

## ارزیابی پیش‌بینی خشکسالی شاخص عملکرد گندم توسط داده‌های سنجش از راه دور در استان اصفهان

محمدباقر بهیار: استادیار، پژوهش‌کننده هواشناسی و علوم جو، تهران، ایران\*  
محمدتقی زمانیان: استادیار، پژوهش‌کننده هواشناسی و علوم جو، تهران، ایران  
اله‌ام پیشداد: کارشناس ارشد اقلیم‌شناسی در برنامه‌ریزی محیطی، پژوهش‌کننده هواشناسی و علوم جو، تهران، ایران

وصول: ۱۳۹۰/۶/۲۵ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۲/۱۲، صص ۵۶-۳۷

### چکیده

به منظور پیش‌بینی خشکسالی در اراضی تحت کشت استان اصفهان، استفاده از مدل توسعه یافته فیزیکی آگروهیدرولوژیکی SWAP برای سال زراعی 1389-1390 مورد اجرا قرار گرفت. داده‌های ورودی مورد نیاز این سامانه شامل داده‌های دیده‌بانی و پیش‌بینی شده کوتاه‌مدت و بلندمدت دماهای حداکثر، حداقل، میانگین، سرعت باد در ارتفاع 2 متری، فشار بخار واقعی آب، باران و تابش به صورت روزانه در طی یک سال، رطوبت نسبی و داده‌های خاکشناسی، نقشه‌های کاربری اراضی و ارتفاع و شاخص‌های گیاهی از تصاویر ماهواره ای است. با شبکه‌ای کردن مجموعه این داده‌ها، خروجی سامانه به صورت نقشه توزیع مکانی پیش‌بینی عملکرد تولید گندم، که به صورت دو نقشه وزن خشک کل و وزن خشک دانه گندم ترسیم شده است، تهیه و نتایج آن با عملکرد واقعی محصول گندم در هشت شهرستان استان اصفهان مقایسه گردید. بررسی نتایج نشان می‌دهد که نسبت مقادیر پیش‌بینی شده عملکرد تولید گندم به مقادیر واقعی در بازه 78/1 تا 88/2 درصد است. براین اساس کاربر می‌تواند در فواصل زمانی مختلف قبل از برداشت با استفاده از مدل SWAP عملکرد تولید محصول گندم را پیش‌بینی نماید.

واژه‌های کلیدی: پیش‌بینی، خشکسالی، شاخص عملکرد گندم، SWAP، سنجش از راه دور، اصفهان

### - مقدمه

اثرات خشکسالی را بر میزان عملکرد تولید پیش‌بینی می‌کند. کشاورزی مهمترین بخشی است که در هنگام وقوع خشکسالی تحت تاثیر قرار می‌گیرد به گونه‌ای که یک خشکی کوتاه‌مدت چنانچه مصادف با مرحله بحرانی رشد گیاه باشد اثرات زیان بخشی بر میزان تولید خواهد داشت. خشکسالی کشاورزی نتیجه

یکی از بهترین شاخص‌های عملکرد گندم در مناطق تحت دیم و آبی، پیش‌بینی خشکسالی کشاورزی است. زیرا این شاخص با ترکیب مدل‌های فیزیکی آگروهیدرولوژیکی با داده‌های هواشناسی و ماهواره‌ای، ماه‌ها قبل از زمان برداشت محصول،

اساس پایش‌های متداعی خشکسالی شناسائی و پهنه‌بندی لازم صورت گیرد. شبیه‌سازی عملکرد تولید محصول و عناصر بیلان آب با توجه به تغییرات مکانی خاک، پارامترهای هواشناسی، تقویم زراعی کشت، منابع آب آبیاری، مولفه‌های فیزیولوژیکی گیاهی همگی می‌توانند در ارزیابی خشکسالی در مقیاس دقیق موثر باشند (دروگرز و همکاران، ۲۰۰۰).

خشکسالی در تعریف مفهومی عبارت است از یک دوره متوالی کمبود بارش همراه با دمای نامناسب جهت زیست گیاه که باعث کاهش عملکرد تولید می‌شود. در تعریف عملی خشکسالی نیز بیلان آبی گیاه همراه با بارش و تبخیر و تعرق روزانه مقایسه و سرعت تخلیه رطوبت خاک و کاهش آب گیاه تعیین می‌گردد (استافورد و همکاران، ۱۹۹۸).

سابقه پژوهش در پایش خشکسالی کشاورزی و ارزیابی تولید به دهه ۱۹۳۰ میلادی بر می‌گردد که بیشترین تحقیقات در ایالات متحده صورت گرفته است (هیم و همکاران، ۲۰۰۰). در این مطالعات مشخص گردید که برای ارزیابی خشکسالی باید نمایه ایی معین تعریف و بر اساس آن وجود یا عدم وجود خشکسالی و درجه شدت آن سنجیده شود. طی دهه‌های گذشته نمایه‌های مختلفی توسط متخصصان ارائه شده است که در اکثر این نمایه‌ها تغییرات محیطی و هواشناختی موثر در کشاورزی همچون حداکثر پارامترهای هیدرولوژیکی، روان

عوامل هواشناختی از جمله کمبود بارندگی، افزایش غیرمنتظره دمای هوا و کمبود رطوبت خاک است که در نهایت این عوامل سبب کاهش میزان عملکرد تولید محصول می‌گردد (هیم و همکاران، ۲۰۰۰). بر اساس گزارش موسسه بین‌المللی مدیریت آب (IWMI) تاثیرات منفی خشکسالی در ایران شامل افت سطح آب ۳۶ رودخانه اصلی به طور متوسط به میزان ۴۵٪، تلفات گندم به میزان بیش از ۲/۸ میلیون تن، تلفات دام به میزان بیش از ۸۰۰ هزار راس ناشی از کمبود علوفه و آب، خشک شدن بیش از ۸/۴ میلیون هکتار از باغ‌ها، تهدید بیش از ۹/۶ میلیون هکتار از اراضی جنگلی و در نتیجه تحت تاثیر قرار دادن بیش از ۶۰ درصد جمعیت روستایی بوده است (عبدولایوف و همکاران، ۲۰۰۴). همچنین به دلیل اینکه درصد زیادی از انرژی و پروتئین مورد نیاز جمعیت ایران از محصولات استراتژیک مانند گندم، جو تامین می‌شود، وجود خشکسالی‌ها امنیت غذایی را با مشکل مواجه ساخته است (بوچانان، ۲۰۰۴). این موضوع و حساسیت بخش کشاورزی به خشکسالی ایجاب می‌کند که به تحقیقات کاربردی در زمینه پایش و پیش‌بینی خشکسالی کشاورزی توجه خاصی مبذول گردد. در این راستا نیاز است که درجه حساسیت مناطق مختلف به خشکسالی، کشت و یا عدم کشت برخی محصولات و یا تغییر الگوی کشت و نیز برنامه ریزی زراعی در مناطق مختلف بر

مدل‌های فیزیکی آگروهیدرولوژیکی مانند مدل WOFOST و SWAP و مدل‌های تجربی مانند VSM توسعه پیدا کرده و فرایندهای رشد گیاه و توازن آب در خاک را بخوبی شبیه‌سازی می‌نماید. در این راستا ترکیب این مدل‌ها همراه با فن سنجش از راه دور برای شبیه‌سازی منطقه‌ای عملکرد تولید محصول و اجزای بیلان آب بسیار مورد توجه محققان قرار گرفته است (دروگرز و همکاران، 2000؛ ون دام و همکاران، 2006؛ چن و همکاران، 2005؛ سین و همکاران، 2006؛ وظیفه‌دوست و همکاران، 2007؛ نوری و همکاران، 2011). با توجه به مطالب فوق‌استفاده از مدل فیزیکی آگروهیدرولوژی SWAP به نظر روشی مناسب جهت ارزیابی پیش‌بینی خشکسالی در منطقه است. هدف از این پژوهش توسعه سامانه ارزیابی پیش‌بینی خشکسالی توسط مدل آگروهیدرولوژیکی SWAP بر اساس شاخص عملکرد تولید گندم در اراضی تحت کشت دیم و آبی استان اصفهان با مساحتی حدود 340850 هکتار است که در نهایت با شبکه‌ای کردن مجموعه داده‌ها شاخص سطح برگ وزن خشک محصول به صورت شبکه‌ای تولید می‌گردد.

#### روش شناسی تحقیق

داده‌های ورودی مورد نیاز در این سامانه شامل موارد زیر است:

**داده‌های هواشناسی:** این داده‌ها از دو بخش، یکی داده‌های دیده‌بانی استخراج شده از ایستگاه‌های

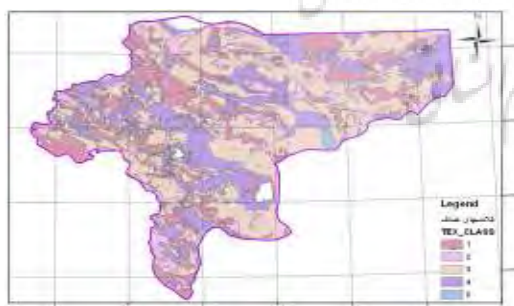
آبها، عناصر هواشناسی مانند دما و بارش، بررسی معیارهای رشد گیاه، تحلیل رطوبت خاک و سایر عوامل موثر در نظر گرفته شده است که بعضاً بصورت مستقیم و یا با استفاده از روش‌های سنجش از راه دور توصیه شده اند (استفورد اسمیت و همکاران، 1998). مسئله دیگر در بررسی خشکسالی این است که نمایه‌های خشکسالی لزوماً با یکدیگر رابطه خطی ندارند و ممکن است زمانی یک نمایه در یک منطقه بیانگر خشکسالی و نمایه ای دیگر عدم وجود خشکسالی را در همان زمان و مکان نشان دهد (هیم و همکاران، 2000).

در پژوهش‌های انجام شده در کشورهای مختلف شاخص‌های خشکسالی هواشناسی مانند  $SPI^1$  برای کمی کردن کمبود بارش و شاخص‌های خشکسالی هیدرولوژیکی مانند  $SWI^2$  برای ارزیابی کمبود تغذیه آب زیرزمینی به طور گسترده مورد استفاده قرار گرفته‌اند (میکا و همکاران، 2005). شبیه‌سازی رشد گیاهانی که در معرض خشکسالی هستند و همچنین شبیه‌سازی عناصر بیلان آب در یک منطقه روش دیگری برای ارزیابی خشکسالی است. تلفیق پارامترهای هواشناسی و داده‌های آب و خاک و عوامل گیاهی با استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی آب و خاک و رشد گیاه این امکان را فراهم می‌سازد که بتوان از آن بعنوان یکی از ابزارهای موثر در پیش‌بینی خشکسالی و تولید استفاده کرد. در چند دهه گذشته

<sup>1</sup>Standard Precipitation Index

<sup>2</sup>Standard Water-Level Index

در شکل (1) نشان داده شده است. در جدول (1) نیز دسته‌بندی خاک و بافت‌های متعلق به هر طبقه براساس طبقه‌بندی سازمان کشاورزی آمریکا<sup>۵</sup> (USDA) نشان داده شده و با استفاده از بانک اطلاعات خاک بین‌المللی Hyprss ویژگی‌های فیزیکی و هیدرولیکی بافت‌های متعلق به هر طبقه خاک استخراج گردید و سپس متوسط مقادیر متناظر برای بافت خاک‌های هر طبقه، به عنوان مقادیر ویژگی‌های خاک آن طبقه لحاظ (وستن و همکاران، 1998) و به عنوان ورودی در سامانه استفاده گردید. مقادیر پارامترهای فیزیکی و هیدرولیکی مربوط به پنج طبقه خاک برای دو لایه بالایی (0-30) و زیرین (200-30) سانتی متر در جدول (2) ارائه شده است. در این جدول  $\theta$  رطوبت باقیمانده و  $\theta_s$  رطوبت اشباع خاک،  $k_{sat}$  ضریب هدایت هیدرولیکی خاک،  $\alpha$ ،  $I$  و  $n$  ضرایب هیدرولیکی خاک در معادلات هیدرولیکی یعنی معادله رطوبت- مکش ( $h-\theta$ ) و معادله رطوبت- ضریب هدایت هیدرولیکی ( $k-\theta$ ) هستند.



شکل ۱- طبقه‌بندی تیپ بافت خاک استان اصفهان

همدیدی استان اصفهان به صورت روزانه و آنلاین از FTP دریافت گردید که شامل داده‌های رطوبت نسبی (به دلیل نبود داده فشار بخار هوا FTP از این داده‌ها استفاده شده) و داده‌های تابش (استخراج شده از داده‌های تحلیل شده توسط بخش علوم فیزیکی<sup>۱</sup> (PSD) آزمایشگاه پژوهش سیستم زمین<sup>۲</sup> (ESRL) در سازمان ملی علو جو و اقیانوس آمریکا<sup>۳</sup> (NOAA) است. بخش دوم شامل داده‌های پیش‌بینی شده کوتاه و بلندمدت دمای حداکثر، حداقل و میانگین روزانه، تندی باد در 2 متری، فشار بخار واقعی آب، تابش و بارش روزانه در طی یک سال است. در واقع این مقادیر مربوط به بازه زمانی حداقل زمان اجرای سامانه توسط کاربر (زمان پیش‌بینی) و پایان فصل زراعی (زمان برداشت محصول) است که از داده‌های پیش‌بینی فصلی یک‌ماهه بارش و دمای مرکز ملی اقلیم‌شناسی و داده‌های پیش‌بینی کوتاه‌مدت سیستم مدل سازی WRF که یک سیستم شبیه‌سازی عددی پارامترهای هواشناسی است استخراج گردید. داده‌های خاکشناسی: شامل خصوصیات فیزیکی، شیمیایی (لایه‌بندی، دانه‌بندی، وزن مخصوص ظاهری، ماده آلی) و هیدرولیکی خاک (منحنی رطوبتی، هدایت هیدرولیکی خاک...) است. نقشه خاک دریافت شده از موسسه تحقیقات خاک و آب به صورت نمونه‌ای از داده‌های نوع بافت خاک<sup>۴</sup> (SST) برای استان اصفهان

1Physical Sciences Division

2Earth System Research Laboratory

3National Oceanic and Atmospheric Administration

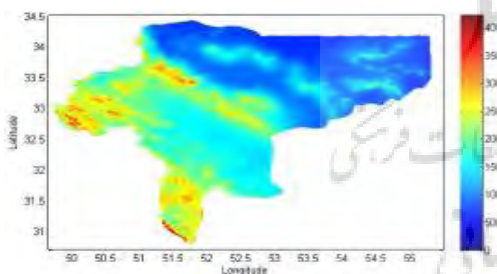
4Soil Texture Type

جدول ۱- طبقه‌بندی خاک بر اساس نوع بافت (USDA) (وستن و همکاران، 1998)

طبقه بندی خاک	خیلی سبک	سبک	متوسط	سنگین	خیلی سنگین
بافت خاک بر اساس USDA	شن	لومی شن- شنی لوم	لوم- سیلت لوم- سیلت	شنی رسی لوم- سیلتی رسی لوم- رسی لوم	شنی رسی- سیلتی رسی- رسی

جدول ۲- مقادیر پارامترهای فیزیکی و هیدرولیکی خاک (وستن و همکاران، 1998)

کد	۱	۲	۳	۴	۵
طبقه بافت	خیلی سبک	سبک	متوسط	سنگین	خیلی سنگین
لایه سطحی	thetaR	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰
	thetaS	۰/۴۰۳	۰/۴۳۹	۰/۴۳۰	۰/۵۲۰
	ksat	۶۰/۰۰	۱۲/۰۶۱	۲/۲۷۲	۲۴/۸۰
	Alpha	۰/۰۳۸۳	۰/۰۳۱۴	۰/۰۰۸۳	۰/۰۳۶۷
	I	۱/۲۵۰	-۲/۳۴۲۱	-۰/۵۸۸۴	-۱/۹۷۷۲
	N	۱/۳۷۷۴	۱/۱۸۰۴	۱/۲۵۳۹	۱/۱۰۱۲
لایه زیرین	thetaR	۰/۰۲۵	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰
	thetaS	۰/۳۶۶	۰/۳۹۲	۰/۴۱۲	۰/۴۸۱
	ksat	۷۰/۰۰	۱۰/۷۵۵	۴/۰۰	۸/۵۰
	Alpha	۰/۰۴۳۰	۰/۰۲۴۹	۰/۰۰۸۲	۰/۰۱۹۸
	I	۱/۲۵۰	-۲/۳۴۲۱	۰/۵۰	-۳/۷۱۲۴
	N	۱/۵۲۰۶	۱/۱۶۸۹	۱/۲۱۷۹	۱/۰۸۶۱



شکل ۲- نقشه عددی ارتفاع بر حسب متر در پهنه

استان اصفهان

- نقشه کاربری اراضی: نقشه کاربری اراضی تحت کشت دیم و آبی مورد استفاده توسط وزارت جهاد کشاورزی در محیط GIS تهیه شده است که کاربری اراضی را از سال 1384-1386 را ارائه می‌کند.

- نقشه عددی ارتفاع: مدل ارتفاع رقومی (DEM) نقشه رقومی ارتفاع است که سطوح زمین را به صورت پهنه‌های عددی در نظر گرفته و ارتفاع هر سلول در خود سلول ذخیره می‌شود. برای این منظور در این پژوهش از داده‌های عددی ارتفاع رادار شاتل توپوگرافیک ناسا (SRTM) استفاده شد. این داده‌ها برای تمامی کشورها در دو فرمت Geo TIF و ArcInfo ASCII و با سیستم WGS84 قابل دریافت است. در شکل (2) نقشه عددی ارتفاع برای پهنه استان اصفهان نشان داده شده است.

استفاده گردید. خصوصیات مکانی و طیفی تصاویر مورد استفاده در جدول (3) ارائه گردیده است و شامل موارد زیر است:

- تصاویر ماهواره‌ای شاخص‌های گیاهی: تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در این پژوهش از داده باندهای 1 و 2 سنجنده MODIS ماهواره Terra در برآورد نقشه شاخص‌های گیاهی

جدول ۳- خصوصیات مکانی و طیفی داده‌های ماهواره‌ای سنجنده MODIS مورد استفاده

ماهواره	سنجنده	دقت مکانی (متر)	دقت زمانی (روز)	سطح تولیدات	باند	سال
Terra	MODIS	۲۵۰	۸	Mod09Q1	۱ و ۲	۲۰۱۱

- شاخص سطح برگ<sup>۳</sup> (SAVI): این شاخص مقدار کل ماده خشک را توصیف و نشان دهنده عملکرد محصول، ایستادگی گیاه و شارگرما است. نسبت سطح کل برگ‌های یک گیاه به کل مساحت زمینی که گیاه اشغال کرده است با استفاده از یک تابع نمایی به شکل زیر محاسبه می‌گردد (چادهوری و همکاران، 1994).

$$LAI = - \frac{\ln \left( \frac{C_2 - SAVI}{C_2} \right)}{C_3} \quad (3)$$

C1 و C2 و C3 ضرایب ثابتی هستند که مقدارشان بستگی به نوع محصول دارد. بطور کلی برای تمام محصولات به ترتیب برابر 0/69، 0/59 و 0/91 در نظر گرفته می‌شود.

نرم افزارهای مورد استفاده در این سامانه شامل: محیط برنامه‌نویسی MATLAB: از این نرم افزار برای کدنویسی موارد خاص مورد نیاز در این سامانه شامل فراخوانی داده‌های ورودی سامانه، انجام برخی پردازش‌ها بر آنها از جمله پهنه‌بندی مکانی، آماده و به روز کردن فایل‌های ورودی مدل شبیه سازی (SWAP)، جفت کردن داده‌ها با این مدل و فراخوانی

- شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده<sup>۱</sup> (NDVI): NDVI یک شاخص حساس به شرایط پوشش سبز گیاهی است. این شاخص بطور وسیعی به منظور تخمین شاخص سطح برگ مورد استفاده قرار می‌گیرد و از طریق نسبت تبدیل نرمال شده بازتاب از باند مادون قرمز و باند قرمز حاصل می‌گردد. مقادیر این شاخص بین 1- و 1+ قرار می‌گیرد. مقدار NDVI برای سطوح سبز بین 0 و 1 و برای آب و ابر معمولاً مقداری کمتر از صفر دارد. مقدار بالای این شاخص نشان دهنده افزایش تراکم پوشش گیاهی است که از رابطه زیر قابل محاسبه است.

$$NDVI = (\rho_{NIR} - \rho_{Red}) / (\rho_{NIR} + \rho_{Red}) \quad (1)$$

$\rho_{NIR}$ : مقدار بازتابش از باند مادون قرمز  $\rho_{Red}$ :

مقدار بازتاب از باند قرمز

شاخص تعدیل کننده اثر خاک<sup>۲</sup> (SAVI): شاخصی است که اثر خاک را از NDVI کم می‌کند تا تاثیر رطوبت خاک در شاخص کاهش یابد. این شاخص از رابطه زیر محاسبه می‌شود (هوته، 1988).

$$SAVI = (1+L) (\rho_{NIR} - \rho_{Red}) / (L + \rho_{NIR} + \rho_{Red}) \quad (2)$$

L: یک ثابت است که برابر 0/1 تا 0/5 در نظر

گرفته شده است.

1 Normalized Difference Vegetation Index

2 Soil adjusted vegetation index

3 Leaf Area Index

برنامه‌هایی که در این سامانه توسعه داده شده است، دریافت گردیدند. در هر بار اجرای سامانه توسط کاربر، مجموعه داده‌های مذکور، در چهار مسیر موازی دانلود و استخراج شده و بدین ترتیب سامانه به‌روز - گردید.

۲- پردازش داده‌ها: شامل مراحل زیر است.

- منطقه‌ای کردن داده‌های نقطه‌ای پارامترهای هواشناسی:

- دما: که برای تخمین مقادیر آن از رابطه بین ارتفاع هر ایستگاه و دمای اندازه‌گیری شده آن استفاده گردید. بدین منظور برای تعمیم داده‌های دمای نقطه‌ای به داده‌های پهنا ای، از نقشه رقومی ارتفاعی (DEM) استفاده گردید. با استفاده از رگرسیون خطی بهترین خط گذرنده داده‌های دمای هر ایستگاه و ارتفاع ایستگاه در نرم افزار Matlab مشخص و سپس با جایگزین کردن مقادیر نقشه DEM در مقادیر ارتفاعی پارامترهای دما را به کل منطقه تعمیم و نقشه دمای منطقه تهیه گردید.

- فشار بخار آب: به دلیل نبود پارامتر فشار بخار آب از پارامتر رطوبت نسبی استفاده گردید. بنابراین ابتدا با استفاده از روابط (4)، (5) و (6) بر اساس پارامترهای رطوبت نسبی، دمای حداکثر و حداقل فشار بخار آب محاسبه گردید (آلن و همکاران، 1998).

(4)

$$e_{a\_T\min} = 0.611 \exp((17.27 * T\min) / (T\min + 237.3))$$

(5)

$$e_{a\_T\max} = 0.611 \exp((17.27 * T\max) / (T\max + 237.3))$$

(6)

$$e_d = (Hu / ((50 / e_{a\_T\min}) + (50 / e_{a\_T\max})))$$

$e_{a\_T\min}$ : فشار بخار آب به ازاء دمای حداقل،

$e_{a\_T\max}$ : فشار بخار آب به ازاء دمای

اجرای مدل، نمایش خروجی سامانه استفاده شده است.

- نرم‌افزار ArcINFO: برای ویرایش نقشه برخی داده‌ها مانند داده‌های خاک، داده‌های زراعی، کاربری اراضی، تبدیل آنها از فرم برداری به رستری و طراحی پایگاه داده و مدیریت داده‌ها از این نرم‌افزار استفاده گردید.

### - یافته‌های تحقیق

- ساختار سامانه ارزیابی پیش‌بینی خشکسالی کشاورزی

در سامانه ارزیابی پیش‌بینی خشکسالی کشاورزی، منطقه مورد مطالعه به شبکه مکانی با ابعاد 500-500 متر تفکیک شده است. مدل برای هر واحد شبکه و برای هر سال زراعی اجرا می‌شود. در واقع هر سال زراعی در دو سال (هجری یا میلادی) واقع و سال (هجری یا میلادی) مورد نظر برای پیش‌بینی توسط کاربر به مدل داده می‌شود. بنابراین بازه زمانی اجرای مدل به دو بخش بازه (1) شامل تاریخ کاشت محصول تا زمان اجرای مدل و بازه (2) از زمان اجرای مدل توسط کاربر تا زمان برداشت محصول لحاظ گردیده است که بازه پیش‌بینی مدل است.

مراحل عملیات انجام شده در این سامانه شامل مراحل زیر است:

۱- دانلود خودکار داده و به‌روز رسانی سامانه: داده‌های هواشناسی دیده‌بانی اندازه‌گیری شده و داده‌های تابش خورشید که مربوط به بازه زمانی (1) هستند، داده‌های پیش‌بینی مدل WRF که مربوط به پنج روز ابتدایی بازه زمانی (2) است و تصاویر MODIS به منظور استخراج شاخص‌های گیاهی، از طریق FTTPهای مربوطه به صورت خودکار توسط

- کمی کردن داده‌های توصیفی پیش‌بینی فصلی پارامترهای هواشناسی:

برای این کار از داده‌های آماری موجود در ایستگاه-های سینوپتیک و تحلیل آماری آنها استفاده گردید. در این تحلیل چهار عبارت آماری تغییرات سالانه بلندمدت، میانگین بلندمدت، میانگین متحرک سه ساله و میانگین متحرک پنج ساله مبنای تعیین سال نرمال قرار داده شد. سال نرمال سالی در نظر گرفته می‌شود که حداقل مجموع فاصله را با میانگین بلندمدت، میانگین متحرک ۳ ساله و ۵ ساله داشته باشد. پس از تعیین میانگین بلندمدت، سال حداقل و سال حداکثر آماری، گروه سالهای آماری متعلق به هر کلاس پیش‌بینی تعیین گردیدند. 50 درصد اول و دوم حدفاصل بین میانگین بلندمدت و سال حداقل آماری به ترتیب به عنوان کلاس پیش‌آگاهی "نرمال تا کمتر از نرمال" و "کمتر از نرمال" در نظر گرفته شد. همچنین 50 درصد اول و دوم حدفاصل بین میانگین بلندمدت و سال حداکثر آماری به ترتیب به عنوان کلاس پیش‌آگاهی "نرمال تا بیشتر از نرمال" و "بیشتر از نرمال" در نظر گرفته شد. نقشه‌های پیش‌آگاهی فصلی مرکز اقلیم شناسی تنها شامل دو پارامتر دما و بارش است. لذا پیش‌آگاهی مربوط به پارامتر دما معیار پیش‌آگاهی پارامترهای دیگر هواشناسی مورد استفاده در سامانه یعنی رطوبت نسبی، تابش و تندی باد نیز قرار داده شد. پس از کمی کردن پیش‌آگاهی فصلی پارامترهای هواشناسی، منطقه‌ای کردن آنها به مانند پارامترهای هواشناسی دیده‌بانی صورت گرفته که در شکل (3) ارائه شده است.

حداکثر،  $T \min$ : دمای حداقل،  $T \max$ : دمای حداکثر،  $Hu$ : رطوبت نسبی،  $e_d$ : فشار بخار آب است. پارامترهای فشار بخار آب در گستره‌های محدود مثلاً در سطح یک استان یا یک آبریز کوچک، عموماً تابع ارتفاع هستند. بنابراین، با استفاده از معادله (8) فشار بخار آب را به ارتفاع مربوط ساخته و سپس از ترکیب معادلات استخراج شده و نقشه ارتفاعی، داده‌های نقطه‌ای فشار بخار آب به داده‌های شبکه‌ای تبدیل گردید.

$$f_z = f_0 \cdot e^{-kz} \quad (7)$$

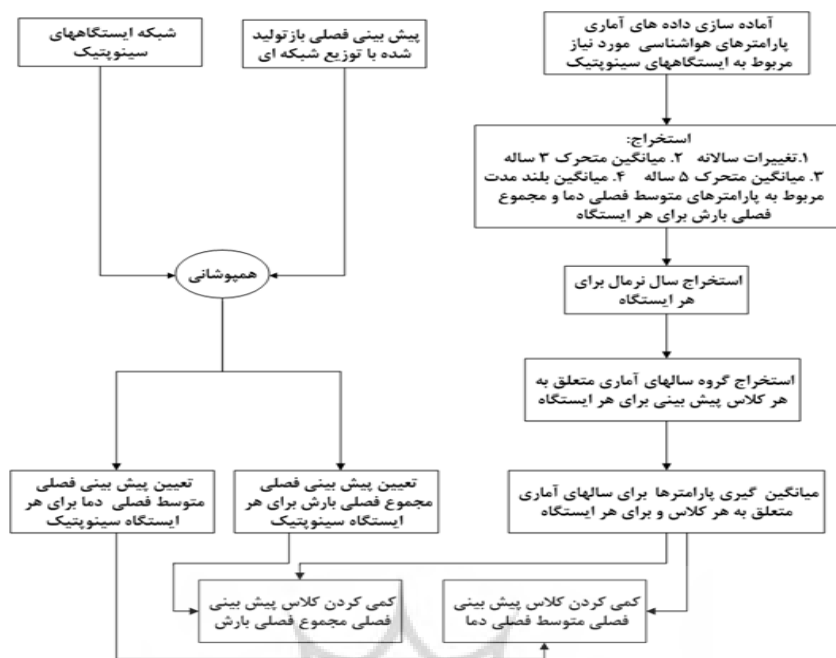
$$\ln f_z = \ln f_0 - kz = a + bZ \quad (8)$$

به مانند پارامتر دما، با استفاده از دستور ployval و ورود داده‌های نقشه DEM به معادله مذکور، پارامتر فشار بخار آب به کل منطقه تعمیم داده شد و توزیع فشار بخار آب منطقه تهیه گردید.

3- بارش: در این سامانه به منظور پهنه‌بندی داده‌های بارش از روش درون یابی Kriging معمولی (رنگزن و همکاران، 1384) استفاده گردید. در این روش تعداد نقاط (ایستگاهها)، طول و عرض جغرافیایی آنها و مقادیر بارش مربوط به آنها به عنوان ورودی لحاظ و پهنه‌بندی داده‌های بارش تولید گردید.

4 - تندی باد: پهنه‌بندی داده تندی باد در سامانه با روش پلیگون‌بندی انجام گرفت. بر اساس موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های همدید، توزیع پلیگونی تندی باد انجام و سپس به توزیع شبکه‌ای تبدیل گردید که در این توزیع، هر واحد دارای یک کد مربوط به یک ایستگاه با مشخصات معین است.





شکل 3- فلوچارت کمی کردن داده‌های پیش‌بینی فصلی و منطقه‌ای کردن آنها

رادینانس و بازتابش را محاسبه کرد. این مقادیر بصورت اعداد صحیح و به فرمت HDF ذخیره می‌گردند. مقادیر بازتابش و رادینانس پس از استخراج ضرایب scale و offset در هر بانداز معادله (10 و 11) محاسبه می‌گردند (MCST, 2002).

(10)

$$\alpha \text{ [dimensionless]} = \text{scales (SI - offsets)}$$

(11)

$$L_s \text{ [Wm}^{-2} \text{ um}^{-1} \text{ sr}^{-1}] = \text{scales (SI - offsets)}$$

پس از تبدیل مقادیر SI به رادینانس، مقدار قابلیت انعکاس برای هر باند ( $\rho_{\lambda}$ ) محاسبه شد. این مقدار به عنوان نسبت شار تابشی بازتاب شده به شار تابشی ورودی در هر طول موج برای یک سطح تعریف و از طریق فرمول زیر محاسبه می‌شود.

$$\rho_{\lambda} = \frac{\pi L_{\lambda}}{ESUN_{\lambda} \cos \theta_d} \quad (12)$$

$ESUN_{\lambda}$ : میانگین تابش ورودی خورشید در بالای اتمسفر برای هر باند ( $\mu\text{m}$  /  $\text{m}^2$  /  $\text{W}$ )،  $\cos \theta$

- پردازش تصاویر ماهواره‌ای تابش خورشید: داده‌های تابش از طریق FTTP دریافت و مقادیر داده‌ها پس از استخراج ضرایب scale و offset از معادله (9) محاسبه گردید.

$$solarradiation = (\text{scale\_factor} \times SI) + \text{offset} \quad (9)$$

- پردازش تصاویر ماهواره‌ای و استخراج نقشه شاخص‌های گیاهی:

تصاویر مادیس که درصد ابرناکی آنها صفر و یا نزدیک صفر بود از آرشیو EOS Data Gateway تهیه و از طریق FTTP دریافت گردیدند. پس از استخراج داده‌ها ابتدا عملیات تبدیل فرمت از HDF به فرمت tiff، اصلاحات ژئومتری، ژئوکد کردن بر روی تصاویر دریافتی و در نهایت محاسبه شاخص سطح برگ با استفاده از الگوریتمی که در MATLAB توسعه داده شد بصورت کاملاً خودکار انجام شد. علائم دیجیتالی اندازه‌گیری شده بوسیله مادیس بصورت (SI) ذخیره می‌شوند. از این علائم می‌توان

عملیات تغییر سایز (Resampling) در سامانه انجام و لایه داده‌ها با ابعاد 905-1409 و قدرت تفکیک مکانی 500 متر تولید می‌گردد.

- استخراج واحدهای محاسباتی: در این مرحله از ترکیب و همپوشانی لایه‌های داده‌های منطقه‌ای شده هواشناسی، خاک، زراعی، شاخص‌های گیاهی، کاربری اراضی با یکدیگر واحدهای محاسباتی در سامانه استخراج می‌گردند در شکل (4) نحوه استخراج واحدهای در سامانه نشان داده شده است.

کوسینوس زاویه تابش خورشیدی و  $dr$  عکس مجذور فاصله نسبی زمین تا خورشید است و محدوده آن بین 0/97 تا 1/03 و بدون بعد است.

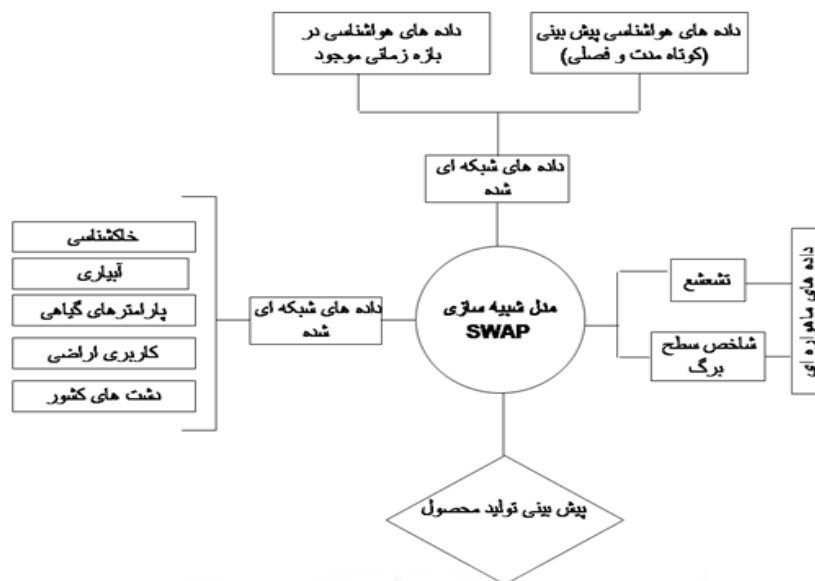
- یکسان نمودن قدرت تفکیک مکانی نقشه‌های تولید شده: در این مرحله لازم است تمامی نقشه‌ها و لایه داده‌های در بخشهای مختلف سامانه، با تغییر اندازه پیکسل‌ها به سایز 500 متر تبدیل شوند. با کد نوشته شده در نرم افزار MATLAB و فراخوانی نقشه و لایه داده‌ها،



شکل 4- استخراج واحدهای محاسباتی همگون

عملکرد تولید گندم با واحدهای محاسباتی جفت می‌شود. در شکل (5) بخش‌های مختلف سامانه پیش‌بینی خشکسالی کشاورزی ارائه شده است.

۴- مدل‌سازی و شبیه‌سازی اجزای بیلان آب و رشد محصول: پس از پردازش داده‌ها، با استفاده از کدهای برنامه‌نویسی شده، مدل SWAP به منظور شبیه‌سازی



شکل 5- بخش‌های مختلف سامانه پیش‌بینی خشکسالی کشاورزی SWAP

ترتیب ذیل برای کمی کردن رابطه بین پارامترهای هیدرولیکی خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد.

(14)

$$\theta(h) = \theta_{res} + \frac{\theta_{sat} - \theta_{res}}{[1 + |\alpha h|^n]^{\frac{n-1}{n}}}$$

(15)

$$K(\theta) = K_{sat} S_e^\lambda \left[ 1 - (1 - S_e^{n/n-1})^{\frac{n-1}{n}} \right]^2$$

شرایط مرزی در سطح خاک در مدل شامل مولفه‌های تبخیر و تعرق مرجع ( $ET_{ref}$ )، آبیاری (I) و باران (P) است. تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از داده‌های هواشناسی روزانه و بر اساس روش استاندارد فائو پنمن مانیتث (آلن و همکاران، 1998) محاسبه می‌شود. همچنین مدل به طور مستقیم قابلیت پذیرش مقادیر  $ET_{ref}$  محاسبه شده به روشهای تجربی و محلی را دارد.

(16)

$$ET_{ref} = \frac{\frac{\Delta_v}{\lambda_w} (R_n - G) + \frac{p_1 \rho_{air} C_{air}}{\lambda_w} \frac{e_{sat} - e_a}{r_{air}}}{\Delta_v + \gamma_{air} \left( 1 + \frac{r_{crop}}{r_{air}} \right)}$$

SWAP مدل آگروهیدرولوژیکی است که بر اساس قوانین فیزیکی حاکم بر فرایندهای هیدرولوژیکی و شیمیایی موجود در زنجیره پیوسته آب، خاک، گیاه و اتمسفر توسعه یافته است (ون‌دام و همکاران، 2000). این مدل جریان عمودی حرکت آب و نمک در خاک را به همراه رشد گیاه شبیه‌سازی می‌کند. حرکت ناپایدار آب در خاک بر اساس معادله ریچاردز

$$C_v(h) \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[ k(h) \left( \frac{\partial h}{\partial z} + 1 \right) \right] - S(z)$$

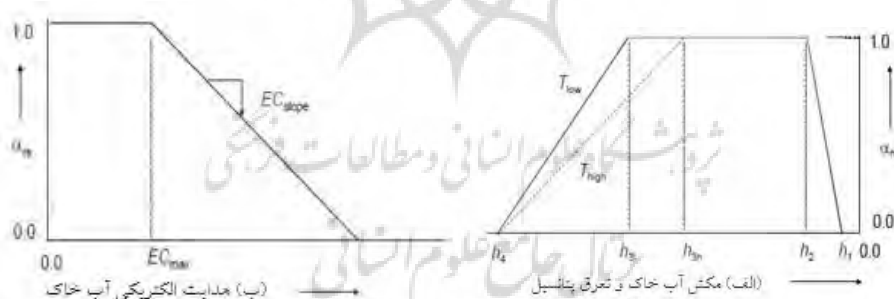
(مولفه جذب آب توسط ریشه) محاسبه می‌گردد:

(13)

معادله فوق بر اساس شرایط اولیه رطوبتی خاک، شرایط مرزی در سطح خاک، شرایط مرزی پایین و روابط حاکم بین پارامترهای هیدرولیکی خاک شامل رطوبت، مکش و هدایت هیدرولیکی انجام می‌شود. برای این اساس روابط پیشنهادی توسط ونگنوختن (1980) (رابطه 14) و معلم (1976) (رابطه 15) به

شوری و یا غرقابی تعرق واقعی ( $T_a$ ) کمتر از  $T_p$  است.  $T_a$  به صورت معادل با جذب آب توسط ریشه، تابع عمق و توزیع ریشه و مکش آب خاک است.  $T_a$  در شرایط تنش خشکی بر اساس ضریب کاهش جذب آب ریشه  $\alpha_{rw}$  پیشنهادی توسط فدس و همکاران (1978) به صورت تابعی از مکش آب خاک و  $T_p$  محاسبه می‌گردد و در شرایط تنش شوری، کاهش عملکرد محصول با هدایت الکتریکی آب خاک رابطه خطی می‌تواند داشته باشد (ماس وهافمن، 1977). با فرض رابطه یک به یک بین عملکرد نسبی ( $Y/Y_p$ ) و تعرق نسبی گیاه ( $T/T_p$ )، ضریب کاهش جذب آب ریشه  $\alpha_{rs}$  به صورت تابعی از هدایت الکتریکی آب خاک توسط ماس وهافمن پیشنهاد گردید. رابطه مربوط به ضرایب کاهش جذب آب ریشه در شکل (6) نشان داده شده است.

مقدار تبخیر از سطح خاک ( $E$ ) تحت شرایط رطوبتی اپتیمم خاک تابعی از نیاز اتمسفری و معادل با تبخیر پتانسیل ( $E_p$ ) لحاظ می‌گردد. در شرایط رطوبتی غیر اپتیمم،  $E$  توسط مولفه حداکثر جریان آب در خاک سطحی ( $E_{max}$ ) که با استفاده از معادله دارسی و بر اساس توابع هیدرولیکی مربوط به لایه سطحی خاک محاسبه می‌شود کنترل می‌گردد. به دلیل اثرات ناشی از تشکیل پوسته در سطح خاک، توسعه ریشه، باران و عملیات مکانیکی اعمال شده بر لایه سطحی خاک در مراحل مختلف فصل کشت و در نتیجه توابع هیدرولیکی آن،  $E_{max}$  محاسبه شده توسط معادله دارسی بیش‌برآورد می‌گردد (ون‌دام و همکاران، 2008). بنابراین محاسبه مولفه  $E$  با استفاده از معادلات تجربی ( $E_{emp}$ ) نیز در مدل انجام گرفته و در نهایت مقدار مولفه  $E$  بر اساس حداقل بین مقادیر  $E_{emp}$  و  $E_{max}$  تعیین می‌گردد. مولفه تعرق پتانسیل ( $T_p$ ) از تفاضل  $E_{ref}$  و  $E_p$  بدست می‌آید. در شرایط تنش خشکی،



شکل ۶- ضریب کاهش جذب آب ریشه به صورت تابعی از

(الف) مکش آب خاک و تعرق پتانسیل (فدس و همکاران، 1978) و (ب) هدایت الکتریکی آب خاک (ماس وهافمن،

1977)

$T_a$  نیز به صورت معادل با جذب آب توسط ریشه در مدل در نظر گرفته می‌شود. شبیه‌سازی رشد گیاه و محاسبه عملکرد تولید محصول بر اساس مدل رشد گیاه تفصیلی در مدل شبیه‌سازی SWAP انجام

در شرایط توام تنش خشکی و شوری جذب آب توسط ریشه بر اساس پیشنهاد کاردون ولتی (1992) از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$S_a(z) = \alpha_{rw} \alpha_{rs} \frac{T_p}{z_{root}} \quad (17)$$

برای واحدهای محاسباتی استخراج شده پیش‌بینی - گردید.

### ۳- نتیجه گیری

سامانه به طور نمونه برای سال زراعی 90-1389 در تاریخ 19 اردیبهشت اجرا گردید و نتایج عملکرد محصول گندم پیش‌بینی شده سامانه با عملکرد واقعی محصول گندم در هشت شهرستان استان اصفهان که در جدول ۴- الف ذکر شده اند، مقایسه گردید که نتایج به شرح ذیل است.

نقشه‌های توزیع مکانی پارامترهای هواشناسی:

۱- نقشه توزیع مکانی باران در شکل (7) نمونه داده باران ماهانه شبکه‌ای شده توسط سامانه در منطقه در اسفند (فوریه-مارس) سال 1389 نشان داده شده است. براساس این شکل مقدار باران ماهانه در اسفند سال 1390 در حاشیه رودخانه زاینده رود (قسمت‌های مرکزی) بین 11 تا حدود 42 میلی‌متر و قسمت‌های مرتفع غربی بین 40 تا حدود 143 میلی‌متر است.

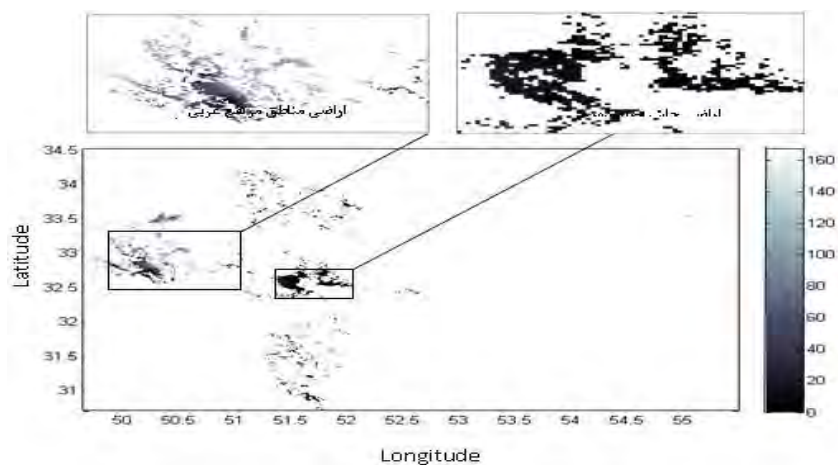
نقشه توزیع مکانی دما: نقشه‌های رستری دمای حداکثر، حداقل و متوسط روزانه برای یک سال تولید و در سامانه مورد استفاده قرار گرفت. برای هر واحد محاسباتی، مقادیر دمای روزانه ذکر شده مورد نیاز در فایل ورودی هواشناسی مدل SWAP از لایه‌های دمای تولید شده (توسط بخش پردازش داده سامانه) استخراج گردید. در شکل (8) نمونه داده دمای حداکثر و حداقل روزانه شبکه‌ای شده در منطقه در تاریخ 9 آپریل 2011 برابر با 20 فروردین 1390 نشان داده شده است

می‌شود. این مدل بر اساس مدل WOFOST<sup>1</sup> (اسپیتر و همکاران، 1989) می‌باشد. این مدل فرایند فتوسنتز و توسعه گیاه را شبیه‌سازی می‌کند و اثرات تنش خشکی و شوری را در توسعه گیاه لحاظ می‌کند. شبیه‌سازی عملکرد پتانسیل تولید محصول از طریق محاسبه شدت جذب پتانسیل CO<sub>2</sub> گیاه بر اساس تابش فعال جذب شده توسط گیاه (PAR) و خصوصیات فتوسنتزی برگ گیاه انجام می‌شود. عملکرد واقعی تولید محصول به صورت معادل با شدت جذب CO<sub>2</sub> واقعی گیاه با اعمال اثر تنش‌های خشکی و شوری از طریق نسبت تعرق واقعی به تعرق پتانسیل  $T_d T_p^{-1}$  بر  $A_{p\ gross}$  محاسبه می‌گردد. بخشی از شدت جذب CO<sub>2</sub> واقعی گیاه در برخی از فرایندهای گیاهی از جمله تنفس گیاه مصرف می‌شود. بنابراین عملکرد واقعی تولید محصول بر اساس تبدیل شدت جذب CO<sub>2</sub> واقعی گیاه به وزن خشک تولید عملکرد با استفاده از ضریب تبدیل 30/44 از رابطه زیر محاسبه می‌گردد.

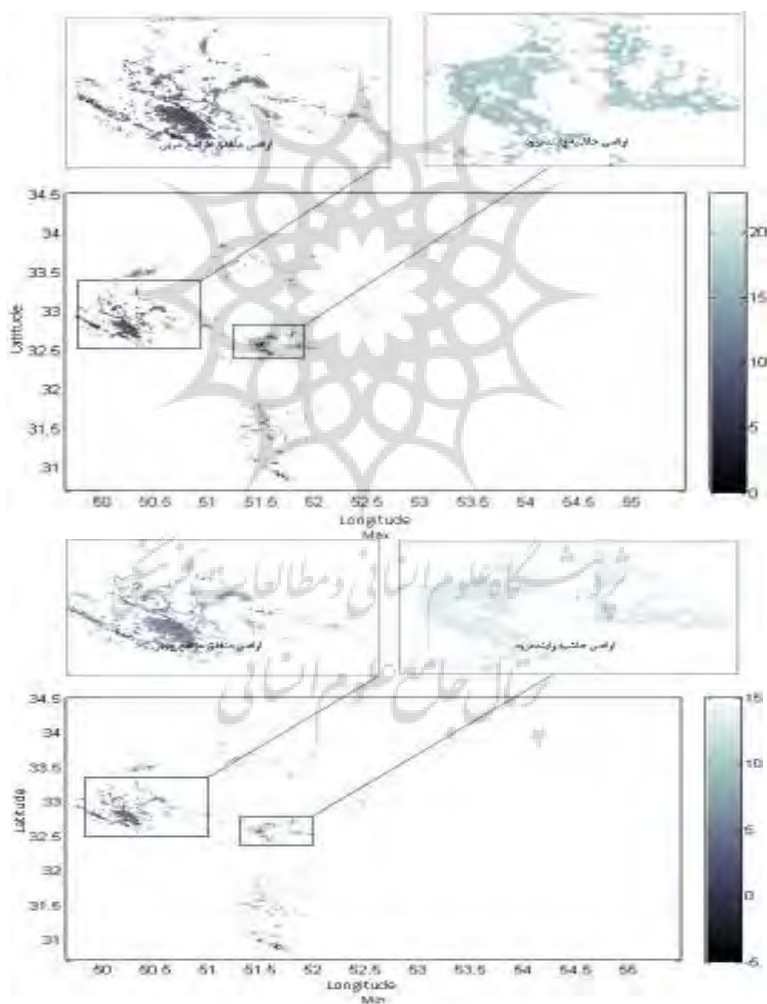
(18)

$$Y = C_e \sum_{t=1}^N \left( \frac{30}{44} T T_p^{-1}(t) A_{p\ gross}(t) - R_m(t) \right)$$

مراحل مختلف رشد بر اساس مجموع دمایی و یابسه صورت خطی نسبت زمان در مدل لحاظ می‌گردد. مدل شبیه‌سازی SWAP برای واحدهای محاسباتی شبکه‌ای استخراج شده اجرا می‌شود و شبیه‌سازی رشد محصول و اجزای بیلان آب در مقیاس منطقه‌ای انجام می‌گردد. با استفاده از سامانه توسعه داده شده وضعیت خشکسالی حداقل دو ماه قبل از برداشت محصول



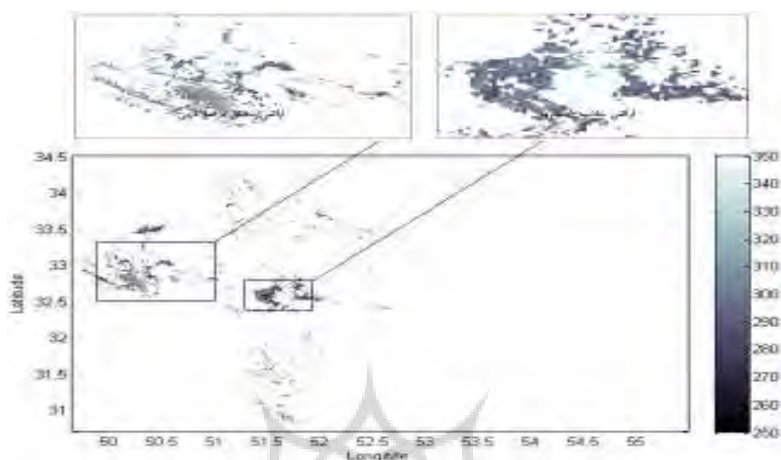
شکل ۷- تغییرات مکانی باران ماهانه در منطقه مورد مطالعه بر حسب میلیمتر ( فوریه-مارس ۲۰۱۱)



شکل ۸- تغییرات مکانی حداکثر و حداقل دمای روزانه در منطقه بر حسب درجه سانتیگراد

بخش پردازش داده سامانه) استخراج گردید. در شکل (9) نمونه داده تابش روزانه شبکه‌ای در منطقه در 9 می 2011 برابر 19 اردیبهشت 1390 نشان داده شده است.

- نقشه توزیع مکانی تابش: لایه توزیع مکانی تابش پس از پردازش و تغییر سایز تهیه و برای هر واحد محاسباتی، مقادیر تابش روزانه مورد نیاز در مدل از لایه‌های تابش تولید شده (توسط



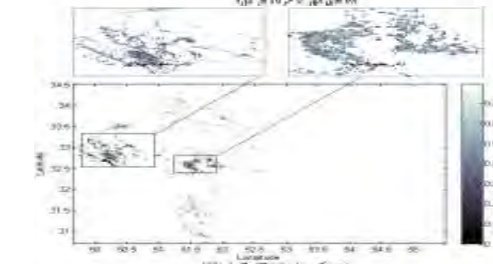
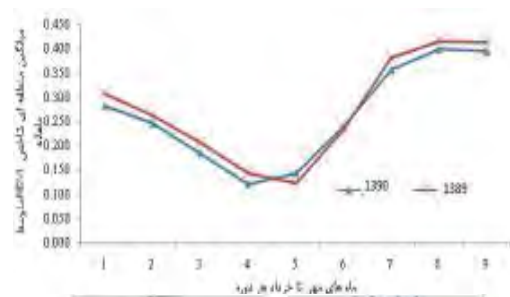
شکل 9- تغییرات مکانی تشعشع روزانه در منطقه مورد مطالعه بر حسب وات بر مترمربع

بالای 0/3 در اواخر اردیبهشت ماه بیانگر اراضی زراعی هستند و از سایر مناطق جدا شدند. مطالعات مختلف نشان می‌دهد که در اوایل فصل رشد مقدار بازتاب باند مادون قرمز و باند قرمز تا حدودی برابرند و با رشد گیاه مقدار بازتابش در باند مادون قرمز از باند قرمز به نحو چشمگیری فزونی می‌یابد (معصومی، 1378). بنابراین انتظار می‌رود که در منطقه ای با پوشش گیاهی، بتدریج با رشد گیاه بر مقدار این شاخص در مراحل مختلف فنولوژیکی افزوده و با خشک شدن گیاه کاهش یابد. شکل (10) تغییرات زمانی متوسط شاخص NDVI در طی سال‌های - 1389/1390 در طول دوره زمانی مهر تا خرداد و نیز تغییرات مکانی را در اواخر اردیبهشت که برابر حداکثر پوشش گیاهی در منطقه است نمایش می‌دهد. تغییرات مکانی این شاخص نشان می‌دهد که مقدار این شاخص در اراضی حاشیه زاینده‌رود به مراتب بیشتر از سایر مناطق است.

- نقشه توزیع مکانی پارامترهای گیاهی:  
1- نقشه شاخص گیاهی تفاضل نرمال شده (NDVI): شاخص NDVI برای پوشش گیاهی متراکم به سوی عدد یک (بطور معمول بین 0/3 تا 0/6) و برای ابرها، برف و آب مقادیر منفی تولید می‌کند (سرانو و همکاران، 2000). برای سنگ‌ها و خاک بایر که واکنش‌های طیفی مشابهی در دو باند دارند، مقادیر این شاخص کوچک، مثبت و یا منفی نزدیک به صفر است؛ برای خاک بدون پوشش نیز مقدار این شاخص کمتر از 0/13 ( $NDVI < 0.13$ ) خواهد بود (باستیانسن و سامی، 2002). بنابراین مقدار این شاخص برای منطقه تحت پوشش، در پیکسل‌هایی محاسبه گردید که در آنها مقدار شاخص بزرگتر از 0/13 و مرز بین خاک بدون پوشش از پوشش دار مجزا گردید. برای جدا کردن منطقه تحت کشت نیز مقادیر مختلف این شاخص با نقشه کاربری اراضی استان مطابقت و در نهایت مشخص شد که مناطق تحت کشت با NDVI

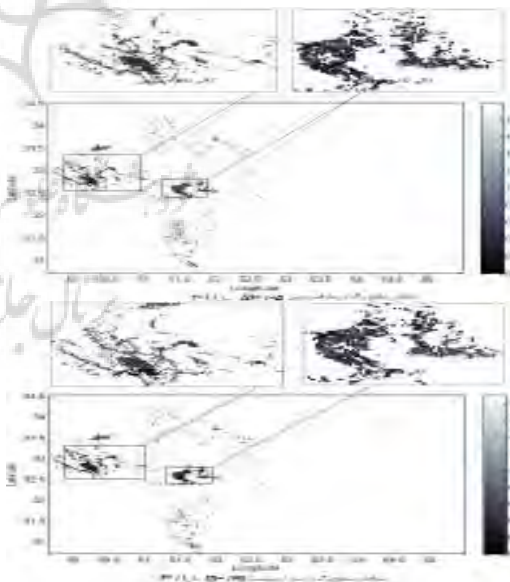
LAI تغییرات مکانی این شاخص مانند شاخص NDVI نشان می‌دهد که مقدار این شاخص در اراضی حاشیه زاینده‌رود در هر دو ماه به مراتب بیشتر از سایر مناطق است. به دلیل عدم دسترسی به داده‌های آب آبیاری و همچنین به منظور کاهش عدم قطعیت موجود در برخی داده‌های ورودی مورد استفاده در سامانه و مدل SWAP مانند داده‌های خاک، پارامترهای گیاهی و زراعی، شاخص سطح برگ گیاه استخراج شده از داده‌های ماهواره‌ای در سامانه پیش‌بینی و ارزیابی خشکسالی کشاورزی توسعه داده شده مورد استفاده قرار گرفت. با لحاظ کردن شاخص سطح برگ گیاه به عنوان پارامتر ورودی مدل SWAP در حقیقت عدم قطعیت‌های موجود در سایر پارامترهای ورودی مدل اصلاح می‌گردد.

- نقشه توزیع مکانی پیش‌بینی عملکرد تولید گندم: این نقشه به دو صورت نقشه وزن خشک کل و وزن خشک دانه گندم در زمان اجرای سامانه تولید گردید. در شکل (12) توزیع مکانی پیش‌بینی عملکرد تولید وزن خشک کل و وزن دانه‌گندم بر حسب کیلوگرم در هکتار در منطقه در 10 می 2011 برابر با 20 اردیبهشت 1390 نشان داده شده است. در شکل (13) نیز فراوانی نسبی عملکرد تولید وزن ماده خشک کل و وزن ماده خشک دانه گندم در واحدهای محاسباتی در منطقه در 10 می 2011 مورد بررسی قرار گرفته است. براساس شکل (12) تولید وزن ماده خشک کل گندم در حدود 39 درصد از پیکسل‌های محدوده، به طور میانگین 12000 کیلوگرم در هکتار، و تولید وزن خشک دانه گندم حدود 38 درصد از پیکسل‌های محدوده، به طور میانگین 4000 کیلوگرم در هکتار است.



شکل ۱۰- تغییرات زمانی سال 1390-1389 و مکانی اردیبهشت) سال 1390 شاخص NDVI در منطقه

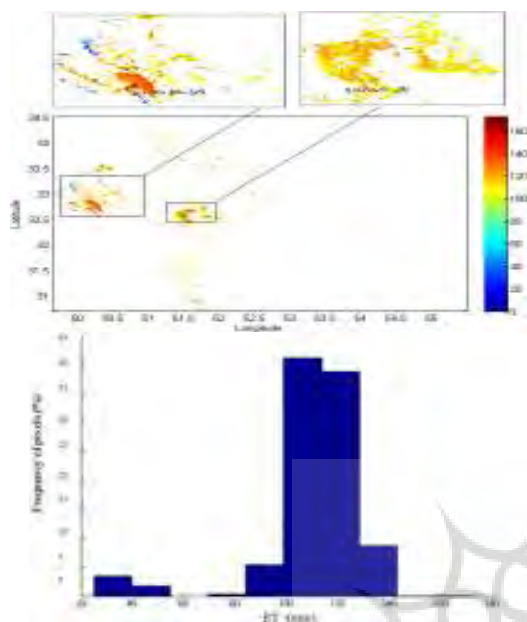
۲- نقشه شاخص سطح برگ (LAI): در شکل (11) توزیع مکانی شاخص سطح برگ به صورت نمونه در فروردین و اردیبهشت و بهتر تیب در روزهای ژوئیه 129 در سال 2011 نشان داده شده است.



شکل ۱۱- توزیع مکانی شاخص سطح برگ در سال 2011 در منطقه مورد مطالعه



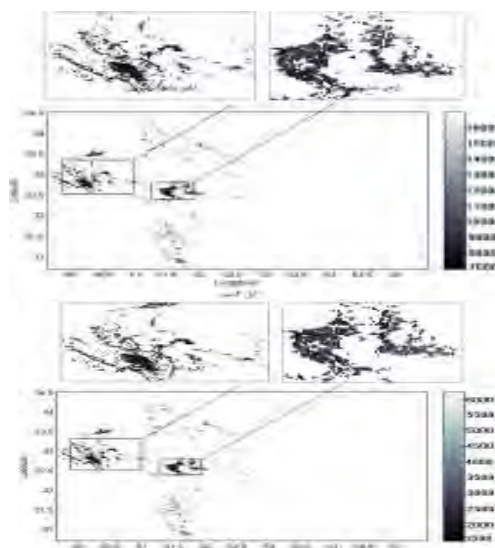
مکانی و هیستوگرام تبخیر و تعرق گیاهی ماهانه گندم در اردیبهشت 1390 در منطقه است.



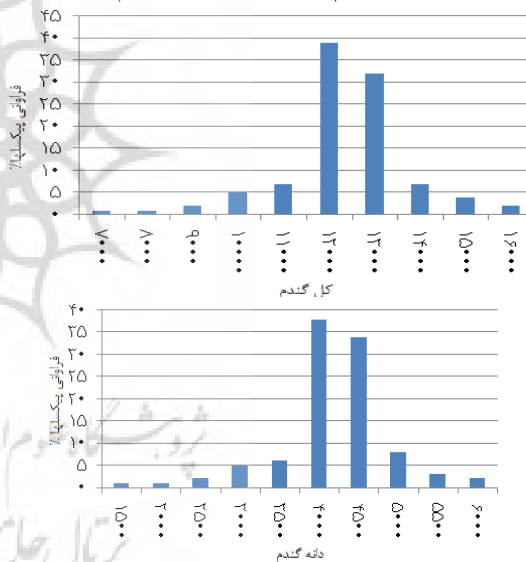
شکل ۱۴- توزیع مکانی و هیستوگرام تبخیر و تعرق گیاهی ماهانه (میلی متر) در اردیبهشت 1390

- ارزیابی و صحت‌سنجی نقشه توزیع مکانی پیش‌بینی عملکرد تولید گندم:

به منظور ارزیابی و صحت‌سنجی خروجی نهایی سامانه پیش‌بینی خشکسالی کشاورزی که شامل نقشه توزیع مکانی پیش‌بینی عملکرد تولید وزن خشک دانه گندم است، این خروجی با مقادیر عملکرد واقعی تولید گندم در 8 شهرستان استان اصفهان در سال زراعی 1389-1390 در جدول (4- الف) مقایسه و مقادیر پیش‌بینی شده در جدول (4- ب) ارائه گردید. باتوجه به نتایج به دست آمده اختلاف مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده عملکرد تولید گندم در بازه 78/1 تا 88/2 درصد است.



شکل ۱۲- توزیع مکانی پیش‌بینی عملکرد تولید وزن ماده خشک کل و دانه‌گندم در 10 می 2011 بر کیلوگرم در هکتار



شکل 13- هیستوگرام پیش‌بینی عملکرد تولید وزن ماده خشک کل و دانه گندم منطقه بر حسب کیلوگرم

- نقشه توزیع مکانی مولفه‌های بیلان آب در خاک: مدل SWAP به طور همزمان شبیه‌سازی رشد گیاه و بیلان آب در خاک را انجام می‌دهد. (شکل 14) توزیع

شهرستان	خمینی شهر	چادگان	تیران و کرون	شاهین شهر و میمه	برخوار	اردستان	آران و بیدگل	اصفهان
محصول	گندم	گندم	گندم	گندم	گندم	گندم	گندم	گندم
عملکرد در واحد سطح کیلوگرم در هکتار	۵۶۰۰	۴۰۰۰	۴۲۰۰	۴۸۰۰	۵۲۰۰	۴۷۰۰	۴۸۰۰	۵۶۰۰

جدول (۴-ب) مقادیر پیش بینی شده عملکرد تولید گندم توسط سامانه در سال ۱۳۹۰-۱۳۸۹

شهرستان	خمینی شهر	چادگان	تیران و کرون	شاهین شهر و میمه	برخوار	اردستان	آران و بیدگل	اصفهان
عملکرد پیش بینی شده کیلوگرم در هکتار	۴۷۵۸	۳۳۸۶	۳۲۹۷	۴۰۱۰	۳۳۱۳	۴۰۳۹	۳۹۷۱	۴۳۷۴
اختلاف مقادیر واقعی و پیش بینی شده %	۸۵	۸۴۷	۷۸۵	۸۳۵	۸۱	۸۵۹	۸۸۲	۷۸۱

با توجه به نتایج به دست آمده از بکار گیری مدل فیزیکی آگروهیدرولوژی SWAP در اراضی تحت کشت استان اصفهان مشخص گردید که استفاده از این روش جهت ارزیابی پیش بینی خشکسالی کشاورزی در منطقه مطالعاتی کاربردی و مناسب است و کاربر می‌تواند در فواصل زمانی مختلف قبل از برداشت، با استفاده از این مدل، عملکرد تولید محصول گندم را پیش‌بینی نماید.

#### منابع

- اصل، منوچهر، دانشکده علوم انسانی دانشگاه تربیت مدرس، گروه سنجش از راه دور
- Abdullaev, I., k. Jumaboev. (2004). Water Management and Drought Mitigation Strategies: Application of IWMI experience for CAC region, at: <http://www.IWMI.Org>. Complex Political Emergencies, London.
- Allen, R.G., L.S. Pereira., D.Raes, and M. Smith.(1998).Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements. FAO -Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome. FAO Irrigation and drainage paper 56.
- Bastiaanssen, W.M.G., M.Samia. (2002). Crop and water productivity of the Pakistan wheat and rice systems, at: [http://www.Waterwatch.NL/fileadmin/bestanden/Project/Asia/0053\\_PK\\_2002\\_CropWaterProductivity](http://www.Waterwatch.NL/fileadmin/bestanden/Project/Asia/0053_PK_2002_CropWaterProductivity).
- Buchanan-Smith.M. (2004). Case Study of the Bahr El Ghazal Famine, South Sudan: 1997-1998. Prepared for the BRCS-hosted seminar on Natural Disasters, at: <http://www.Odihpn.Org/download/humanitarianexchange027.pdf>.
- Cardon, G.E., J. Letey. (1992). Plant water uptake terms evaluated for soil water and solute movement models. Soil Sci. Soc. Am. J. Vol 32, 1876-1880
- Chen, J.M., X.Chen. , W. Ju, and X.Geng. (2005). Distributed hydrological model for map- ping evapotranspiration using remote sensing inputs. Vol 305:15-39
- رنگزن، کاظم، مهدی، مختاری، و مهران، شایگان، (۱۳۸۴)، ارزیابی دقت مدل‌های IDW و Kriging جهت درونیابی داده‌های سطح آب زیرزمینی دشت میان آب شوشتر، همایش ژئوماتیک 84، تهران، سازمان نقشه برداری کشور
- [http://www.civilica.com/Paper-GEO84-GEO84\\_46.html](http://www.civilica.com/Paper-GEO84-GEO84_46.html)
- معصومی، محمد تقی، (۱۳۷۸)، بررسی امکان استفاده از شاخص‌های پوشش گیاهی حاصل از تصاویر چند زمانه ماهواره ای ( AVHRR / NOAA ) در طبقه بندی و مطالعه تغییرات زمانی پوشش گیاهی، فرج زاده

- Agricultural Water Management. Vol 98:(۶)1062–1070
- Singh, R., R.K.Jhorar., J.C.van Dam, and R.A.Feddes. (2006). Distributed ecohydrological modelling to evaluate irrigation system performance in Sirsa district, India II: Impact of viable water management scenarios. Vol 329 (3-4): 714-723
- Spitters. C.J.T., H. van Keulen, and D.W.G. van Kraalingen. (1989). A simple and universal crop growth simulation and systems managements in crop protection. Simulation monographs, Pudoc, Wageningen: 147-181
- Stafford Smith, D. M., J. F.Clewett. , A. D. Moore, G. M.McKeon, and R.Clark. (1998). Drought Plan - building on crazier participation to manage for climate variability. Canberra: RIRDC. Occasional Paper CVO1/97
- Van Dam, J.C.(2000). Field-scale water flow and solute transport. SWAP model concepts, parameter estimation, and case studies, PhD thesis, Wageningen University of The Netherlands.
- Van Dam, J. C., R. Singh. , J. J. E. Bessembinder. , P. A. Leffelaar. , W. G. M. Bastiaanssen., R. K. Jhorar., J. G. Kroes, and P.Droogers. (2006). Assessing options to increase water productivity in irrigated river basins using remote sensing and modeling tools. International Journal of Water Resources Development, Vol 22(1):115-133
- Van Dam, J.C., P.Groenendijk, R.F.A.Hendriks, and J.G. Kroes. (2008). Advances of modeling water flow in variably saturated soils with SWAP. Vadose Zone J 7: 640–653.
- van Genuchten, M.Th. (1980). A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci. Soc. Am. Vol 44: 892–898
- Vazifedoust, M. (2007). Development of an agricultural drought assessment system Integration of crop and soil modeling remote sensing and geographical information. PhD Thesis. Wageningen University and Research Centre, Wageningen, the Netherland.
- Choudhury, B.J., N.U.Ahmed., S.B.Idso., R.J.Reginato, and C.S.T.Daughtry. (1994). Relations between evaporation coefficients and vegetation indices studied by model simulations". Remote Sensing of Environment. Vol 50(1): 1-17
- Droogers, P., M.Akbari., M.Torabi, and E. Pazira. (2000). Exploring field scale salinity using simulation modeling, example for Rudasht area. Esfahan, Province, Iran. IAERI-IWMI Research Reports 2, 16 pp
- Feddes, R.A., P.J. Kowalik, and H. Zaradny. (1978). Simulation of field water use and crop yield. Simulation Monographs, Pudoc, Wageningen, the Netherlands, Center for Agricultural Publishing and Documentation, 189 pp.
- Heim, R.R. (2000). Drought indices: A review, Chapter 11. In Drought: A Global Assessment (Donald A.Wilhite, ed).Routledge Hazards and Disasters Series, vol1, Routledge, London: 159 -167
- Huete, A. R. (1988). A Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI). Remote Sensing of Environment, Vol 25: 295-309
- Maas, E.V., G.J. Hoffman. (1977). Crop salt tolerance - current assessment. J. Irrig. And Drainage Div., ASCE 103(IR2):115-134
- MODIS Characterization Support Team — MCST. (2002). MODIS level 1B product user's guide, for level 1B version 4.0.9 (Terra) and version4.1.1 (Aqua), MCST Document PUB-01-U-0202-REV B, MCST Internal Memo, M1039, 61pp.; NASA/Goddard Space Flight Center at <http://www.mcst.ssai.biz/mcstweb/documents/M1054.pdf>
- Mika, J., S.z. Horva'th., L.Makra, and Z.Dunkel. (2005). The Palmer Drought Severity Index (PDSI) as an indicator of soil moisture. Physics and Chemistry of the Earth. Vol 30: 223–230
- Mualem, Y.(1976).A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. Water Resour. Vol 12: 513–522
- Noory, H., S.E.A.T.M. van der Zee., A. M. Liaghat., M. Parsinejad , and J.C.van Dam. (2011). Distributed agro-hydrological modeling with SWAP to improve water and salt management of the Voshmgir Irrigation and Drainage Network in Northern Iran.

and in land use planning. Alterra Green World Research, Wageningen, the Netherlands. Report 156: 106 PP.

Wösten, J.H.M., A. Lilly. , A. Nemes, and C.Le.Bas. (1998). Using existing soil data to derive hydraulic parameters for simulation models in environmental studies

