲۰۲۱ عملکرد افزایشی داشته است، اما شیب تغییرات آن کم بوده و این تغییرات تقریباً ناچیز می‌باشد. با این حال نمی‌توان از روند افزایش دما چشم‌پوشی کرد.

طبق گراف روبرو می‌توان نتیجه گرفت با اینکه تغییرات روند کاهشی داشته است، اما ضریب همبستگی ۰,۰۳۷۱ گویای این است که تغییرات مشاهده شده ناچیز بوده و می‌توان نتیجه گرفت تغییرات سرعت باد از روند ثابتی پیروی نکرده است.



شکل ۲-۷ تغییرات سرعت باد و خط برازش رگرسیون مربوطه مورد استفاده در نرم افزار CROPWAT

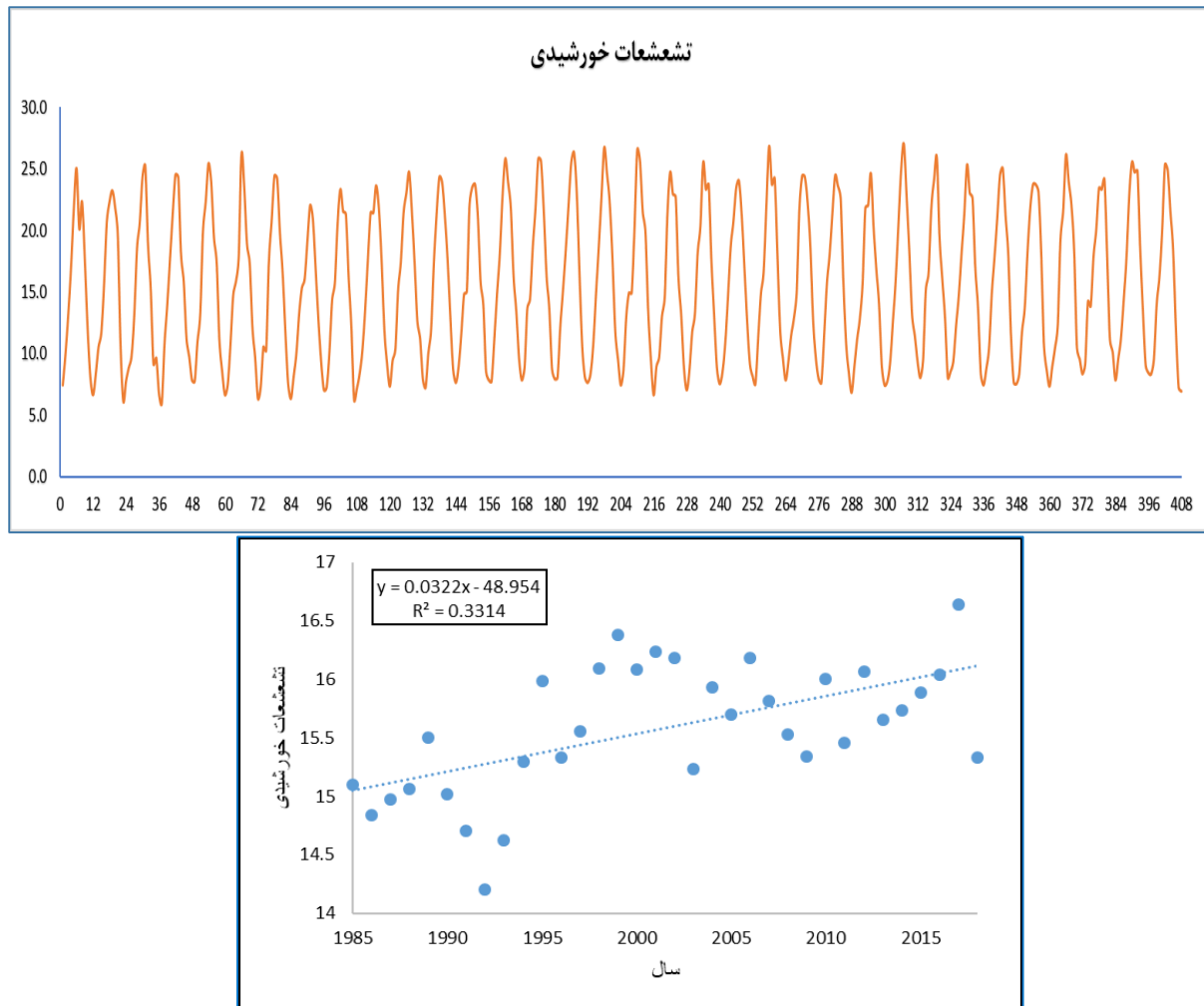
همانطور که مشاهده می‌شود شیب خط رگرسیون مثبت بوده و در طی سالیان افزایش داشته است. حال آن‌گونه که از ضریب همبستگی پیداست و همچنین با توجه به کم بودن شیب می‌توان نتیجه گرفت متوسط ساعات آفتابی روند ثابتی داشته است. اما باید خاطر نشان شد این ساعات آفتابی در طی سالهای مورد مطالعه حدود ۲ ساعت افزایش داشته است و این به معنای افزایش تبخیر و تعرق، افزایش تبخیر آب از سطح مخازن و ... می‌باشد که باید در برنامه ریزی‌ها و مطالعات در نظر گرفته شود.



شکل ۲-۸ تغییرات سرعت باد و خط برازش رگرسیون مربوطه مورد استفاده در نرم افزار CROPWAT

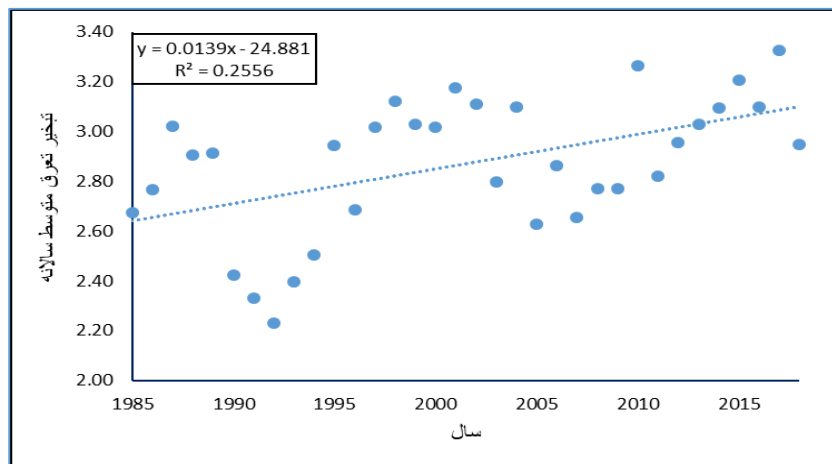
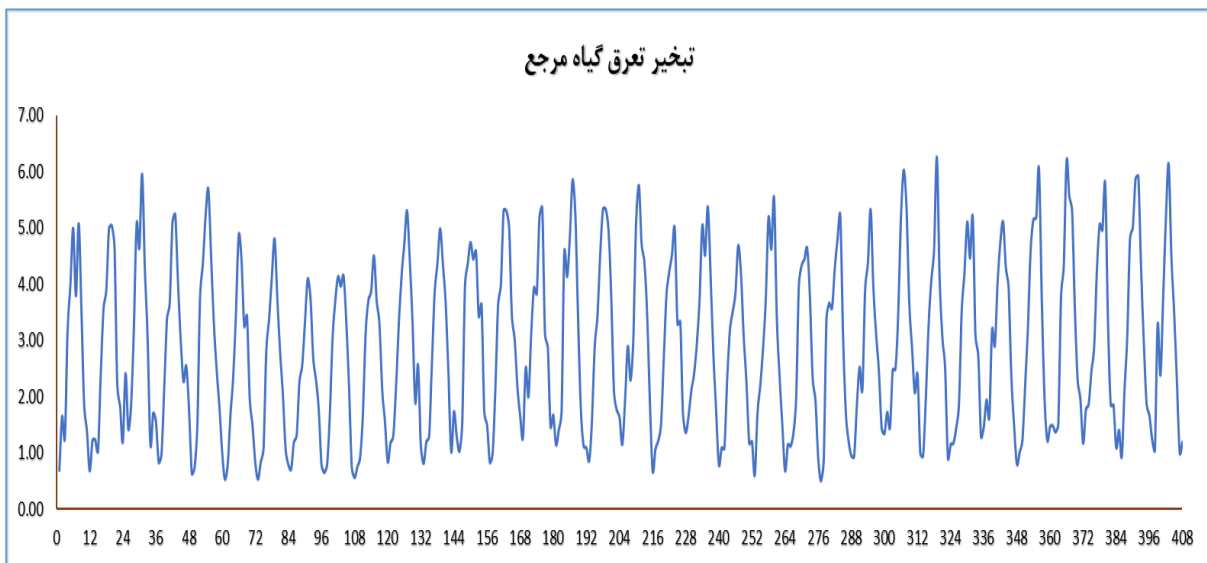


برای تحلیل بهتر و راحت تر نمودار اقدام به ترسیم رگرسیون برای متوسط مقادیر سالیانه تشعشعات خورشیدی شده است. شیب رگرسیون مثبت می باشد، بنابراین روند افزایشی داشته است؛ اما با توجه به کم بودن مقدار ضریب همبستگی می توان نتیجه گرفت که این پارامتر دارای روند تقریباً ثابتی است و تغییرات زیادی نداشته است.



شکل ۲-۹ تغییرات تشعشعات خورشیدی و خط برازش رگرسیون مربوطه مورد استفاده در نرم افزار CROPWAT

با توجه به مثبت بودن شیب خط رگرسیون، مقدار کلی تبخیر و تعرق افزایش یافته است. اما با توجه به پراکندگی داده ها مقدار ضریب همبستگی پایین است. در نهایت می توان نتیجه گرفت این پارامتر پیرو روند ثابتی است. علت افزایش آرام و تدریجی این پارامتر را می توان افزایش دمای هوا و ساعات آفتابی دانست. افزایش تبخیر تعرق به معنی افزایش نیاز آبی گیاه و مصرف بیش تر آب شیرین می باشد. بنابراین نیازمند مدیریت بهتر و برنامه ریزی جامع تری برای سال های آتی خواهیم بود.



شکل ۲-۱۰ تغییرات تبخیر و تعرق مرجع و خط برازش رگرسیون مربوطه مورد استفاده در نرم افزار CROPWAT

برای ثبت اطلاعات بارندگی در صفحه مربوطه به شرح زیر انجام خواهد شد:

	Rain	Eff rain
	mm	mm
January		
February		
March		
April		
May		
June		
July		
August		
September		
October		
November		
December		
Total		

شکل ۲-۱۱ صفحه ثبت اطلاعات بارندگی مورد استفاده در نرم افزار CROPWAT

در قسمت بالای صفحه :

✓ نام ایستگاه هواشناسی مورد نظر Ardebil (Station) :

✓ نوع فرمول انتخاب شده برای محاسبه بارندگی موثر/FAO (Eff. Rain method):  
AGLW formula

(از آنجایی که در تحقیقات انجام شده در بحث بارش موثر به این نتیجه دست یافته شده که روش فائو بیشترین تطبیق را با منطقه مورد نظر داراست، بدین ترتیب این روش برای تعیین مقادیر بارش موثر انتخاب می گردد)

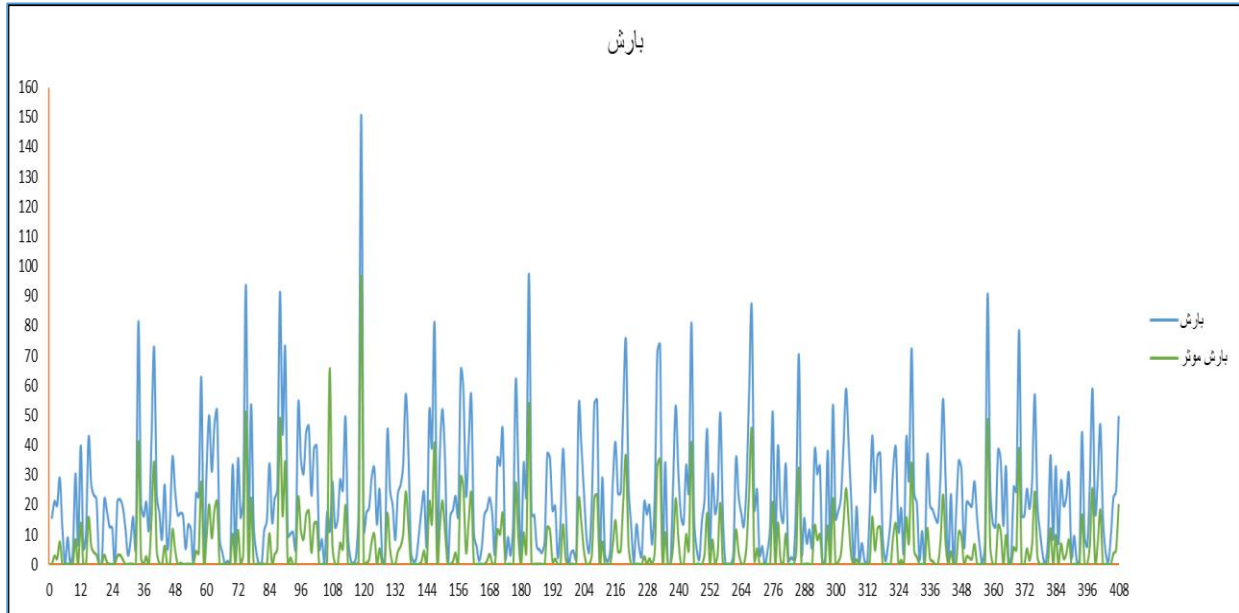
در گام بعد، بایستی داده‌های بارندگی برای هر ماه بر حسب میلی‌متر وارد گردد؛ پس از وارد شدن داده‌های بارش ماهانه، مقادیر بارش موثر توسط نرم‌افزار محاسبه می‌شود. لازم به ذکر است بارندگی موثر برابر با آن بخش از بارندگی است که در سطح گیاه یا درون خاک باقی می‌ماند و به مصرف تبخیر و تعرق گیاه می‌رسد.

این عمل برای تمامی سال‌های مورد بررسی پروژه توسط داده‌های تهیه شده از سازمان هواشناسی به ترتیب انجام می‌گیرد. برای مثال مقادیر محاسبه شده بارش موثر برای سال ۲۰۲۱ به صورت زیر می‌باشد.

Station		Eff. rain method	
Ardabil		FAO/AGLW formula	
	Rain	Eff rain	
	mm	mm	
<b>January</b>	27.1	6.3	
<b>February</b>	59.0	25.4	
<b>March</b>	17.9	0.7	
<b>April</b>	28.3	7.0	
<b>May</b>	47.0	18.2	
<b>June</b>	15.8	0.0	
<b>July</b>	4.3	0.0	
<b>August</b>	0.9	0.0	
<b>September</b>	9.4	0.0	
<b>October</b>	22.7	3.6	
<b>November</b>	24.6	4.8	
<b>December</b>	49.6	19.8	
<b>Total</b>	<b>306.6</b>	<b>85.7</b>	

شکل ۲-۱۲ اطلاعات ثبت شده بارندگی و بارندگی موثر در نرم افزار CROPWAT

طبق نمونه‌های قبل برای داده‌های بارش و بارش موثر نیز عمل رگرسیون‌گیری انجام و نتایج بدین شرح می‌باشد. شیب نمودار در هر دو مورد نزدیک به صفر می‌باشد. مقادیر ضریب همبستگی نیز بسیار پایین می‌باشد. بدین ترتیب می‌توان نتیجه گرفت پارامتر بارش روند ثابتی داشته است. پس مقدار بارش روند خاصی را طی نکرده است اما با توجه منفی بودن شیب نمودار می‌توان پیش بینی نمود که از مقدار بارش در طی سال‌های مورد مطالعه پروژه کاسته شده و این امکان وجود دارد در سالیان آتی دچار کمبود بارندگی و استفاده بیشتر از آب آبیاری برای تامین نیاز آبی گیاه شویم. بنابراین انتظار می‌رود در بخش‌های مربوط به منابع آب اقدامات و تمهیدات جدی تر و بهتری برای حفظ و ذخیره آب در نظر گرفته شود.



شکل ۲-۱۳ تغییرات بارش و بارندگی موثر و خط برازش رگرسیون مربوطه مورد استفاده در نرم افزار CROPWAT

در پنجره مربوطه اطلاعات گیاه به صورت زیر، بر اساس داده های موجود در منابع معتبر وارد می شود.

۱. نام گیاه مورد نظر (Crop Name)

۲. تاریخ کاشت گیاه مورد نظر (Planting date)

(طبق اطلاعات جمع آوری شده از افراد محلی و اداره جهاد کشاورزی اردبیل)

۳. تاریخ برداشت محصول که به طور خودکار محاسبه می‌شود (Harvest)

۴. ضریب گیاهی (Kc values)

۵. مدت زمان هر مرحله از رشد گیاه بر حسب روز (Stage days)

▪ مرحله ابتدایی رشد (Initial)

▪ مرحله ابتدایی رشد و توسعه (Development)

▪ مرحله میانی رشد (Mid – season)

▪ مرحله افول رشد (Late season)

۶. عمق توسعه ریشه گیاه (Rooting depth(m))

۷. درصد تخلیه مجاز یا به عبارتی ضریب مدیریت گیاه که برای آن بایستی ضریب مربوطه را برای سه

مرحله ابتدایی رشد، میانی رشد و افول رشد وارد نماییم. (Critical depletion(fractio))

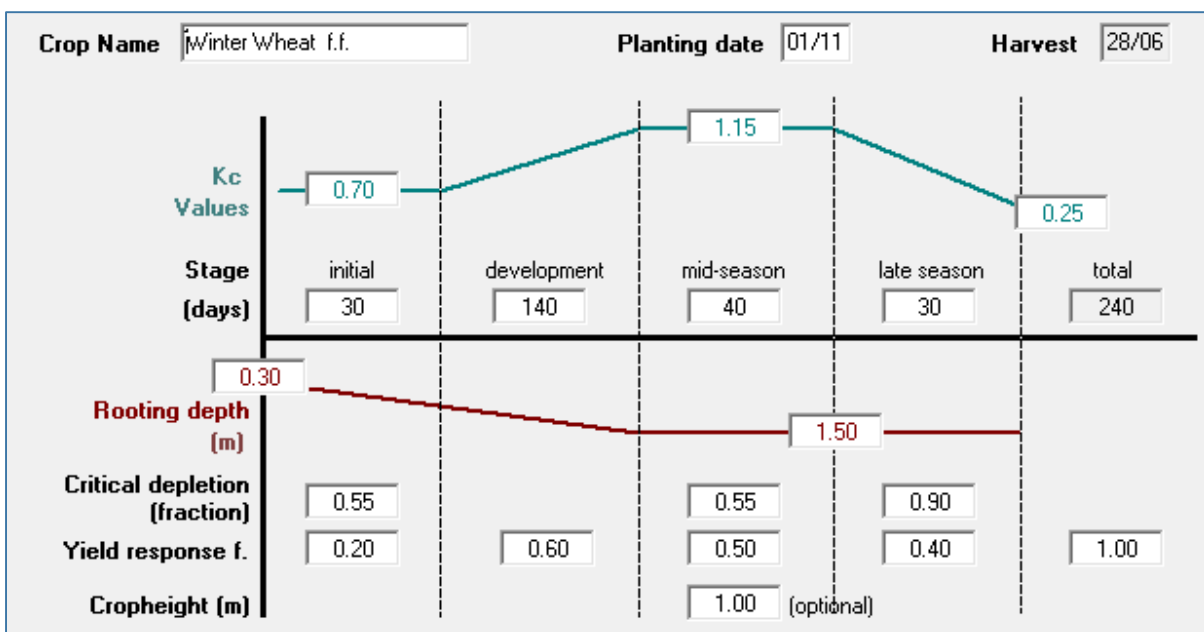
۸. ضریب مربوط به کم آبیاری که این ضریب را باید برای چهار مرحله رشد وارد نماییم.

(Yield response)

۹. ارتفاع نهایی گیاه که این عدد را هم میتوان از جداول از پیش تعیین شده و موجود در کتاب های مختلف

وارد نمود (Crop height(m))

به عنوان نمونه داده های گیاه برای گندم به صورت زیر خواهد بود.



شکل ۲-۱۴ اطلاعات ثبت شده گندم در نرم افزار CROPWAT

برای استفاده از پنجره اطلاعات خاک به ترتیب زیر عمل خواهد شد:

۱. نوع خاک (Soil name)
۲. کل رطوبت قابل استفاده برای گیاه بر حسب میلی متر در یک متر مکعب خاک (Total Available Soil Moisture)
۳. حداکثر شدت نفوذ باران بر حسب میلیمتر در روز (Maximum Rain Infiltration Rate)
۴. حداکثر عمق لایه قابل نفوذ برای توسعه ریشه گیاه بر حسب متر (Maximum Rooting Depth)
۵. درصد کاهش رطوبت اولیه خاک یا به عبارت دیگری یعنی چند درصد از کل رطوبت قابل استفاده گیاه تخلیه شده است (% TAM Initial Soil Moisture Depletion)
۶. رطوبت اولیه قابل استفاده در خاک می باشد که خود برنامه آن را با استفاده از اطلاعات داده شده در بالا محاسبه می کند (Initial Available Soil Moisture)

برای تکمیل قسمت های نام برده باید آزمایشات خاکشناسی انجام شود:

نقاط رطوبتی ظرفیت اشباع<sup>۱</sup> و ظرفیت زراعی<sup>۲</sup> از مهم‌ترین ویژگی‌های هیدرولیکی خاک می‌باشند که به ترتیب بیشترین مقدار آب موجود در خاک و آب باقی‌مانده در خاک در اثر نیروی گرانش تعریف می‌شوند. مقادیر رطوبت در نقاط ظرفیت اشباع و ظرفیت زراعی را می‌توان به روش آزمایشگاهی و صحرایی اندازه‌گیری کرد. اگر منطقه مورد مطالعه نسبتاً کوچک باشد و یا این که منطقه از لحاظ خصوصیات فیزیکی و توپوگرافی تقریباً همگن باشد، می‌توان با اندازه‌گیری تعداد مناسب نمونه در محل، برآورد نسبتاً دقیقی از مقادیر ظرفیت اشباع و ظرفیت زراعی ارائه داد. اگر منطقه مورد بررسی به اندازه‌ای بزرگ باشد که تغییرات قابل ملاحظه‌ای در رطوبت خاک وجود داشته باشد، ارائه‌ی تخمین‌های خوب برای مقادیر رطوبت ظرفی اشباع و زراعی مستلزم مدت زمان و هزینه بیشتری خواهد بود

نقاط رطوبت ظرفیت زراعی و پژمردگی دایم<sup>۳</sup> از جمله خصوصیات دیریافت خاک هستند. خصوصیات دیریافت به خصوصیات می‌گویند که اندازه‌گیری آن‌ها سخت، مستلزم هزینه و مدت‌زمان طولانی می‌باشد. بافت خاک، مواد آلی و چگالی ظاهری از جمله خصوصیات زودیافت خاک می‌باشد. خصوصیات زودیافت به خصوصیات گفته می‌شود که اندازه‌گیری آن‌ها با صرف کردن هزینه و مدت زمان اندک، ممکن بوده و اندازه‌گیری آن‌ها ساده و آسان باشد. در سال‌های اخیر، برآورد خصوصیات هیدرولیکی خاک با استفاده از ویژگی‌های پایه‌ای خاک، یا خواصی که اندازه‌گیری آن‌ها آسان‌تر باشد، گسترش یافته و جایگزین روش‌های مستقیم شده‌اند. یکی از روش‌های غیرمستقیم برآورد خصوصیات هیدرولیکی خاک، استفاده از توابع انتقالی می‌باشد. استفاده از توابع انتقالی روشی برای به‌دست‌آوردن خصوصیات دیریافت خاک به‌وسیله خصوصیات زودیافت خاک می‌باشند. توابع انتقالی در زمینه‌های گوناگون مهندسی برای برآورد خصوصیات دیریافت مورد توجه محققان قرار گرفته‌است.

رطوبت موجود در ظرفیت زراعی، رطوبت در نقطه‌ی پژمردگی دایم و درصد رطوبت در پتانسیل ماتریک‌های مشخص، از جمله پارامترهایی هستند که توابع انتقالی نقطه‌ای قادر به برازش آن‌ها هستند. توابع پارامتریک پارامترهای یک منحنی پیوسته که از قبل ارائه شده است را به‌دست می‌دهد. در این زمینه به‌طور نمونه می‌توان به پارامترهای منحنی رطوبتی بروکس-کوری و ونگنوختن اشاره کرد. میزان رطوبت در پتانسیل‌های صفر، ۳۳ و ۱۵۰۰ کیلوپاسکال را می‌توان معادل ظرفیت اشباع، ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دانست، هرچند ممکن است مقادیر مختلفی در کشورها و مناطق دیگر استفاده شود. همچنین می‌توان مقادیر ظرفیت زراعی و نقطه‌ی پژمردگی را از منحنی مشخصه آب خاک نیز به‌دست آورد، زیرا محدوده پتانسیل ماتریک آن‌ها مشخص است.

---

1 - Saturated water content

2 - Field water capacity

3 - Permanent wilting point



بنابراین می‌توان از هر دو نوع توابع انتقالی به‌عنوان روشی برای تعیین مقادیر رطوبت در ظرفیت اشباع، زراعی و نقطه پژمردگی استفاده کرد (ژیانگ‌شنگ و همکاران، ۲۰۱۲).

هیلل<sup>۱</sup> (۱۹۹۸) معتقد بود رطوبت ظرفیت زراعی باید در مزرعه اندازه‌گیری شود تا جنبه پویایی آب در خاک به‌طور واقعی لحاظ گردد. به این دلیل که هیچ سیستم آزمایشگاهی استانداردی برای تشخیص و تعیین ویژگی‌های پویای آب در خاک وجود ندارد (هیلل، ۱۹۹۸). رطوبت ظرفیت زراعی به لحاظ کمی به ارایه تعریفی کاربردی‌تری برای زراعت و مدیریت کشاورزی نیاز دارد. زیرا برآورد آب در دسترس و تعیین عمق آب آبیاری دارای اهمیت و ضرورت بالایی است (تشیرو و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۱۴ و کنگ و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۱۴).

در زمینه‌ی تعیین میزان رطوبت در نقطه ظرفیت زراعی در خاک‌های مختلف، تکنیک‌ها و معیارهای کمی متفاوتی توسط متخصصین ارایه شده است:

پتانسیل ماتریک ۱۰، ۳۳ و ۵۰ کیلوپاسکال به‌ترتیب برای خاک‌های شنی، لومی و رسی (پاچپسکی و راولز<sup>۴</sup>، ۲۰۰۴ و رومانو و سانتینی<sup>۵</sup>، ۲۰۰۲).

مدت زمان زهکشی پس از آبیاری، مانند یک، دو و سه روز پس از آبیاری به ترتیب برای خاک‌های شنی، لومی و رسی (کلوت<sup>۶</sup>، ۱۹۸۶).

رسیدن به سرعت نفوذ پایه، مثلاً ۰/۰۵ سانتی متر در روز (ناچاب<sup>۷</sup>، ۱۹۹۸، کانگ و همکاران، ۲۰۱۴ و هیلل، ۱۹۹۸).

ناچاب (۱۹۹۸) به‌لحاظ پویایی جریان آب در خاک به این نتیجه رسید که زمانی رطوبت خاک مزرعه به رطوبت ظرفیت پژمردگی می‌رسد که دبی جریان غیراشباع در واحد سطح خاک مربوطه (ضریب زهکشی،  $q_{fc}$ )، با میزان سرعت تبخیر و تعرق روزانه یکسان شود (ناچاب، ۱۹۹۸). مایر و جی<sup>۸</sup> (۱۹۹۹) با توجه به سرعت نفوذ نهایی آب در خاک‌های مختلف، مقادیر هدایت هیدرولیکی غیراشباع را به‌ترتیب در خاک‌های شنی برابر با ۰/۱،

<sup>1</sup> - Hillel

<sup>2</sup> - Teixeira et al.

<sup>3</sup> - Cong et al.

<sup>4</sup> - Pachepsky and Rawls

<sup>5</sup> - Romano and Santini

<sup>6</sup> - Klute

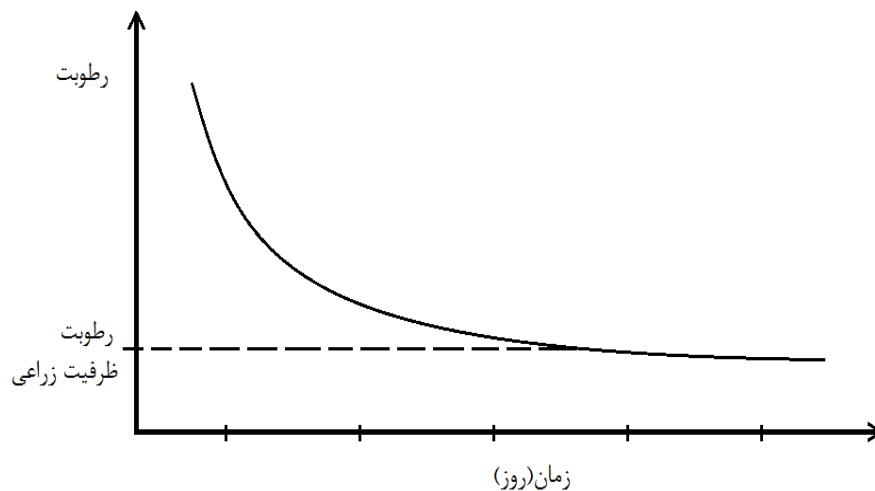
<sup>7</sup> - Nachabe

<sup>8</sup> - Meyer and Gee

در خاک‌های لومی برابر با ۰/۰۱ و در خاک‌های رسی برابر با ۰/۰۰۱ سانتی متر در روز را برای تعیین رطوبت در رطوبت ظرفیت زراعی مناسب دانستند (مایر و جی، ۱۹۹۹).

اثر تغییرات مکانی بر توابع انتقالی و محدود بودن توابع انتقالی توسعه یافته برای برآورد ویژگی‌های هیدرولیکی خاک‌های مناطق مختلف می‌تواند بیانگر اهمیت مطالعه و پژوهش در خصوص توابع انتقالی باشد. از طرفی نمی‌توان بدون صحت سنجی و ارزیابی اولیه بر اساس تشابه شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک و شرایط اقلیمی، توابع استخراج شده برای یک منطقه را برای مناطق دیگر استفاده کرد. این مساله اهمیت ارزیابی توابع انتقالی، به صورت مجزا برای خاک‌های هر منطقه را نشان می‌دهد (سکستون و راولز، ۲۰۰۶).

مقدار رطوبت در نقطه ظرفیت زراعی را نمی‌توان به طور دقیق اندازه‌گیری کرد. زیرا رطوبت نسبت به زمان مدام کاهش می‌یابد. در اندازه‌گیری صحرایی رطوبت زراعی، زمانی که تغییرات رطوبت نسبت به زمان اندک شد و منحنی آن تقریباً موازی محور زمان شد، این مقدار را رطوبت در نقطه ظرفیت زراعی می‌گویند (شکل ۲-۲). رطوبت ظرفیت زراعی دو تا سه روز پس از آبیاری پدید می‌آید. در این حالت پتانسیل ماتریک در خاک‌های ماسه‌ای نزدیک ۰/۱- اتمسفر و در خاک‌های رسی نزدیک به ۰/۳۳- اتمسفر می‌باشد (رسول‌زاده و رئوف، ۱۳۹۲).

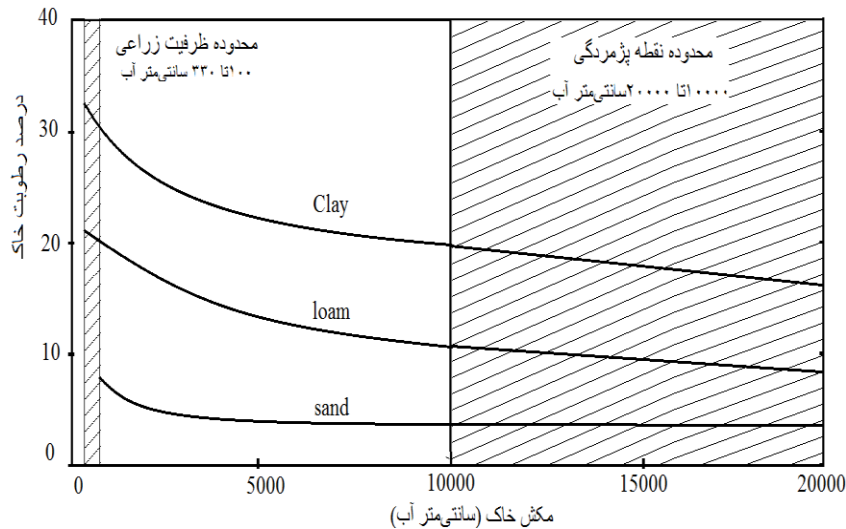


شکل ۲-۱۵ تغییرات رطوبت نسبت به زمان (رسول‌زاده و رئوف، ۱۳۹۲)

نقطه پژمردگی دائم، رطوبتی است که در آن رطوبت، گیاه توان جذب آب را ندارد و پژمرده می‌شود و با آبیاری مجدد شادابی خود را دوباره به دست نمی‌آورد. پتانسیل ماتریک در نقطه پژمردگی دائم در محدوده ۱۰- تا ۲۰- اتمسفر می‌باشد که به طور متوسط ۱۵- در نظر گرفته می‌شود. ناگفته نماند رطوبت پژمردگی دائم

<sup>1</sup> - Saxton and Rawls

به دمای هوا، توزیع ریشه‌ها در خاک و از همه مهم‌تر به نوع وارسته گیاه بستگی دارد. شکل (۲-۳) دامنه تغییرات نقطه پژمردگی و ظرفیت زراعی را در خاک‌های مختلف نشان می‌دهد. در جدول (۲-۱) نیز برخی از خصوصیات فیزیکی بعضی از خاک‌ها ارایه شده است (رسول‌زاده و رئوف، ۱۳۹۲).



شکل ۲-۱۶ تیپ منحنی‌های رطوبتی (مکش-رطوبت) (رسول‌زاده و رئوف، ۱۳۹۲)

ریشه گیاهان در خاک مرطوب رشد می‌نماید و آب را تا زمانی که پتانسیل آب خاک به یک حد بحرانی برسد از خاک می‌گیرند. رطوبتی از خاک که می‌تواند از طریق ریشه گیاهان دریافت گردد، به نام آب قابل استفاده یا آب در دسترس نامیده شده است. آب قابل استفاده تفاوت محتوی آب ظرفیت مزرعه و درصد پژمردگی دائمی می‌باشد.

جدول ۲-۱- محدوده برخی خصوصیات فیزیکی انواع مختلف خاک‌ها (رسول‌زاده و رئوف، ۱۳۹۲)

بافت خاک (Texture)	سرعت نفوذ نهایی (cm/hr)	درصد تخلخل	جرم مخصوص ظاهری (gr/cm <sup>3</sup> )	درصد رطوبت ظرفیت زراعی (gr/gr)	درصد رطوبت نقطه پژمردگی دایم (gr/gr)
شنی	۵	۳۸	۱/۵۶	۹	۴
	(۲/۵ - ۲۵)	(۳۲-۴۲)	(۱/۵۵ - ۱/۸)	(۶ - ۱۲)	(۲ - ۶)
لومی شنی	۲/۵	۴۳	۱/۵	۱۴	۶
	(۱/۲۵-۷/۵)	(۴۰-۴۷)	(۱/۴ - ۱/۶)	(۱۰ - ۱۸)	(۴ - ۸)
لوم	۱/۲۵	۴۷	۱/۴	۲۲	۱۰
	(۰/۷۵ - ۲)	(۴۳-۴۹)	(۱/۳۵ - ۱/۵)	(۱۸ - ۲۶)	(۸ - ۱۲)
رسی لومی	۰/۷۵	۴۹	۱/۳۵	۲۷	۱۳
	(- ۱/۵) (۰/۲۵)	(۴۹-۵۱)	(۱/۳ - ۱/۴)	(۲۳ - ۳۱)	(۱۱ - ۱۵)
رسی سیلتی	۰/۲۵	۵۱	۱/۳	۳۱	۱۵
	(- ۰/۵) (۰/۰۲۵)	(۴۹-۵۳)	(۱/۲۵ - ۱/۳۵)	(۲۷ - ۳۵)	(۱۳ - ۱۷)
رسی	۰/۵	۵۳	۱/۲۵	۳۵	۱۷
	(۰/۱۲۵ - ۱)	(۵۱-۵۵)	(۱/۲ - ۱/۳)	(۳۱ - ۳۹)	(۱۵ - ۱۹)

### ۲-۲-۳- رطوبت ظرفیت زراعی

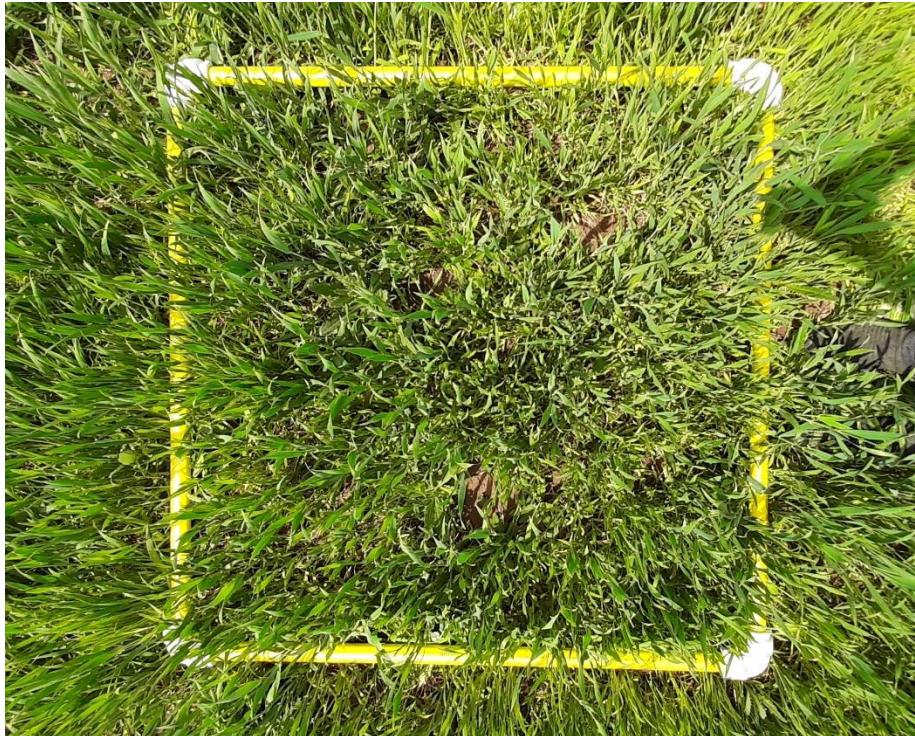
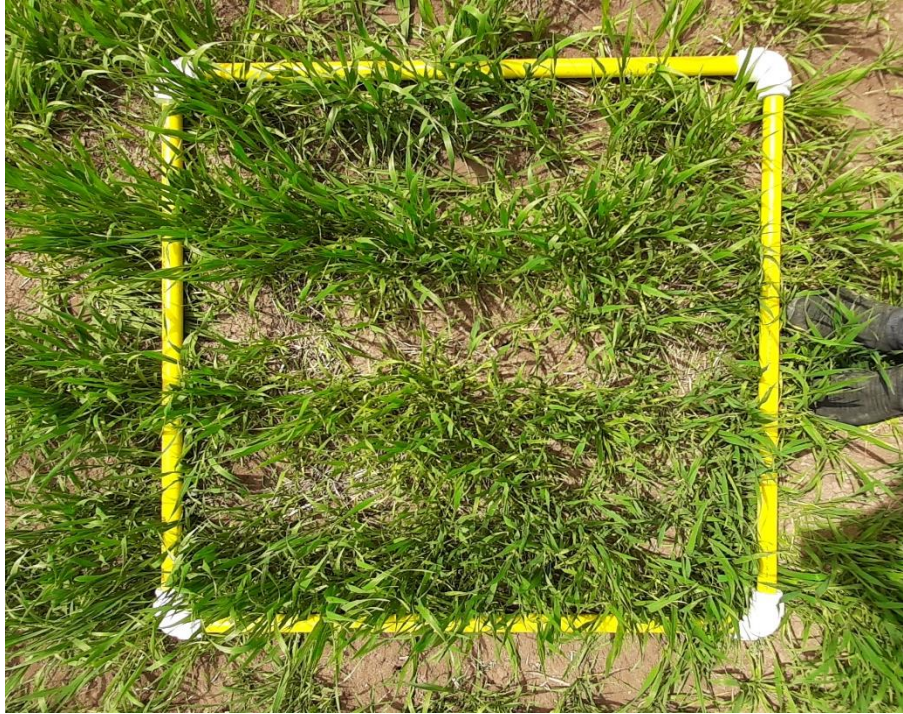
در این پژوهش برای اندازه‌گیری میزان رطوبت ظرفیت زراعی، از روش اندازه‌گیری صحرایی استفاده شد. برای این کار شرایط مزرعه تا حد امکان دست‌نخورده باقی ماند. از مساحت نسبتاً بزرگی در ایجاد کرت‌ها استفاده شد تا تاثیر حرکت افقی آب در خاک به حداقل برسد. برای کم کردن جریان آب بر اثر اختلاف بار هیدرولیکی، از مقدار زیادی آب برای اشباع کردن لایه‌های گسترده زمین استفاده شد. شرایط آزمایشگاهی اندازه‌گیری میزان رطوبت ظرفیت زراعی دارای خطاهای اجتناب‌ناپذیری می‌باشد. خطا در برداشت و انتقال نمونه دست‌نخورده به آزمایشگاه، کوچک بودن حجم نمونه و تغییر در اندازه خلل و فرج خاک، از جمله خطاهای احتمالی در اندازه‌گیری

آزمایشگاهی میزان رطوبت ظرفیت زراعی در مکش‌های ۱۰ و ۳۳ کیلوپاسکال می‌باشد. از طرفی به‌طور کامل مشخص نیست که حقیقتاً مقدار رطوبت به‌دست‌آمده در این روش، در حد رطوبت ظرفیت زراعی هست یا خیر. بنابراین اندازه‌گیری رطوبت ظرفیت زراعی به روش صحرائی نتایج دقیق‌تری ارائه می‌دهد. پاچپسکی، راولز، رومانو و سانتینی معتقدند میزان رطوبت در مکش‌های ۱۰، ۳۳ و ۵۰ کیلوپاسکال به‌ترتیب در خاک‌های شنی، لومی و رسی برابر با میزان رطوبت در ظرفیت زراعی برابر می‌باشد. کلوت نیز معتقد است خاک‌های شنی، لومی و رسی به‌ترتیب ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت پس از آخرین آبیاری، به حد رطوبت ظرفیت زراعی می‌رسند. ناچاب و مایر رسیدن به سرعت نفوذ پایه را معیاری برای رطوبت ظرفیت زراعی دانستند. در پژوهش حاضر رطوبت ظرفیت زراعی به روش صحرائی و تا ۵ روز پس از آبیاری صورت گرفت. رطوبت باقی‌مانده در خاک پس از اعمال مکش‌های ۱۰ و ۳۳ کیلوپاسکال اندازه‌گیری شد و با رطوبت اندازه‌گیری شده به روش صحرائی مقایسه شد. همچنین تابع انتقالی نقطه‌ای مرسوم موجود برای برآورد رطوبت برای خاک‌های این منطقه ارزیابی شد تا تابع انتقالی که برای منطقه بالاترین کارایی را دارد مشخص شود.

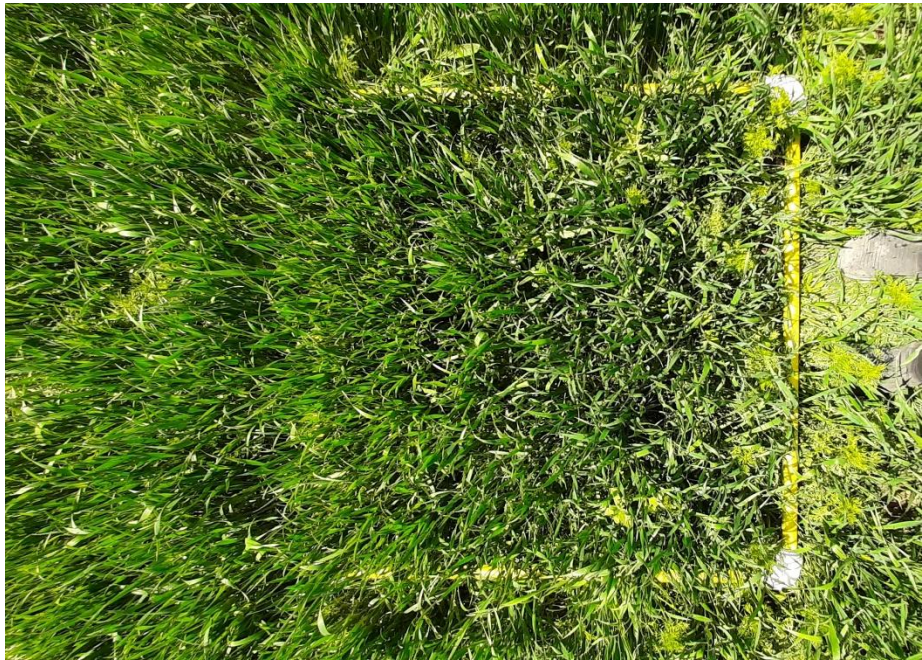
برای ثبت اطلاعات مربوط به خاک و گیاه نمونه‌های زیر از دشت اردبیل برداشت شد:

























## منابع

۱. اسدزاده، ح. و رئوف، م. ۱۳۹۷. مقایسه کارایی مصرف آب در سیستم های آبیاری بارانی و هیدروفوم (مطالعه موردی :دشت اردبیل). مدیریت آب و آبیاری. ۸ (۱): ۶۸-۵۵.
۲. انصافی مقدم، ط. ۱۳۹۴. مقایسه نیاز خالص آبیاری محصولات زراعی و باغی در دشت های استان مرکزی با استفاده از نرم افزار NETWAT، اولین کنفرانس بین المللی علوم جغرافیایی، آباءه.
۳. بابازاده، ح. و سرائی تبریزی، م. ۱۳۹۱. ارزیابی وضعیت کشاورزی استان هرمزگان از دیدگاه آب مجازی. مجله پژوهش آب در کشاورزی. ۲۶ (۴): ۴۹۹-۴۸۵.
۴. براتی، خ، عابدی کوپایی، ج، درویشی، ا، آذری، آ و یوسفی، ع. (۱۳۹۷). 'برآورد نیاز خالص آبیاری گیاهان الگوی کشت دشت کرمانشاه و مقایسه آن با داده های سند ملی آب، پژوهش آب در کشاورزی، ۳۲ (۴): ۵۴۳-۵۵۳.
۵. براهمی م، شاهوردی ک. (۱۳۹۷). به روز رسانی و بازنگری سند ملی آب در دشت های قزوین و فومنات. مجله علوم آب و خاک؛ ۲۲ (۲): ۱۹۹-۲۰۹.
۶. تفاعری، س. و طاهری، ج. ۱۳۹۵. طراحی معماری همساز با اقلیم شهر مشهد. چهارمین کنگره بین المللی عمران، معماری و توسعه شهری. ۷ الی ۹ دی. دانشگاه شهید بهشتی.
۷. چاآخوری م، زرین آبادی ا و مادح خاکسار س. ۱۳۸۵. بررسی نقش سند ملی آب در عملکرد مصارف آب شبکه آبیاری ناحیه شمال خوزستان، اولین همایش ملی مدیریت شبکه های آبیاری و زهکشی، اهواز.
۸. حمادی، ک، ذاکری حسینی، ف، حسین زاده ساداتی، م. و اله دین، س. ۱۳۹۳. برآورد نیاز آبی محصولات کشاورزی در استان خوزستان. دو فصلنامه تخصصی علوم و مهندسی آب. ۹: ۱۶-۷.
۹. حیدری بنی، م، پارسا، ش. و قطره سامانی، س. ۱۳۹۰. بررسی میزان انطباق نیاز آبی بادام با سند ملی آبیاری کشور (مطالعه موردی : سامان). دومین همایش ملی بادام با محوریت صادرات. شهرکرد.
۱۰. عرفانیان، م، علیزاده، ا. و محمدیان، آ. ۱۳۸۹. بررسی تغییرات احتمالی نیاز کنونی آبیاری گیاهان نسبت به ارقام مندرج در سند ملی آبیاری (مطالعه موردی: استان خراسان رضوی). نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۳ (۴): ۴۷۸-۴۹۲.
۱۱. علیزاده، ا، ایزدی ع، ضیایی ع ن، اخوان س و حمیدی ز. (۱۳۹۲). برآورد تخییر-تعرق واقعی در مقیاس سال - حوضه با استفاده از SWAT، نشریه آبیاری و زهکشی ایران ۷ (۲): ۲۴۳-۲۵۸.
۱۲. فولادمند، ح. ۱۹۱۳. تخمین نیاز آبیاری میانگین و بحرانی گیاهان زراعی مهم استان فارس. مجله دانش آب و خاک ۱ (۲): ۱۸۷-۱۹۶.
۱۳. قمرنیا، ه. و سپهری، س. ۱۳۸۸. محاسبه آب مورد نیاز الگوی کشتهای مختلف با روش پنمن مانیتث و مقایسه آن با نتایج سند ملی آب ایران. هشتمین کنگره بینالمللی مهندسی عمران، شیراز.
۱۴. موحدی، س، حیدری ناصر آباد، ب، هاشمی عنا، ک. و رنجبر، ف. ۱۳۹۱. پهنه بندی نواحی اقلیمی استان خوزستان. فضای جغرافیایی. ۴: ۷۳-۶۴.
۱۵. مینائی، س و مادح خاکسار، آ. ۱۳۸۱. بررسی و نقدی بر روش و مقادیر محاسبه نیاز آبی سند ملی آب استان خوزستان و ارائه پیشنهادات، یازدهمین سمینار کمیته ملی آبیاری و زهکشی، تهران.

۱۶. نشاط، ع. و سجادی بمی، ی. ۱۳۹۵. پیش بینی تاثیر تغییر اقلیم بر فراسنج دما با استفاده از نرم افزار گردش عمومی جو HadCM3 (مطالعه موردی: کرمان و بم). مهندسی منابع آب. ۹: ۶۲-۵۱.
۱۷. نظری فر، م. ه.، بهبهانی، م. ر. و مومنی، ر. ۱۳۹۱. ارزیابی سناریوهای متفاوت کم آبیاری و تعیین هیدرومدول و سطح بهینه الگوی کشت در شرایط کم آبیاری. علوم و مهندسی آبیاری. ۳۵ (۲): ۹۱-۱۰۵.
۱۸. هدایتی دزفولی، ا. و کاکاوند، ر. ۱۳۹۱. پهنه‌بندی اقلیمی استان قزوین. نشریه نیوار. ۷۶: ۷۳-۵۹.
19. Aghajani, A., Bidabadi, F. S., Joolaei, R. and Keramatzadeh, A. 2013. Managing cropping patterns agricultural crops of Three Counties of Mazandarn province of Iran. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*. 5: 596-611.
20. Allen, R.G., Pereira, L.S., Howell, T.A. and Jensen, M.E., 2011. Evapotranspiration information reporting: II. Recommended documentation. *Agricultural Water Management*, 98(6), pp.921-929.
21. Béné, C., Barange, M., Subasinghe, R., Andersen, P., Merino, G., Hemre, G. I. and Williams, M. 2015. Feeding 9 billion by 2050—Putting fish back on the menu. *Food Security*, 7(2): 261-274.
22. Bouman, B. A. M., van Keulen, H., van Laar, H. H. and Rabbinge, R. 1996. The school of de Wit' crop growth simulation models: a pedigree and historical overview. *Agric. Syst.* 52:171–198.
23. Boustani, F., Mohammadi H. and et al., 2010. Determination of optimal cropping pattern due to water deficit: a case study in the South of Iran, *Am. Eurasian J. Agric. Environ. Sci.* 7: 591–595.
24. Dagdelen, N., Yilmaz, E., Sezgin, F. and Gurbuz, T. 2005. Water yield relation and water use efficiency of cotton and second crop corn in western Turkey. *Agric. Water Manage.* 82(1-2):63-85.
25. Dhehibi, B., Lachaal, L. and Elloumi, M. 2007. Measuring irrigation water use efficiency using stochastic production frontier: an application on citrus producing farms in Tunisia. *Journal of Agricultural and Resource Economics*. 1, pp: 1-15.
26. Dong, Q. 2018. Study on the Crop Irrigation Water Requirement Based on Cropwat in Jinghuiqu Irrigation Area. *ACMME*, 394.
27. Ewaid, S. H., Ali Abed, S. and Al-Ansari, N. 2019. Crop Water Requirements and Irrigation Schedules for Some Major Crops in Southern Iraq. *Water*, 756: 1-12.
28. FAO. 2009. Food and Agriculture Organization of the United Nations. How to feed the World in 2050. [http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert\\_paper/How to Feed the World in 2050. Pdf.](http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert_paper/How_to_Feed_the_World_in_2050.Pdf) (accessed March 25, 2017).
29. Farahani, H.J., Howell, T.A., Shuttleworth, W.J. and Bausch, W.C., 2007. Evapotranspiration: progress in measurement and modeling in agriculture. *Transactions of the ASABE*, 50(5), pp.1627-1638.
30. Ghamarnia, H., Miri, E., & Ghobadei, M. (2013). Determination of water requirement, single and dual crop coefficients of black cumin (*Nigella sativa* L.) in a semi-arid climate. *Irrigation Science*, 32(1), 67–76.
31. Gorantiwar, S. D. and Smout, I. K. 2003. Allocation of scarce water resources using deficit irrigation in rotational systems. *ASCE, J. Irrig. And Drain. Eng.* 129(3): 155-163.
32. Karamouz, M., Ahmadi, B. and Zahmatkesh, Z. 2012. Developing an agricultural planning model in a watershed considering climate change impacts, *J. Water Resour. Plann. Manage.* 139: 349–363.

33. Mirzaei, S., Raoof, M., Ghasemi, A., Esmali, A., Etaati, H. and Moradnezhadi, M. 2014. Determination of a some simple methods for outlier detection in maximum daily rainfall (case study: Baliglichay Watershed Basin–Ardebil Province–Iran). *Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences* 3 (3): 110-117.
34. Moseki, O., Murray-Hudson, M., & Kashe, K. (2019). Crop water and irrigation requirements of *Jatropha curcas* L. in semi-arid conditions of Botswana: applying the CROPWAT model. *Agricultural Water Management*, 225, 105754.
35. Naroua, I. Rodríguez Sinobas, L. Sánchez Calvo, R. 2014, *International Journal of Agricultural Policy and Research* Vol.2 (12), pp. 484-491, December 2014 Available online at <http://www.journalissues.org/IJAPR/>.
36. Odegard, I. Y. R. and Van der Voet, E. 2014. The future of food—scenarios and the effect on natural resource use in agriculture in 2050. *Ecological Economics*, 97: 51-59.
37. Osama, S., Elkholy, M. and Rawya Kansoh, M. 2017. Optimization of the cropping pattern in Egypt. *Alexandria Engineering Journal*. 56(4): 1-10.
38. Pereira, L. S., Paredes, P., López-Urrea, R., Hunsaker, D. J., Mota, M., & Mohammadi Shad, Z. (2021). Standard single and basal crop coefficients for vegetable crops, an update of FAO56 crop water requirements approach. *Agricultural Water Management*, 243, 106196.
39. Pôças, I., Calera, A., Campos, I., Cunha, M., 2020. Remote sensing for estimating and mapping single and basal crop coefficients: A review on spectral vegetation indices approaches. *Agric. Water Manage.* 23, 106081
40. Ramírez-Cuesta, J.M., Mirás-Avalos, J.M., Rubio-Asensio, J.S., Intrigliolo, D.S., 2019. A novel ArcGIS toolbox for estimating crop water demands by integrating the dual crop coefficient approach with multi-satellite imagery. *Water* 11 (38)
41. Raoof, M. and Azizi, J. 2019. Reference Evapotranspiration Estimation Using Locally Adjusted Coefficient of Angstrom's Radiation Model in an Arid-Cold Region. *JAST*. 21(2): 487-499
42. Singh, A. and Panda, S. N. 2012. Development and application of an optimization model for the maximization of net agricultural return, *Agric. Water Manage.* 115: 267–275.
43. Tavakoli, A. 2003. The impact of deficit irrigation and nitrogen on yield and yield components of wheat. *Scientific Journal of Agriculture*, 26(2): 75-87.
44. Van Dijk, M., Mandryk, M., Gramberger, M., Laborde, D., Shutes, L., Stehfest, E., Valin, H. and Zellmer, K. 2016. Scenarios to explore global food security up to 2050: Development process, storylines and quantification of drivers. LEI Wageningen UR.
45. Verstraeten, S.V., Aimò, L. and Oteiza, P.I., 2008. Aluminium and lead: molecular mechanisms of brain toxicity. *Archives of toxicology*, 82(11), pp.789-802.