

تحلیل میزان کارایی مدل CROPWAT در برآورد نیاز آبی محصول گندم در غرب کرمانشاه: شهرستانهای اسلام‌آباد غرب، سرپل زهاب و روانسر

حسن لشکری^{۱*}، قاسم کیخسروی^۲، علی رضایی^۳

- ۱- دانشیار گروه جغرافیا، دانشگاه شهید بهشتی تهران، تهران، ایران
- ۲- کارشناس ارشد اقلیم‌شناسی در برنامه ریزی محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
- ۳- دانشجوی کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی در برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

پذیرش: ۸۷/۶/۱۹

دریافت: ۸۶/۶/۲۴

چکیده

در این تحقیق میزان تبخیر و تعرق و نیاز آبی گندم برای شهرستانهای اسلام‌آباد غرب، سرپل زهاب و روانسر طی یک دوره آماری ۱۸ ساله از ۱۹۸۸-۲۰۰۵ و نتایج بر اساس ماههای میلادی برآورد شده است.

در ابتدا با استفاده از میانگین بلند مدت داده‌های اقلیمی (دما و بارش) دوره‌های خشک و مرطوب برای هر سه ایستگاه تعیین شد. طول دوره خشکی در این منطقه - که از اوایل بهار تا اواسط پاییز ادامه دارد - با زمان رسیدن محصول و حساسیت آن به کمبود آب منطبق می‌باشد. لذا در این موقع از سال نیاز به آبیاری تکمیلی است و بناچار بخش اعظم از این مناطق که اکثراً به صورت دیم کشت می‌شوند، مجبور به استفاده از آبهای زیرزمینی هستند. بنابراین نتیجه آن افت شدید سطح آبخوان در دشتهای این منطقه است؛ کاهش نزولات جوی طی سالهای اخیر را نیز باید به این مسأله اضافه کرد.

سپس با استفاده از مدل کروپ وات به محاسبه تبخیر و تعرق واقعی محصول گندم و نیاز آبی و آبیاری این محصول مهم در منطقه مطالعه شده پرداخته شد که برای این منظور ابتدا میانگین داده‌های اقلیمی (حداکثر و حداقل دما، بارش ماهانه، سرعت باد، رطوبت نسبی و تابش روزانه)، سپس الگوی

E-mail: dr-Lashkari61@yahoo.com

* نویسنده مسؤول مقاله:



کاشت محصول (تاریخ کاشت، مقدار ضریب روزهای هر مرحله از رشد، عمق ریشه، عمق نفوذ و مساحت کشت شده برحسب درصد)، نوع خاک، کل رطوبت در دسترس، رطوبت اولیه خاک(به درصد از کل رطوبت) و... در مدل وارد شده و در هر مرحله نتایج آن به صورت جدول و نمودار ارائه شده است. در نهایت برای هر کدام از ایستگاهها جدول زمانبندی آبیاری و نمودار میزان کسری پیش بینی شده رطوبت خاک به میزان کسری واقعی آن طی دوره رشد و در حالت مقایسه‌ای به دست آمده است، نیاز آبی، نیاز آبیاری و مقدار تبخیر و تعرق نیز به صورت نمودار و طی دوره رشد محصول ترسیم شده‌اند.

با توجه به نتایج حاصل از جداول زمانبندی آبیاری در هر سه ایستگاه و با توجه به حاکم بودن خشکی و مواجه شدن خاک با کسری رطوبت، دو تا سه آبیاری تکمیلی نیاز است تا محصول برای برداشت آماده شود.

کلید واژه‌ها: تبخیر و تعرق، گندم، نیاز آبی، غرب کرمانشاه، CROPWAT.

۱- مقدمه

جمعیت شهرهای کوچک بتدریج در حال افزایش است و انتظار می‌رود این افزایش جمعیت در آینده نیز همچنان ادامه داشته باشد. اولین پیامد این امر افزایش تقاضا و نیاز روز افزون به مواد غذایی خواهد بود. بنابراین به موازات افزایش تقاضا باید که میزان تولید نیز افزایش پیدا کند، به منظور تعیین روشی برای تولید و نگهداری ذخیره کافی مواد غذایی خود، توسعه نواحی مورد کشت غیر ممکن است چراکه زمین تقریباً به صورت کامل مورد استفاده قرار گرفته است. بنابراین بالا بردن مقدار بازده محصولات یک عمل با دوام خواهد بود. به این منظور باید مناطقی را که به صورت دیم مورد استفاده هستند، تحت آبیاری قرار بگیرند. بنابراین برآورد آب مورد نیاز و ارزیابی تأثیر استقرار شبکه‌های آبیاری اهمیت زیادی دارد [۱، صص ۱۷-۱۸].

گندم در اکثر مناطق کشور و از جمله در منطقه مطالعه شده مهمترین محصول کشاورزی به شمار می‌آید که قسمت اعظم درآمد کشاورزان نیز وابسته به آن می‌باشد. براساس آمار موجود در اداره آمار و اطلاعات سازمان جهاد کشاورزی استان کرمانشاه، میزان تولید گندم (مجموع دیم و آبی) در استان طی سال زراعی ۱۳۸۴-۱۳۸۵، ۲۹۲۹۱۹۷ تن و سطح زیر کشت این محصول ۹۳۹۴۹۴ هکتار بوده است. میزان تولید گندم دیم و آبی در منطقه مطالعه شده

طی همین سال در مجموع ۵۷۹۲۰۰ تن و سطح زیر کشت آن ۱۳۲۰۰۰ هکتار بوده است که از لحاظ میزان تولید ۲۰ و سطح زیر کشت ۱۴ درصد از کل استان را به خود اختصاص داده است. میزان تولید گندم دیم طی همین سال در منطقه مطالعه شده ۵۱۵۰۰ تن و سطح زیر کشت ۳۸۰۰۰ هکتار بوده است.

کروپ وات^۱ یک سیستم پشتیبان است که به وسیله بخش توسعه آب و زمین سازمان فائو برای برنامه ریزی و مدیریت آبیاری ایجاد شده است. کروپ وات یک ابزار کاربردی مشترک است که به کمک آن هواشناسان و متخصصان کشاورزی و مهندسان آبیاری، محاسبات استاندارد تبخیر و تعرق مرجع، نیاز آبی و آبیاری محصولات را تخمین می زنند. همچنین در مورد طرحهای ویژه مدیریتی و برنامه های آبیاری، زمانی که با کمبود آب مواجه هستیم، به عنوان یک راهنما برای بهبود عملیات آبیاری و زمانبندی آبیاری عمل می کند. در نهایت مقدار تولید را در شرایط دیم و یا کمبود آب پیش بینی می کند. پایگاه داده های کروپ وات شامل داده هایی برای ۶ ناحیه اقلیمی و ۱۴۴ کشور می باشد [۲، ص ۴۶].

در سال ۱۹۴۸ پنمن^۲ دانشمند انگلیسی از ترکیب معادلات انرژی و آیرودینامیک فرمولی را برای تخمین تبخیر و تعرق پتانسیل پیشنهاد کرد که بعداً فرمول او به وسیله عده زیادی از متخصصان هیدرولوژی و آب و خاک مورد استفاده و اصلاح قرار گرفت که نامهای مختلفی نیز به خود گرفت، مانند روش پنمن فائو^۳، پنمن-مونتیت^۴ و غیره. روشی که در حال حاضر برای محاسبه نیاز آبی محصولات و آبیاری مورد نیاز استفاده می شود، براساس روش پنمن-مونتیت استوار است که طی سالهای اخیر از طرف عده زیادی از متخصصان علوم کشاورزی، هواشناسی و آبیاری مورد استفاده قرار گرفته است.

اویموج^۵ با استفاده از مدل کروپ وات به بررسی زمانبندی طرحهای آبیاری بر وضعیت بیوماس گیاهی در ناحیه جنوب غربی نیجر پرداخته است. براینده آثار تغییر در زمانبندی آبیاری بر پارامترهای رشد محصول و میزان محصول وقتی که با هم ترکیب می شوند،

1. Cropwat
2. Penman
3. Penman-FAO
4. Penman-Monteith
5. Ewemoj, 2007



اختلاف معنا داری در $P > 0.05$ نشان می دهد. موقعی که ۵۰ درصد عملکرد ظرفیت مزرعه با ۷۵ یا ۱۰۰ درصد عملکرد ظرفیت مزرعه مقایسه می شود [۳، صص ۱۰۰-۱]. ناجی و همکاران (۲۰۰۶) در پژوهشی براساس سریهای زمانی و تحلیل عکسهای هوایی با استفاده از مدل کروپ وات به آزمون میزان دقت مدیریت منابع آب پرداختند. نتایج این تحقیق دقت طرحهای مدیریت منابع آب را با استفاده از نقشه‌های به دست آمده نشان می دهد. بعلاوه برآورد طرحهای مختلف در مدیریت منابع آب و سرانجام مدیریت سازگار منابع آب به وسیله داده‌های به موقع و پویا که از مبادله خروجی و ورودی GIS و کروپ وات به دست می آید، امکانپذیر است [۴، صص ۱۵۹-۱۵۱].

تودا و همکاران (۲۰۰۵) در پروژه‌ای به تخمین آب مورد نیاز برای آبیاری با استفاده از مدل کروپ وات برای منطقه‌ای از استان ساونکت^۱ کشور لائوس استفاده کردند. نتایج مطالعات آنها نشان داد که آبیاری اضافی برای بالا بردن میزان محصول سودمند بوده ولی از آنجا که این مدل آبهای زیرزمینی و تأثیر بارور کننده‌ها (کود) را در نظر نمی‌گیرد، لازم است برای صحت نتایج به دست آمده این فاکتورها نیز در نظر گرفته شوند؛ بخصوص موقعی که تخمین آبیاری در فصل خشک مد نظر است [۱، صص ۱۷-۲۴]. بلدن و همکاران (۲۰۰۴) طی پروژه‌ای مربوط به اندازه‌گیری مدیریت آثار کشاورزی بر منابع آب در حوضه رودخانه پانگانی کشور تانزانیا در قسمتی از کار خود از مدل کروپ وات استفاده کردند. محصول مطالعه شده این گروه برنج بود و به وسیله این مدل مقدار ذخیره آبی برای زیر حوضه‌های کوچکتر برآورد شد. تعادل آب نشان می‌دهد که حوضه پانگانی یک ذخیره آب قابل دسترس در حدود ۳۱۵ میلیون متر مکعب در خلال فصل رشد برنج به صورت جریان رودخانه‌ای دارد [۵، صص ۱-۴].

گافورو (۲۰۰۴) به بررسی تأثیر هوا بر تغییرات اقلیمی در حوضه دریاچه آرال پرداخت که در قسمتی از کار خود تأثیر این دریاچه را بر کشاورزی مناطق مجاور آن با استفاده از مدل کروپ وات مطالعه کرد. اگر بازدهی آبیاری مانند آنچه که در حال حاضر وجود دارد ادامه یابد، مصرف آب تا سال ۲۰۲۵ به میزان ۹۸/۵۵ کیلومتر مکعب افزایش پیدا می‌کند (بیشتر از ۳۰ درصد) [۶، صص ۱-۱۸].

استنکلی (۲۰۰۴) به بررسی جذب و ترکیب داده‌های حاصل از مشاهدات زمینی در مدل

1. Savannakhet

کروپ وات پرداخت. یک تحلیل مقایسه‌ای نشان می‌دهد که داده‌های استخراجی از برآورد مقدار تبخیر و تعرق به‌وسیله ماهواره NOAA-AVHRR در کل بزرگتر از آنهایی است که به وسیله مدل کروپ وات شبیه‌سازی شده‌اند، به دست آمده است. این اختلاف در یک دامنه $0.45-1.9 \text{ mm/day}$ بوده است [۷]. می و همکاران (۲۰۰۳) از مدل کروپ وات برای پیش‌بینی کسری رطوبت خاک (SMD) با تغییرات اقلیمی و تعیین نیاز آبی محصول (CWR) و تغییر در میزان محصولات غالب دیم در کشور نیجر استفاده کردند. موقعی که آبیاری برای محصولاتی که قابل سازش با شرایط ساحل نیستند مورد نیاز باشد، سیستم زراعت ممکن است نیاز به تغییر داشته باشد؛ همچنین باید کمک شود که کشاورزیهای کوچک با واحدهای بزرگتر ترکیب شده (تعاونی) تا کفایت و بازدهی آبیاری افزایش پیدا کند [۸، صص ۱-۱۶]. استیک (۲۰۰۳) در پروژه‌ای به‌منظور بررسی کیفیت و امنیت غذایی در کشورهای اروپایی از مدل کروپ وات نیز استفاده و مشخص کرد که بازدهی استفاده از آب برای تولید محصولات باید افزایش داده شود تا به این طریق از تولید محصولات برای تأمین سلامت غذایی اطمینان حاصل شود [۹].

ماریکا (۲۰۰۳) از مدل کروپ وات برای تخمین و پیش‌بینی مؤلفه‌های اصلی تعادل رطوبت خاک براساس پیش‌بینی فصلی اقلیمی در دو مکان به نامهای Targu Jio و Calarasi در کشور رومانی استفاده کرد. کاربرد پیش‌بینیهای فصلی هوا (که با مدل کروپ وات ترکیب شده است) اجازه می‌دهد که شرایط ذخیره آب در خاک را با ۳ تا ۴ ماه جلوتر تخمین زد و این مورد از سطح مهارت پیش‌بینی می‌تواند اطلاعات لازم برای تصمیم‌گیری در مورد طرحها و مدیریت آبیاری در فصل خشک و به جهت دوری از کاهش محصول را فراهم کند [۱۰]. یار احمدی (۲۰۰۳) در رساله دکتری خود به ادغام تصاویر ماهواره‌ای، GIS و مدل کروپ وات برای تخمین تعادل آب در نواحی تحت آبیاری سلماس و تسوج در شمال دریاچه ارومیه پرداخت. او در این کار از مدل کروپ وات برای محاسبه تبخیر و تعرق واقعی و نیاز خالص آبیاری بر اساس داده‌های اقلیم محلی و استخراج داده‌های محصول از پردازش تصاویر ماهواره‌ای استفاده کرد. این مدل آب خالص مورد نیاز برای آبیاری محصولات مهم در این نواحی را محاسبه کرد، تعادل آب محاسبه شده یک روند تصمیم‌گیری در طرحهای مدیریتی منابع آب در هر دو ناحیه مخصوصاً تسوج ارائه می‌دهد [۱۱، صص ۱-۵۶]. کلارک و همکاران (۱۹۹۹) طی مطالعه‌ای در حوضه رودخانه سیر دریا در قزاقستان با استفاده از مدل



کروپ وات به بررسی تأثیر سختی و شوری آب بر خاکهای کشاورزی و در نهایت محصولات کشاورزی پرداخته و نتیجه گرفتند که آبیاریهای واقعاً کاربردی برای محصولات، بسیار کمتر از آن چیزی است که به وسیله مدل‌های معمول مانند کروپ وات پیش‌بینی می‌شود [۱۲، صص ۷-۱۱].

پیرمردیان و همکاران (۱۳۸۱) به منظور تعیین ضریب گیاهی و نیاز آبی برنج در منطقه کوشک شیراز از روش پنمن- فائو استفاده کردند. این پژوهش برای سالهای ۱۳۷۵ و ۱۳۷۶ صورت گرفت. بر اساس نتایج، میزان تبخیر و تعرق صورت گرفته طی دوره رشد برابر ۵۶۰ و ۷۵۷ میلی‌متر و کل نیاز آبی بترتیب برابر ۱۹۸۳ و ۲۳۶۱ میلی‌متر برآورد شده است [۱۳، صص ۱۵-۲۲]. مجرد و همکاران (۱۳۸۴) به منظور برآورد بارش مؤثر و نیاز آبی برنج در استان مازندران از مدل کروپ وات استفاده کردند. بر اساس نتایج، نیاز آب مصرفی و نیاز خالص آبیاری در شرق جلگه مازندران بیشتر از غرب آن است، در حالی که مقدار بارش مؤثر در غرب جلگه بیشتر است. در کل مقادیر بارش مؤثر در منطقه بسیار کمتر از نیاز خالص آبیاری است [۱۴، صص ۵۹-۷۶].

نیشابوری و همکاران (۱۳۸۴) به منظور ارزیابی روشهای پیشنهادی فائو برای برآورد تبخیر- تعرق گیاه مرجع در منطقه کرکج تبریز، مقادیر تبخیر و تعرق به دست آمده از تشت تبخیر را با مقادیر تبخیر و تعرق به دست آمده به وسیله روشهای پنمن، بلینی- کریدل اصلاح شده، تابش و پنمن- مانیتث مقایسه کردند. با توجه به مشکلات نصب و ابقای تشت تبخیر در مرحله اول روش پنمن- مانیتث و سپس روش بلینی- کریدل اصلاح شده از دقت مناسبی برای برآورد تبخیر و تعرق در منطقه مطالعه شده برخوردارند [۱۵، صص ۶۳-۷۲].

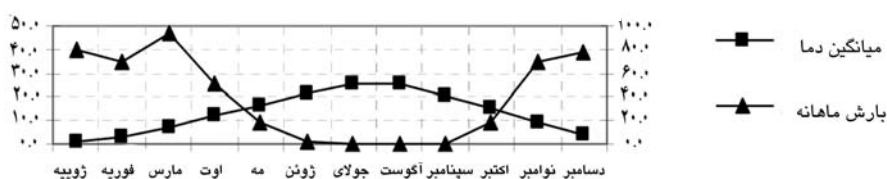
۲- منطقه مطالعه شده

منطقه مطالعه شده شامل شهرستانهای اسلام‌آباد غرب، سرپل زهاب و روانسر است. ایستگاه کرمانشاه نیز از بیرون محدوده برای درونیابی و ترسیم نقشه‌های نهایی مورد استفاده قرار گرفته است. این ناحیه با ۸۸۷۳ کیلومتر مربع در حدود ۳۶ درصد مساحت استان کرمانشاه را به خود اختصاص می‌دهد. از لحاظ موقعیت ریاضی این محدوده بین طولهای ۴۵ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۴۷ درجه طول شرقی و عرضهای ۳۳ درجه ۲۴ دقیقه تا ۳۵ درجه ۳ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. اقلیم ناحیه از نوع مدیترانه‌ای بوده که براساس

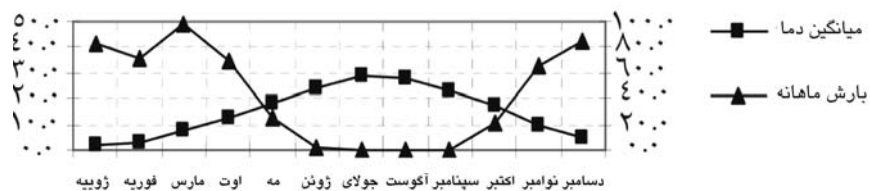
نمودارهای آمبروترمیک (شکل شماره ۱)، دوره خشک در ایستگاه سرپل زهاب از اواخر ماه آوریل شروع و تا اوایل ماه نوامبر ادامه دارد. در ایستگاه روانسر دوره خشک سال از اواسط ماه می تا نیمه ماه اکتبر و در ایستگاه اسلام آباد غرب دوره خشکی، یعنی زمانی که میزان دما از مقدار بارندگی بیشتر باشد، از اوایل ماه می شروع و تا اواخر اکتبر ادامه دارد. در جدول ۱، مشخصات ایستگاهها و میانگین برخی از مهمترین پارامترهای اقلیمی که در مدل کاربرد دارند عنوان شده است.

جدول ۱ میانگین سالیانه عناصر اقلیمی در ایستگاههای مطالعه شده طی دوره آماری (۱۹۸۸-۲۰۰۵)

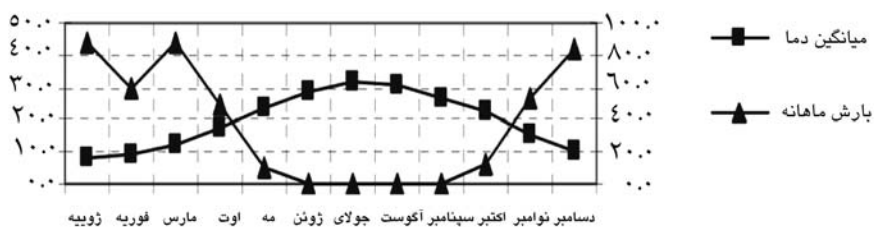
| نام ایستگاه | ارتفاع از سطح دریا (متر) | طول جغرافیایی | عرض جغرافیایی | میانگین حداقل دما | میانگین حداکثر دما | رطوبت نسبی (%) | میانگین بارش | میانگین سرعت باد (knot) | ساعاتی آفتابی در طول سال |
|----------------|--------------------------|---------------|---------------|-------------------|--------------------|----------------|--------------|-------------------------|--------------------------|
| سرپل زهاب | ۵۴۵ | ۴۵/۵۲ | ۳۴/۷۸ | ۱۲ | ۲۷/۹ | ۴۷ | ۴۴۳/۵ | ۳/۲ | ۳۰۶۸ |
| اسلام آباد غرب | ۱۳۸۴/۸ | ۴۶/۲۸ | ۳۴/۰۷ | ۵ | ۲۲/۱ | ۱۰ | ۴۹۱ | ۳/۱ | ۳۰۷۴ |
| روانسر | ۱۳۷۹/۷ | ۴۶/۳۹ | ۳۴/۳۴ | ۸ | ۲۱/۴ | ۴۵ | ۵۲۰/۴ | ۵/۵ | ۳۰۲۴ |
| کرمانشاه | ۱۳۱۸/۶ | ۴۷/۰۹ | ۳۴/۱۸ | ۶/۶ | ۳/۳۲ | ۵۴ | ۴۶۶/۶ | ۶/۳ | ۲۹۶۲ |



الف) نمودار آمبروترمیک ایستگاه اسلام آباد غرب

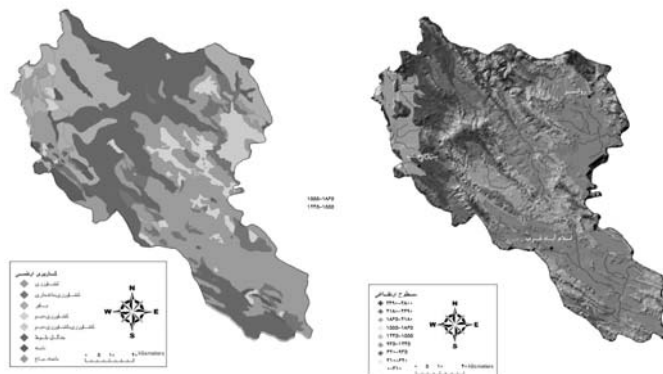


ب) نمودار آمپروترمیک ایستگاه روانسر



ج) نمودار آمپروترمیک ایستگاه سرپل زهاب

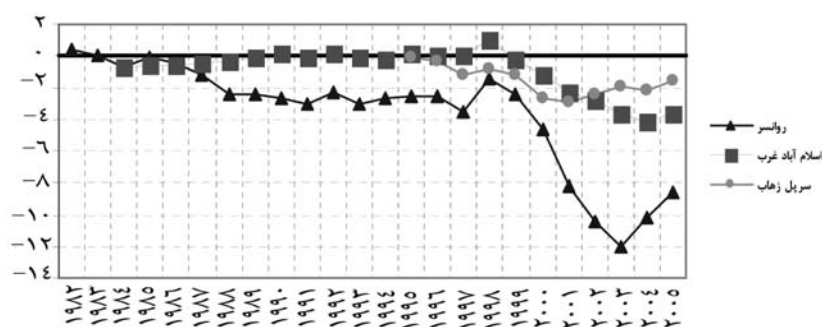
شکل ۱ نمودار آمپروترمیک ایستگاههای مطالعه شده طی دوره آماری (۱۹۸۸-۲۰۰۵)



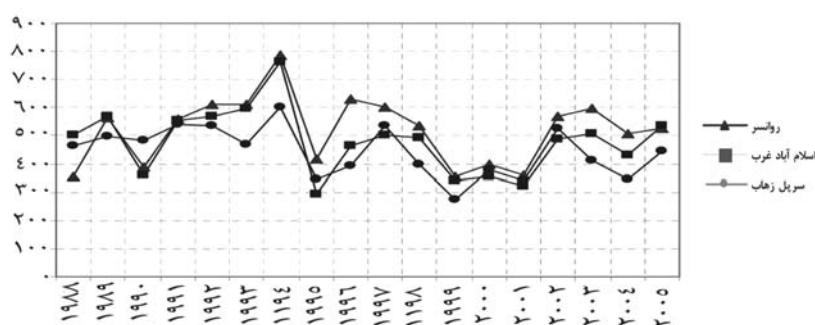
شکل ۲ نقشه کاربری اراضی و موقعیت ایستگاهها در منطقه مطالعه شده

شکل ۲ نقشه کاربری اراضی و موقعیت ایستگاههای مورد مطالعه را نشان می دهد. شکل

۳ نمودار تغییرات سطح آبهای زیرزمینی در هر سه ایستگاه مطالعه شده بوده که براساس آمار به دست آمده از سازمان تماپ ترسیم شده است، بر اساس این نمودار تا سال ۱۹۹۸ (۱۳۷۷) افت آبهای زیر زمینی برای ایستگاه روانسر وجود نداشته ولی ایستگاه اسلام آباد غرب از افتی در حدود ۲ متر برخوردار بوده است. شبکه سنجش آب زیرزمینی در ایستگاه سرپل زهاب نیز از سال ۱۹۹۵ تشکیل شده است. در مجموع افت شدید آبهای زیرزمینی در این محدوده از سال ۱۳۷۷ شروع شده که این میزان برای ایستگاه اسلام آباد غرب در بالاترین حد بوده و چیزی در حدود ۱۲ متر تنزل سطح آبهای زیر زمینی برای این ایستگاه اتفاق افتاده است.



شکل ۳ نمودار میانگین تجمعی تغییر سطح ایستابی آبخوان بر حسب متر در محدوده مطالعه شده شرکت تماپ*



شکل ۴ تغییرات میزان بارندگی در محدوده مطالعه شده



۳- مواد و روشها

برای محاسبه نیاز آب (CWR) و نیاز آبیاری محصول (IWR)، مدل به داده‌های اقلیمی، محصول و داده‌های خاک نیاز دارد، بنابراین:

۱- تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ET_o) که مقدار آن به وسیله معادله Penman-Monteith FAO محاسبه می‌شود که براساس داده‌های اقلیمی مینیمم و ماکزیمم درجه حرارت هوا، رطوبت نسبی، مدت تابش و سرعت باد است؛
۲- داده‌های بارش؛

۳- الگوی کاشت متشکل از تاریخ کاشت، داده‌های ضریب محصول و مساحت کشت شده (۰-۱۰۰ درصد از کل مساحت) بعلاوه برای زمانبندی آبیاری، مدل به اطلاعات زیر نیازمند است:

نوع خاک، کل رطوبت در دسترس خاک، حداکثر عمق ریشه، رطوبت اولیه که در خاک نفوذ می‌کند (به درصد از کل رطوبت) معادله Penman-Monteith که برای محاسبه تبخیر و تعرق محصول به کار می‌رود، به قرار زیر است [۱۱، ص ۳۱]:

$$ET_o = \frac{0.48 (R_n - T) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_p (e_a - e_d)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 u_p)} \quad \text{رابطه ۱}$$

که γ ثابت پیزومتریک، ET_o تبخیر و تعرق گیاه مرجع برحسب میلی‌متر در روز، R_n تابش خالص بر سطح محصول به (mj/day)، G جریان حرارت خاک برحسب (mj/day)، T میانگین درجه حرارت (C°)، u_p سرعت باد در ارتفاع ۲ متری برحسب متر بر ثانیه، $(e_a - e_d)$ کسری فشار بخار آب بر حسب (kpa)، Δ شیب منحنی فشار بخار آب برحسب (kpa c°)، عامل ضریب تبدیل بر مبنای محاسبات روزانه (جدول ۲).

جدول ۲ تبخیر و تعرق بدست آمده به وسیله مدل به تفکیک هر ایستگاه

| میانکین | ETo (MM / D) | | | | | | | | | | | | ایستگاه |
|---------|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------------|
| | Dec | Nov | Oct | Sep | Aug | Jul | Jun | May | Apr | Mar | Feb | Jan | |
| ۳/۹۲ | ۱/۰۹ | ۱/۷۸ | ۳/۳ | ۸/۷۴ | ۶/۲۷ | ۷/۳ | ۷/۱۱ | ۵/۸ | ۳/۹۶ | ۲/۷۳ | ۱/۸ | ۱/۱۷ | سرپل زهاب |
| ۲/۴۵ | -/۸۶ | ۱/۳۷ | ۲/۷۷ | ۴/۶۲ | ۶/۱۴ | ۶/۵۱ | ۶/۲۱ | ۴/۸۴ | ۲/۲۵ | ۲/۳۴ | ۱/۳۶ | -/۸۴ | اسلام آباد غرب |
| ۴/۱۸ | -/۹۸ | ۱/۷۳ | ۳/۶۲ | ۵/۶۸ | ۷/۸۴ | ۸/۶۸ | ۷/۵۴ | ۵/۴۲ | ۳/۷۸ | ۲/۵۱ | ۱/۴۲ | -/۹۴ | روانسر |

بارندگی مؤثر یک قسمت از کل بارندگی است که برای تولید محصول مناسب می باشد. در این کار مدل کروپ وات مقدار بارندگی مؤثر را براساس روش (USDA) محاسبه می کند. (جدول ۳)، در این روش فرض بر این است که محصولات می توانند ۶۰ - ۸۰ درصد از بارندگی بالاتر از ۲۵۰ میلیمتر را استفاده کنند، بالاتر از ۲۵۰ میلیمتر در ماه میزان استفاده محصولات از کل بارندگی تنها ۱۰ درصد است؛ به عبارتی دیگر موقعی که بارندگی افزایش پیدا می کند، مقدار کارایی آن کاهش خواهد یافت [۱۱، ص ۳۲]:

$$P_{\text{eff}} = \frac{P_{\text{tot}} (125 - 0.2 P_{\text{tot}})}{125}$$

رابطه ۲ $P_{\text{tot}} < 250 \text{ mm}$ برای زمانی که

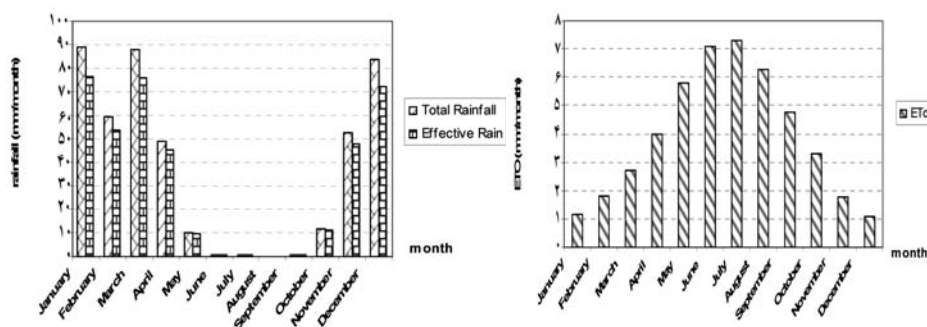
$$P_{\text{eff}} = 125 + 0.1 P_{\text{tot}}$$

رابطه ۳ $P_{\text{tot}} < 250 \text{ mm}$ برای زمانی که

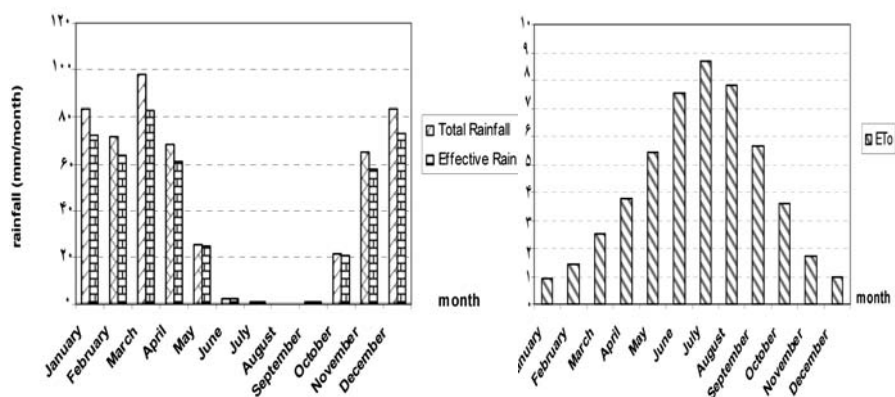
که در اینجا P_{eff} نماینده بارندگی مؤثر به میلیمتر در ماه و P_{tot} کل بارش به میلیمتر در هر ماه است.

جدول ۳ برآورد میزان بارندگی مؤثر در هر ایستگاه با استفاده از مدل کروپ وات

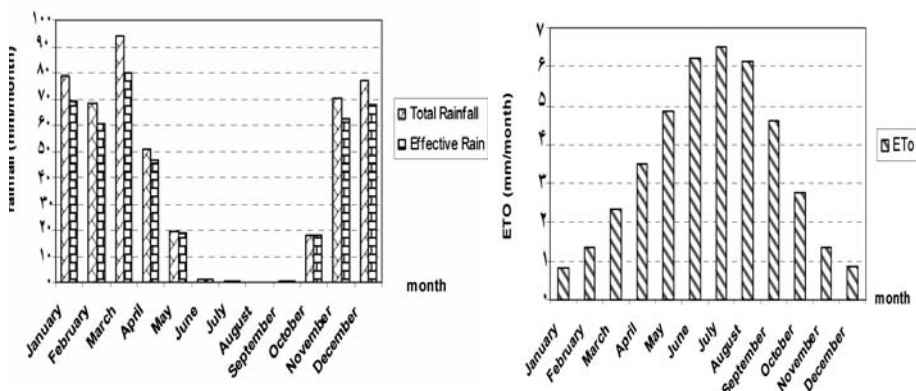
| جمع | بارش مؤثر (MM / Month) | | | | | | | | | | | ایستگاه | |
|-------|------------------------|------|------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|---------|----------------|
| | Dec | Nov | Oct | Sep | Aug | Jul | Jun | May | Apr | Mar | Feb | | Jan |
| ۳۹۳ | ۷۲/۳ | ۴۸ | ۱۱/۳ | ۰/۳ | ۰ | ۰/۳ | ۰/۴ | ۹/۷ | ۴۵/۸ | ۷۵/۶ | ۵۳/۹ | ۷۶/۱ | سرپل زهاب |
| ۴۲۶/۱ | ۵۷/۷ | ۶۲/۵ | ۱۷/۹ | ۰/۸ | ۰ | ۰/۹ | ۱/۳ | ۱۸/۶ | ۴۶/۸ | ۷۹/۷ | ۶۰/۹ | ۶۹ | اسلام آباد غرب |
| ۴۵۸/۷ | ۷۲/۶ | ۵۸ | ۲۰/۷ | ۰/۶ | ۰ | ۰/۸ | ۲/۳ | ۲۴/۳ | ۶۱/۱ | ۸۲/۶ | ۶۳/۴ | ۷۲/۳ | روانسر |



شکل ۵ برآورد میزان تبخیر و تعرق و بارندگی مؤثر در ایستگاه سرپل زهاب



شکل ۶ برآورد میزان تبخیر و تعرق و بارندگی مؤثر در ایستگاه روانسر



شکل ۷ برآورد میزان تبخیر و تعرق و بارندگی مؤثر در ایستگاه اسلام آباد غرب

جدول ۴، مقدار تابش خورشیدی را به تفکیک هر ایستگاه نشان می‌دهد. از آنجایی که در ایستگاههای هواشناسی باد را برحسب نات و در ارتفاع ۱۰ متری ثبت می‌کنند ولی در مدل کروپ وات، باد بر حسب کیلومتر در روز و در ارتفاع ۲ متری مورد نظر است (جدول شماره ۵). بنابراین با استفاده از رابطه ۴ داده‌های سرعت باد به فرمت داده‌های مدل کروپ وات تبدیل می‌شوند [۱۱، ص ۱۴]:

$$U_z = \frac{4.868}{\ln(77.75Z - 0.42)} \times U_2 \quad \text{رابطه ۴}$$

که U_1 سرعت باد در ارتفاع ۲ متری، U_z سرعت باد در ارتفاع Z (ارتفاعی که باد اندازه گیری شده است)

جدول ۴ مقدار تابش خورشیدی محاسبه شده به وسیله مدل به تفکیک هر ایستگاه

| میانگین | تابش خورشیدی* (MJ / M ² / D) | | | | | | | | | | | | ایستگاه |
|---------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-------------------|
| | Dec | Nov | Oct | Sep | Aug | Jul | Jun | May | Apr | Mar | Feb | Jan | |
| ۱۸/۲ | ۸/۸ | ۱۱/۴ | ۱۶ | ۲۱/۶ | ۲۴/۷ | ۲۷ | ۲۷/۴ | ۲۴ | ۱۹/۲ | ۱۶/۲ | ۱۲/۴ | ۹/۷ | سرپل زهاب |
| ۱۸/۴ | ۸/۷ | ۱۱/۳ | ۱۵/۹ | ۲۲ | ۲۵/۵ | ۲۷ | ۲۷/۶ | ۲۴/۶ | ۱۹/۸ | ۱۶/۲ | ۱۲/۲ | ۹/۳ | اسلام آباد غرب |
| ۱۸/۱ | ۸/۲ | ۱۱/۱ | ۱۵/۹ | ۲۱/۹ | ۲۵/۴ | ۲۷/۴ | ۲۷/۷ | ۲۴/۲ | ۱۹/۶ | ۱۵/۶ | ۱۱/۸ | ۸/۹ | روانسر |

*مقدار تابش خورشیدی که بر حسب طول موج بلند زمین بر متر مربع در روز محاسبه می شود.

جدول ۵ سرعت باد بر حسب کیلومتر در روز در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین

| میانگین | سرعت باد (KM / D) | | | | | | | | | | | | ایستگاه |
|---------|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------------|
| | Dec | Nov | Oct | Sep | Aug | Jul | Jun | May | Apr | Mar | Feb | Jan | |
| ۱۰۰ | ۶۷/۹ | ۷۷/۶ | ۸۷/۲ | ۸۴ | ۱۰۱/۶ | ۱۲۲/۶ | ۱۲۷/۵ | ۱۲۷/۲ | ۱۰۹ | ۱۱۰/۴ | ۱۰۴/۸ | ۷۹/۶ | سرپل زهاب |
| ۹۴/۹ | ۵۸/۵ | ۶۰/۸ | ۸۰/۸ | ۱۰۷/۵ | ۱۲۶/۳ | ۱۲۰/۶ | ۱۲۱/۸ | ۱۰۸/۲ | ۱۱۰/۹ | ۱۰۶ | ۸۰/۱ | ۵۷/۳ | اسلام آباد غرب |
| ۱۶۶ | ۹۴/۲ | ۱۱۸/۴ | ۱۵۵/۶ | ۱۷۶/۲ | ۲۲۴/۴ | ۲۴۶/۵ | ۲۶۴/۷ | ۱۷۸/۸ | ۱۶۷/۲ | ۱۶۶/۲ | ۱۳۴/۹ | ۱۱۵/۲ | روانسر |

مدل، نیاز آبی محصول را براساس معادله زیر محاسبه می کند [۱۷، ص ۴۳]:

$$CWR = ETo \times Kc \times \text{مساحت کشت شده} \quad \text{رابطه ۵}$$

Eto(mm/period) تبخیر و تعرق محصول مرجع

Kc میانگین مقدار ضریب محصول برای هر مرحله زمانی

CWR (mm/period) نیاز آبی محصول

یعنی موقعی که مساحت کشت شده به وسیله محصولی خاص کمتر از ۱۰۰٪ باشد، اوج CWR می تواند کمتر از اوج مقدار Eto قرار بگیرد. مقدار Kc به وسیله درونیابی خطی بین

مقدار آن برای هر مرحله از رشد محصول و به وسیله خود مدل انجام می‌گیرد که در این مورد مقدار این ضریب به صورت (مساحت محصول $Kc \times$) محاسبه شده به نحوی که اگر مساحت پوشش داده شده به وسیله محصول به میزان ۵۰ درصد آن باشد، مقدار ضریب محصول، نصف مقدار Kc خواهد بود که برای مدل تعریف شده است.

معادله نیاز آبیاری محصول به صورت زیر ارائه می‌شود [۱۱، ص ۳۲]:

$$Irr = A \sum_{i=1}^{n} (E_{to} \times Kc - P_{eff}) \quad \text{رابطه ۶}$$

که Irr نیاز آبیاری برحسب ($m^3/years$) و برای یک دوره معین بر حسب ($mm/period$) به دست می‌آید؛ A مساحت کشت شده که به صورت درصدی از کل مساحت نشان داده می‌شود؛ Kc (ضریب محصول)، ضریب محصول برای تعیین تبخیر و تعرق واقعی هر محصولی استفاده می‌شود. این مقدار براساس خصوصیات محصول، تاریخ کاشت، رشد محصول، فنولوژی طول فصل رشد و شرایط اقلیمی تغییر می‌کند [۱۶، ص ۱۴۴].

برای یک دوره معین، تعادل اولیه آب محصول به صورت زیر محاسبه می‌شود [۱۷، صص ۶-۸]:

$$IWR = Kc \times E_{To} - P \quad \text{رابطه ۷}$$

که IWR نیاز خالص آبیاری مورد نیاز برای تقاضای آب محصول، Kc ضریبی با نوع محصول و مراحل رشد تغییر می‌کند، E_{To} تبخیر و تعرق (مرجع) پتانسیل که به عوامل آب و هوایی وابسته است و P مقدار بارندگی برای مدت زمان مورد نظر می‌باشد. در جداول نیاز آبی محصول (جدول شماره ۶، ۷ و ۸)، اعداد داخل گیومه [...] میانگین موجودی آب برای محصول مورد نظر در طول دوره رشد می‌باشند که در زیر ستون (FWS) آمده‌اند.

1. FWS(L/S/ha): Fied water supply in Litre per second per Hectar

جدول ۶ برآورد نیاز آبی و آبیاری محصول گندم با استفاده از مدل کروپ وات در ایستگاه سرپل زهاب

| 2007/08/08 | | Cropwat 4 windows Ver 4.2 | | | | | | |
|--|-------------|---------------------------|--|-----------|-------------|--------------|-----------|----------|
| Crop Water Requirements Report | | | | | | | | |
| ***** | | | | | | | | |
| - Crop # 1 | : | winter wheat | (planting November, frost free winter) | | | | | |
| - Block # | : | [All blocks] | | | | | | |
| - Planting date | : | 6/11 | | | | | | |
| - Calculation time step | = | 10 Day(s) | | | | | | |
| - Irrigation Efficiency | = | 70% | | | | | | |
| Date | ETo | Planted Area | Crop Kc | CWR (ETm) | Total Rain | Effect. Rain | Irr. Req. | FWS |
| | (mm/period) | (%) | | | (mm/period) | | | (l/s/ha) |
| 6/11 | 20.63 | 100.00 | 0.30 | 6.19 | 14.90 | 13.82 | 0.00 | 0.00 |
| 16/11 | 16.77 | 100.00 | 0.30 | 5.03 | 20.03 | 18.08 | 0.00 | 0.00 |
| 26/11 | 13.63 | 100.00 | 0.30 | 4.09 | 23.70 | 20.94 | 0.00 | 0.00 |
| 6/12 | 11.29 | 100.00 | 0.33 | 3.75 | 26.14 | 22.75 | 0.00 | 0.00 |
| 16/12 | 9.79 | 100.00 | 0.39 | 3.85 | 27.59 | 23.79 | 0.00 | 0.00 |
| 26/12 | 9.07 | 100.00 | 0.45 | 4.12 | 27.73 | 23.90 | 0.00 | 0.00 |
| 5/1 | 8.97 | 100.00 | 0.52 | 4.63 | 26.07 | 22.72 | 0.00 | 0.00 |
| 15/1 | 9.77 | 100.00 | 0.58 | 5.63 | 24.99 | 21.94 | 0.00 | 0.00 |
| 25/1 | 11.43 | 100.00 | 0.64 | 7.29 | 24.42 | 21.51 | 0.00 | 0.00 |
| 4/2 | 13.94 | 100.00 | 0.70 | 9.74 | 24.45 | 21.53 | 0.00 | 0.00 |
| 14/2 | 17.24 | 100.00 | 0.76 | 13.09 | 24.99 | 21.91 | 0.00 | 0.00 |
| 24/2 | 21.25 | 100.00 | 0.82 | 17.43 | 25.70 | 22.44 | 0.00 | 0.00 |
| 6/3 | 25.83 | 100.00 | 0.88 | 22.75 | 26.12 | 22.76 | 0.00 | 0.00 |
| 16/3 | 30.84 | 100.00 | 0.94 | 29.03 | 25.66 | 22.41 | 6.62 | 0.11 |
| 26/3 | 36.12 | 100.00 | 1.00 | 36.19 | 23.76 | 20.95 | 15.24 | 0.25 |
| 5/4 | 41.50 | 100.00 | 1.06 | 44.10 | 20.01 | 17.97 | 26.13 | 0.43 |
| 15/4 | 46.81 | 100.00 | 1.12 | 52.58 | 14.32 | 13.26 | 39.32 | 0.65 |
| 25/4 | 51.90 | 100.00 | 1.15 | 59.69 | 7.16 | 6.93 | 52.75 | 0.87 |
| 5/5 | 56.60 | 100.00 | 1.15 | 65.09 | 0.30 | 0.30 | 64.80 | 1.07 |
| 15/5 | 60.78 | 100.00 | 1.15 | 69.90 | 0.00 | 0.00 | 69.90 | 1.16 |
| 25/5 | 64.32 | 100.00 | 1.15 | 73.96 | 0.00 | 0.00 | 73.96 | 1.22 |
| 4/6 | 67.10 | 100.00 | 0.99 | 66.03 | 0.00 | 0.00 | 66.03 | 1.09 |
| 14/6 | 69.05 | 100.00 | 0.69 | 47.26 | 0.00 | 0.00 | 47.26 | 0.78 |
| 24/6 | 70.11 | 100.00 | 0.38 | 26.98 | 0.00 | 0.00 | 26.98 | 0.45 |
| Total | 784.72 | | | 678.40 | 408.05 | 359.91 | 488.99 | [0.34] |
| ***** | | | | | | | | |
| * ETo data is distributed using polynomial curve fitting. | | | | | | | | |
| * Rainfall data is distributed using polynomial curve fitting. | | | | | | | | |
| ***** | | | | | | | | |

جدول ۷ برآورد نیاز آبی و آبیاری محصول گندم با استفاده از مدل کرویپ وات در ایستگاه روانسر

| 2007/08/08 | | CropWat 4 Windows Ver 4.2 | | | | | | |
|--|-------------|---------------------------|---------|-----------|-------------|--------------|-----------|----------|
| Crop Water Requirements Report | | | | | | | | |
| ***** | | | | | | | | |
| - Crop # 1 : Winter Wheat (planting November, frost free winter) | | | | | | | | |
| - Block # : [All blocks] | | | | | | | | |
| - Planting date : 23/10 | | | | | | | | |
| - Calculation time step = 10 Day(s) | | | | | | | | |
| - Irrigation Efficiency = 70% | | | | | | | | |
| Date | ETo | Planted Area | Crop Kc | CWR (ETm) | Total Rain | Effect. Rain | Irr. Req. | FWS |
| | (mm/period) | (%) | | | (mm/period) | | | (l/s/ha) |
| 23/10 | 31.50 | 100.00 | 0.30 | 9.45 | 13.46 | 12.53 | 0.00 | 0.00 |
| 2/11 | 25.55 | 100.00 | 0.30 | 7.66 | 18.23 | 16.59 | 0.00 | 0.00 |
| 12/11 | 20.14 | 100.00 | 0.30 | 6.04 | 22.02 | 19.69 | 0.00 | 0.00 |
| 22/11 | 15.45 | 100.00 | 0.33 | 5.13 | 24.69 | 21.76 | 0.00 | 0.00 |
| 2/12 | 11.63 | 100.00 | 0.39 | 4.57 | 26.31 | 22.93 | 0.00 | 0.00 |
| 12/12 | 8.76 | 100.00 | 0.45 | 3.97 | 27.07 | 23.44 | 0.00 | 0.00 |
| 22/12 | 6.92 | 100.00 | 0.52 | 3.56 | 27.25 | 23.53 | 0.00 | 0.00 |
| 1/1 | 5.97 | 100.00 | 0.58 | 3.43 | 26.24 | 22.87 | 0.00 | 0.00 |
| 11/1 | 5.46 | 100.00 | 0.64 | 3.48 | 25.97 | 22.67 | 0.00 | 0.00 |
| 21/1 | 6.01 | 100.00 | 0.70 | 4.20 | 26.07 | 22.75 | 0.00 | 0.00 |
| 31/1 | 7.67 | 100.00 | 0.76 | 5.83 | 26.57 | 23.14 | 0.00 | 0.00 |
| 10/2 | 10.44 | 100.00 | 0.82 | 8.56 | 27.41 | 23.79 | 0.00 | 0.00 |
| 20/2 | 14.23 | 100.00 | 0.88 | 12.54 | 28.38 | 24.55 | 0.00 | 0.00 |
| 2/3 | 18.93 | 100.00 | 0.94 | 17.83 | 29.21 | 25.18 | 0.00 | 0.00 |
| 12/3 | 24.38 | 100.00 | 1.00 | 24.44 | 29.52 | 25.41 | 0.00 | 0.00 |
| 22/3 | 30.41 | 100.00 | 1.06 | 32.32 | 28.94 | 24.94 | 7.38 | 0.12 |
| 1/4 | 36.81 | 100.00 | 1.12 | 41.36 | 27.12 | 23.49 | 17.87 | 0.30 |
| 11/4 | 43.37 | 100.00 | 1.15 | 49.88 | 23.86 | 20.87 | 29.01 | 0.48 |
| 21/4 | 49.90 | 100.00 | 1.15 | 57.38 | 19.18 | 17.09 | 40.29 | 0.67 |
| 1/5 | 56.17 | 100.00 | 1.15 | 64.60 | 13.41 | 12.38 | 52.22 | 0.86 |
| 11/5 | 62.01 | 100.00 | 1.15 | 71.31 | 7.39 | 7.25 | 64.05 | 1.06 |
| 21/5 | 67.22 | 100.00 | 0.99 | 66.09 | 2.55 | 2.55 | 63.55 | 1.05 |
| 31/5 | 71.66 | 100.00 | 0.69 | 48.99 | 0.50 | 0.49 | 48.50 | 0.80 |
| 10/6 | 75.20 | 100.00 | 0.38 | 28.88 | 0.00 | 0.00 | 28.88 | 0.48 |
| Total | 705.77 | | | 581.49 | 501.34 | 439.89 | 351.75 | [0.24] |
| ***** | | | | | | | | |
| * ETo data is distributed using polynomial curve fitting. | | | | | | | | |
| * Rainfall data is distributed using polynomial curve fitting. | | | | | | | | |
| ***** | | | | | | | | |



جدول ۸ برآورد نیاز آبی و آبیاری محصول گندم با استفاده از مدل کروپ وات در ایستگاه اسلام آباد غرب

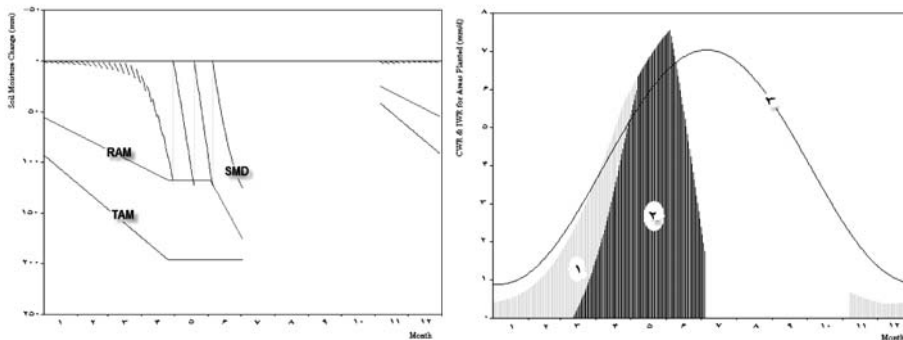
2007/08/08 CropWat 4 Windows Ver 4.2

Crop Water Requirements Report

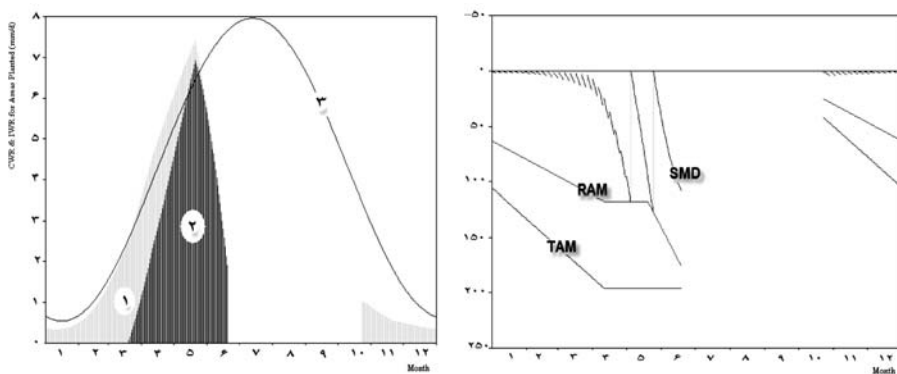
- Crop # 1 : Winter wheat (planting November, frost free winter)
 - Block # : [All blocks]
 - Planting date : 6/11
 - Calculation time step = 10 Day(s)
 - Irrigation Efficiency = 70%

| Date | ETo (mm/period) | Planted Area (%) | Crop Kc | CWR (ETm) | Total Rain (mm/period) | Effect. Rain | Irr. Req. | FWS (l/s/ha) |
|-------|--------------------|------------------------|------------|--------------|------------------------------|-----------------|--------------|-----------------|
| 6/11 | 18.21 | 100.00 | 0.30 | 5.46 | 22.05 | 19.65 | 0.00 | 0.00 |
| 16/11 | 14.37 | 100.00 | 0.30 | 4.31 | 24.49 | 21.67 | 0.00 | 0.00 |
| 26/11 | 11.16 | 100.00 | 0.30 | 3.35 | 25.23 | 22.22 | 0.00 | 0.00 |
| 6/12 | 8.68 | 100.00 | 0.33 | 2.88 | 25.05 | 21.99 | 0.00 | 0.00 |
| 16/12 | 6.97 | 100.00 | 0.39 | 2.74 | 24.71 | 21.64 | 0.00 | 0.00 |
| 26/12 | 6.23 | 100.00 | 0.45 | 2.83 | 24.60 | 21.56 | 0.00 | 0.00 |
| 5/1 | 6.23 | 100.00 | 0.52 | 3.21 | 24.70 | 21.71 | 0.00 | 0.00 |
| 15/1 | 6.70 | 100.00 | 0.58 | 3.86 | 25.14 | 22.06 | 0.00 | 0.00 |
| 25/1 | 7.98 | 100.00 | 0.64 | 5.09 | 25.77 | 22.55 | 0.00 | 0.00 |
| 4/2 | 10.09 | 100.00 | 0.70 | 7.05 | 26.47 | 23.11 | 0.00 | 0.00 |
| 14/2 | 12.96 | 100.00 | 0.76 | 9.85 | 27.09 | 23.59 | 0.00 | 0.00 |
| 24/2 | 16.53 | 100.00 | 0.82 | 13.56 | 27.40 | 23.83 | 0.00 | 0.00 |
| 6/3 | 20.68 | 100.00 | 0.88 | 18.21 | 27.18 | 23.65 | 0.00 | 0.00 |
| 16/3 | 25.27 | 100.00 | 0.94 | 23.79 | 26.21 | 22.86 | 0.93 | 0.02 |
| 26/3 | 30.16 | 100.00 | 1.00 | 30.22 | 24.29 | 21.30 | 8.93 | 0.15 |
| 5/4 | 35.20 | 100.00 | 1.06 | 37.40 | 21.34 | 18.89 | 18.52 | 0.31 |
| 15/4 | 40.22 | 100.00 | 1.12 | 45.17 | 17.40 | 15.64 | 29.54 | 0.49 |
| 25/4 | 45.07 | 100.00 | 1.15 | 51.83 | 12.69 | 11.72 | 40.10 | 0.66 |
| 5/5 | 49.60 | 100.00 | 1.15 | 57.04 | 7.73 | 7.51 | 49.53 | 0.82 |
| 15/5 | 53.68 | 100.00 | 1.15 | 61.73 | 3.34 | 3.34 | 58.39 | 0.97 |
| 25/5 | 57.19 | 100.00 | 1.15 | 65.76 | 0.78 | 0.78 | 64.98 | 1.07 |
| 4/6 | 60.01 | 100.00 | 0.99 | 59.05 | 0.13 | 0.12 | 58.93 | 0.97 |
| 14/6 | 62.08 | 100.00 | 0.69 | 42.48 | 0.00 | 0.00 | 42.48 | 0.70 |
| 24/6 | 63.33 | 100.00 | 0.38 | 24.36 | 0.00 | 0.00 | 24.36 | 0.40 |
| Total | 668.60 | | | 581.27 | 443.79 | 391.39 | 396.70 | [0.27] |

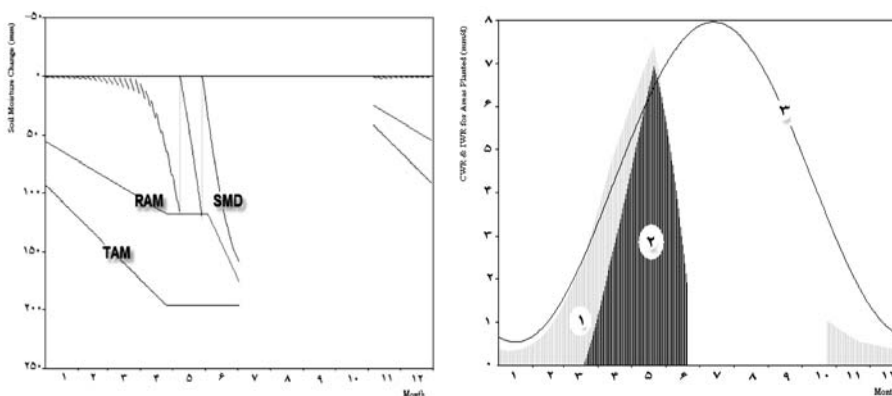
* ETo data is distributed using polynomial curve fitting.
 * Rainfall data is distributed using polynomial curve fitting.



شکل ۸ نمودار نیاز آبی محصول و کمبود رطوبت خاک در ایستگاه سرپل زهاب



شکل ۹ نمودار نیاز آبی محصول و کمبود رطوبت خاک در ایستگاه روانسر



شکل ۱۰ نمودار نیاز آبی محصول و کمبود رطوبت خاک در ایستگاه اسلام آباد غرب

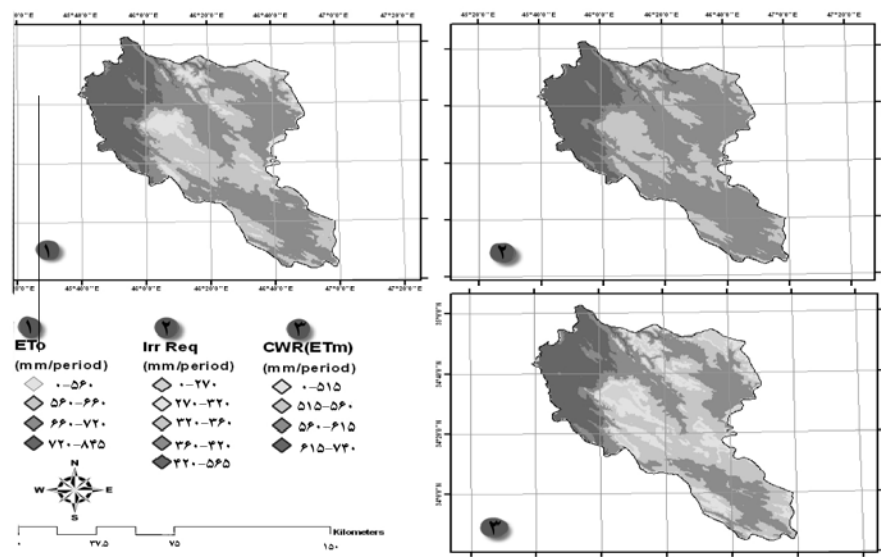


پهنه شماره ۱ (CWR (ETm) نیاز آبی را از زمان کاشت تا موقع برداشت محصول نشان می‌دهد (شکل شماره ۸، ۹ و ۱۰) که بر اساس حداکثر تبخیر و تعرق محصول به دست آمده است، موقعی که ضریب محصول بیشتر از ۱ باشد، این پهنه بالاتر از مقدار تبخیر و تعرق مرجع قرار می‌گیرد، همچنین زمانی که مساحت کشت شده کمتر از ۱۰۰ درصد باشد، مقدار CWR به نسبت کاهش پیدا می‌کند. پهنه شماره ۲ (IWR)، نیاز محصول به آبیاری برای مساحت کشت شده را نشان می‌دهد که برای هرکدام از ایستگاهها تاریخ شروع و خاتمه آن با توجه به نمودار مشخص شده است (محور افقی ماه به صورت میلادی و محور عمودی نیاز آبی برحسب میلیمتر در روز است). اختلاف بین CWR و IWR به وسیله بارندگی مؤثر ایجاد می‌شود. منحنی ۳ تبخیر و تعرق مرجع (معرف) در هرکدام از ایستگاهها برحسب میلیمتر در روز می‌باشد. TAM، کل رطوبت در دسترس محصول بر حسب میلیمتر است که مقدار آن با افزایش عمق ریشه در خلال فصل رشد کاهش پیدا می‌کند. RAM رطوبت سهولت در دسترس برحسب میلیمتر که مقدار آن به وسیله خود مدل تعیین می‌شود. SMD کسری روزانه رطوبت خاک برحسب میلیمتر است که برای اجتناب از استرس بر روی محصول، این کسری نباید پایینتر از رطوبت سهولت در دسترس محصول قرار بگیرد. در این نمودار خطوط آبی تیره کسری رطوبت پیش بینی شده و خطوط آبی کمرنگ، کسری واقعی رطوبت خاک می‌باشند. در جدول شماره ۹ و شکل ۱۱ پارامترهای نیاز آبی و آبیاری و مقدار تبخیر و تعرق محصول گندم در ایستگاههای مورد نظر ارائه شده است.

جدول ۹ وضعیت مهمترین پارامترهای به دست آمده از مدل و رابطه رگرسیونی آنها با ارتفاع ایستگاهها

| پارامتر | اسلام آباد غرب | سرپل زهاب | روانسر | کرمانشاه | (رابطه با ارتفاع ایستگاه = y | R ² |
|--------------------------|-------------------|-----------|--------|----------|------------------------------|----------------|
| Net Irr * (mm/period) | ۲۴۱/۲ | ۳۶۹/۱ | ۲۵۰/۷ | ۱۵۲/۸ | - | - |
| Irr Req (mm/period) | ۳۹۷/۷ | ۴۸۸/۹۹ | ۳۵۱/۷۵ | ۳۶۱/۶۱ | -./۱۴۳۳x + ۵۶۵.۷۶ | ۰/۸۷۸۸ |
| CWR (ETm) (mm/period) | ۵۸۱/۲۷ | ۶۷۸/۴ | ۵۸۱/۴۹ | ۵۸۶/۷۵ | -./۱۱۶۵x + ۷۴۱.۸ | ۰/۹۹۹۶ |
| ETo (mm/period) | ۶۶۸/۶ | ۷۸۴/۷۲ | ۷۰۵/۷۷ | ۷۰۹/۴۷ | -./۱۱۱۹x + ۸۴۶.۶۱ | ۰/۸۸۴۱ |

* این آبیاری برای زمانی است که خاک با کمبود رطوبت، بخصوص پایان مرحله رشد مواجه شده است.



شکل ۱۱ نیاز آبی، آبیاری و میزان تبخیر و تعرق به دست آمده به وسیله مدل کرویپ وات

۴- نتیجه گیری

براساس نتایج به دست آمده، ایستگاه سرپل زهاب به جهت بارش کم و دمای بالا در طول سال و حاکمیت طولانی تر دوره خشکی نسبت به دو ایستگاه دیگر این محدوده از لحاظ نیاز آبی و آبیاری برای محصول گندم ارقام بالاتری را نشان می دهد؛ به طوری که نیاز آبی محصول گندم که براساس حداکثر تبخیر و تعرق محصول به دست آمده در این ایستگاه ۶۷۸/۴ میلیمتر در طول دوره رشد و نیاز آبیاری آن ۴۸۸/۹۹ میلیمتر طی دوره رشد محصول بوده است. این در حالی است که مقدار تبخیر و تعرق طی دوره رشد گندم در این ایستگاه ۷۸۴/۷۲ میلیمتر برآورد شده است.

با توجه به کاهش رطوبت خاک طی سه ماه آخر فصل رشد (فصل بهار) به فاصله هر ۱۵ - ۲۰ روز نیاز به آبیاری و در مجموع سه آبیاری تکمیلی در این موقع از سال مورد نیاز خواهد بود.

مقدار نیاز آبی در ایستگاه روانسر ۵۸۱/۴۹ میلیمتر و نیاز آبیاری محصول ۳۵۱/۷۵

میلیمتر طی دوره رشد محصول گندم بوده است. مقدار تبخیر و تعرق به دست آمده ۷۰۵/۷۷ میلیمتر می باشد که این میزان با توجه به نیازهای محصول گندم (اقلیمی، خاک و آب) و طی فصل رشد این محصول به دست آمده است. با توجه به اینکه ماه دوم از فصل بهار، این ایستگاه با کمبود رطوبت خاک مواجه می شود، بنابراین به دو آبیاری تکمیلی و به فاصله ۲۰ روز نیاز می باشد. نیاز آبی و آبیاری محصول گندم در ایستگاه اسلام آباد غرب بترتیب ۵۸۱/۲۷ و ۳۹۷/۷ میلیمتر و میزان تبخیر و تعرق به دست آمده براساس نیاز اقلیمی، خاک و مقدار نیاز آبی محصول گندم به میزان ۶۶۸/۶ میلیمتر محاسبه شده است. کمبود رطوبت خاک در این ایستگاه در ماه دوم فصل بهار رخ داده و نیاز به دو آبیاری و به فاصله ۲۱ روز می باشد.

با توجه به اینکه مراحل نهایی رشد و رسیدن محصول گندم در این ناحیه منطبق بر شروع فصل خشک سال می باشد، در نتیجه خاک با کمبود رطوبت مواجه شده و ادامه این روند موجب استرس بر محصول و عدم رشد و رسیدن آن می شود، بنابراین با توجه به میزان کسری رطوبت خاک که به وسیله مدل برای هر سه ایستگاه به دست آمده، میزان آبیاری که این کاهش رطوبت را جبران کند (Net Irr) برای اسلام آباد غرب ۲۴۱/۲ میلیمتر، سرپل زهاب ۳۶۹/۱ میلیمتر و برای ایستگاه روانسر ۲۵۰/۷ میلیمتر برآورد شده است.

۵- منابع

- [1] Osamu T., Yoshida k., Hiroaki s., Katsuhiko H., Hajime Tangi H., Estimation of irrigation water using cropwat model at KM35 Project Site, in Savannakhet, LAO, PDR, Role of Water Sciences in Transbounday River Basin Management, Thailand, 2005.
- [2] FAO, CROPWAT; A computer program for irrigation planing and management; FAO Irrigation and Drainage Paper No. 46 Food and Agriculture Organization, Rome. 1992.
- [3] Tayo ,E.; Effects of variable irrigation scheduling on growth parameters of celosia Argenteain humid tropical environment. *Agricultuerral engineerin Internatial* The CIGR Ejournal. Manuscript LW 06 018. Vol. IX. 2007.

- [4] Ildikó N., Burai, p: Takacs p., Tamas j., Field size precision water management based on time series analysis of satellite images. Paper presented at the 9th AGILE Conference on, Visegrad, Hungary, 2006.
- [5] Edward B., Burger N., Eullett D., Hanley B.O., Teekell A.; Measuring and managing agricultural impacts on water resources: A case study of the Pangani Basin; Donald Bren School of Environmental Science and Management, 2004.
- [6] Abror G., Influence of water use on climate change in the Aral sea Basin; Central Asia, Water Resource Engineering and Management (WATEREM), Program Universitat Stuttgrat Germany, 2004.
- [7] Gheorghe S. ., Marica A , Toullos L.; Assimilation of earth observation data in the cropwat model ; Geophysical Research Abstrcts, Vol. 6, 04791., 2004.
- [8] Katiella Mai M. , Moustapha A. Using the Cropwat model to analyse the effects of climate change on rainfed Crops in Niger, 2003.
- [9] Radmila S.; Experience in EU FP6 projects as a challenge for new FP7 projects in the area of agriculture, Faculty of Agriculture, University of Belgrade, 2003.
- [10] Adriana M. R., Application of CROPWAT model to estimate and predict the main components of soil moisture balance based on seasonal climate forecasting., 2003.
- [11] Yarahmadi J.; The integration of satellite images, GIS and CROPWAT model to investigation of water balance in irrigated area; A Case Study of Salmas and Tassooj Plain, Iran. 2003.
- [12] Derek C., Dalton j., Irrigation along the Syr Dara river, Around the World, 1999.

[۱۳] پیرمردیان، ن . کامکار حقیقی ع. ، علیرضا سپاسخواه ع؛ ضریب گیاهی و نیاز آبی
برنج در منطقه کوشک استان فارس؛ علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ش ۳،
۱۳۸۱ .

[۱۴] مجرد ف.، قمرنیا ه. نصیری ش؛ برآورد بارش مؤثر و نیاز آبی برای کشت برنج در جلگه مازندران؛ پژوهشهای جغرافیایی، ش ۵۴، ۱۳۸۴.

[۱۵] نیشابوری، م.، مرادی دالینی ا.، جعفرزاده ع.، صادقی س.؛ ارزیابی روشهای پیشنهادی FAO برای برآورد تبخیر- تعرق گیاه مرجع در منطقه کرکج تبریز؛ دانش کشاورزی، ش ۴، ۱۳۸۴.

[16] Doorenbos J. A. P. P.W; Crop water requirements; Rome, Italy, Food and Agriculture Organization of the United Nation, 1984.

[17] Faures J., et. al; The FAO irrigated area forecast for 2030 , Rome, Italy, FAO: 2002.