

ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر عملکرد محصولات و راهبرد تطبیقی تغییر الگوی کشت بر آن‌ها در حوضه سیمینه رود

مصطفی رضایی زمان

mostafa.rezaee@modares.ac.ir دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب دانشگاه تربیت مدرس

علی افروزی*

a.afrozi@gmail.com دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آبیاری و زهکشی دانشگاه تبریز، * - نویسنده مسنول:

چکیده

برای شبیه سازی و ارزیابی در حوضه آبریز استفاده شد و اثرات پدیده تغییر اقلیم بر محصولات SWAT در این تحقیق از مدل حوضه سیمینه رود بررسی شد و راهبرد تغییر الگوی کشت به عنوان یک راهکار تطبیقی مورد ارزیابی قرار گرفت. برای و با در نظر گیری دو سناریو انتشار HadCM3 مدل‌سازی شرایط تغییر اقلیم در منطقه از خروجی‌های مدل گردش عمومی جو ، داده‌های دما حداقل، حداکثر و بارندگی برای SDSM بهره گرفته شد و با ریز مقیاس نمائی آن‌ها با استفاده از مدل A2 و B2 ، اعمال گردید. سپس مقادیر تنش آبی و دمایی و عملکرد محصولات و SWAT سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۳ استخراج و به مدل (نامگذاری BAU جریان ورودی به دریاچه ارومیه در شرایط اعمال تغییر اقلیم برآورد و تحت عنوان راهبرد مدیریت فعلی 1) شد. نتایج حاکی از افزایش متوسط تنش آبی و دمایی و همچنین کاهش عملکرد محصولات بود. راهکار تغییر الگوی کشت به گندم و جو به منظور راهبردی تطبیقی مورد ارزیابی قرار گرفت که نشان دهنده کاهش ۸۰ و ۷۵ درصدی تنش آبی تحت هر دو نسبت به شرایط مدیریت فعلی بود. A2 و B2 سناریو انتشار

، تغییر الگوی کشت، حوضه سیمینه رود SWAT کلید واژه: راهکار تطبیقی، تغییر اقلیم، مدل

مقدمه

افزایش گازهای گلخانه‌ای تغییراتی را در اقلیم کره زمین بوجود آورده است. که منجر به غیر ایستایی در متغیرهای اقلیمی (۲۰۰۱). این پدیده بر IPCC بخصوص تابش خورشیدی، دما و بارش شده است، پدیده‌ای که تغییر اقلیم اطلاق می‌شود (بخش‌های مختلفی تاثیر خواهد داشت که بخش کشاورزی و منابع آب از اصلی‌ترین آن‌ها می‌باشد. کشور ما نیز از اثرات ناشی از پدیده تغییر اقلیم مصون نبوده و با توجه به قرار گرفتن در عرضهای جغرافیایی پایین، بیشترین تبعات منفی این پدیده را متحمل (۲۰۰۷). حوزه دریاچه ارومیه به عنوان یکی از مهم‌ترین حوزه‌های کشور می‌باشد. در سال‌های اخیر به علت IPCC خواهد شد (روند کاهش آب این دریاچه و خشکی قسمت‌هایی از آن و پی‌آمدهای اجتماعی - اقتصادی ناشی از تغییرات اقلیمی در این حوزه باعث بروز مشکلات عدیده‌ای در منطقه گشته است. رودخانه سیمینرود به عنوان یکی از مهم‌ترین ۱۴ رودخانه اصلی تغذیه کننده دریاچه ارومیه می‌باشد که در جنوب غربی آن واقع شده است. بدین ترتیب ارزیابی اثرات تغییر اقلیم برای حوضه و دریاچه از اهمیت بالایی برخوردار باشد.



لوبلو همکاران (۲۰۰۶) اثر تغییر اقلیم در دوره‌ی ۲۰۵۰ برای عملکرد گیاهان چند ساله از جمله انگور، بادام، پرتقال، گردو و آوکادو در کالیفرنیا آمریکا بررسی کردند و دریافته‌اند که اثر منفی تغییر اقلیم بر عملکرد این محصولات، حتمی و کاهش (Water Erosion Prediction Project) WEPP محصول تا بیش از ۴۰ درصد قابل پیش بینی می‌باشد. ژانگو همکاران (۲۰۰۵) نیز با ترکیب مدل (Climate Generator) CLIGEN و مولد اقلیم Prediction Project HadCM3 مقدار رواناب و عملکرد گندم زمستانه پرداختند. آن‌ها با استفاده از نتایج حاصل از مدل گردش عمومی تغییرات مقادیر فرسایش، رواناب و عملکرد گندم زمستانه را تحت شرایط مدیریتی به A2, B2 و GGa1 سناریوی تغییر اقلیم حدود ۵ درصد B2 و A2 ویژه نحوه شخم زمین برای دوره ۲۰۷۰-۲۰۹۹ شبیه سازی گردید و برای عملکرد گندم تحت سناریوی حدود ۵ درصد افزایش پیش بینی شد. در این تحقیق تغییر عملکرد گندم زمستانه را معلول بر GGa1 کاهش و تحت سناریوی دانستند. تأثیر تغییر اقلیم بر عملکرد محصولات در نقاط مختلف CO2 همکنش اثر منفی افزایش دما و اثر مثبت افزایش غلظت متفاوت است که می‌تواند باعث افزایش یا کاهش عملکرد محصول شود. این مسئله بستگی به طول و عرض جغرافیایی و روش آبیاری دارد (پنگ‌هونگ، ۲۰۰۹). لاکشامانانو همکاران (۲۰۰۸) تأثیر تغییر اقلیم بر هیدرولوژی و بازده سطح زیر کشت برنج مورد بررسی قرار دادند. تغییر روش کشت، تناوب آبیاری و مدیریت (SWAT) با کاربرد مدل Bhavani در حوضه‌بهاوانی (کود از جمله راهکارهای تطبیق بود که آن‌ها مورد استفاده قرار دادند. تحقیقات آن‌ها نشان داد بازده تولید برنج افزایش خواهد یافت و در ماه‌های زمستان این بازده بخاطر افزایش دما در شرایط تغییر اقلیم و آب کافی نسبت به تابستان بیشتر خواهد بود. (نسبت به غرقابی عملکرد بهتری خواهد داشت. System of Rice Intensification) SRI همچنین سیستم کشت

برای شبیه سازی و ارزیابی در حوضه آبریز استفاده شد و اثرات پدیده تغییر اقلیم بر محصولات SWAT در این تحقیق از مدل حوضه سیمینرود رود بررسی شد و راهبرد تغییر الگوی کشت به عنوان یک راهکار تطبیقی مورد ارزیابی قرار گرفت. برای و با در نظر گیری دو سناریو انتشار HadCM3 مدل‌سازی شرایط تغییر اقلیم در منطقه از خروجی‌های مدل گردش عمومی جو ، داده‌های دما حداقل، حداکثر و بارندگی برای SDSM بهره گرفته شد و با ریز مقیاس نمایی آن‌ها با استفاده از مدل B2 و A2 اعمال گردید SWAT سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۳ استخراج و به مدل

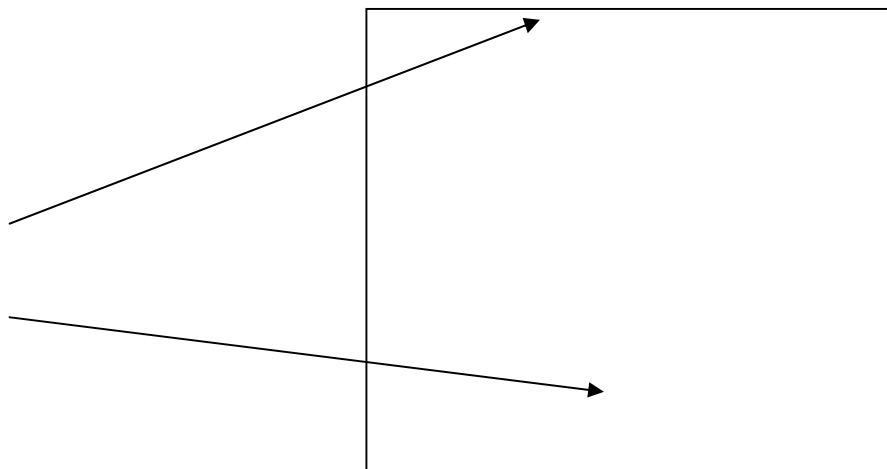
مواد و روشها

منطقه مطالعاتی و داده‌ها

رودخانه سیمینرود از رودخانه‌های مهم حوضه آبریز دریاچه ارومیه می‌باشد که در جنوب آذربایجان غربی و در غرب حوضه آبریز زرينرود جریان دارد. طول رودخانه حدود ۲۰۰ کیلومتر، مساحت حوضه آبریز آن ۳۵۰۰ کیلومتر مربع و شامل ۱۱ زیر حوضه است (شکل ۱).

برای پیش‌بینی سری متغیرهای اقلیمی (بارندگی، دمای حداکثر و دمای حداقل) نیاز به آمار دراز مدت می‌باشد، لذا ایستگاه ارومیه به عنوان نزدیکترین ایستگاه سینوپتیک انتخاب و داده‌های دوره آماری آن طی سال‌های ۱۹۷۱ تا ۲۰۰۰ تهیه و پس از (مستخرج از  و  بررسی‌های کیفی مورد استفاده قرار گرفت. همچنین تغییرات دما و بارندگی تحت تاثیر تغییر اقلیم (آن برای ۶ ایستگاه (جدول ۱ و شکل ۲) محدود حوضه سیمینرود رود تعمیم داده شد. شبیه‌سازی فرآیند بارش-رواناب از سال ۱۹۸۵ تا ۲۰۰۸ با استفاده از آمار آبنجی ۲ ایستگاه داشبندبوکان و میان‌دوب انجام شد.

در این مطالعه زیر حوضه سیمینه رود با ۴۳۲۸۴ هکتار معادل ۱۲/۰۶ درصد از کل سطح زیر کشت حوضه دریاچه ارومیه پس از زیر حوضه های آبی چای و زرینه رود بیشترین سطح زیر کشت را دارا می باشد. جدول ۲ الگوی کشت و سطح زیر کشت را برای سه دشت اصلی حوضه سیمینه رود یعنی بوکان، حاجی آباد و غرب میاندوآب نشان می دهد.



شکل (۱): نقشه زیرحوضه مورد مطالعه



شکل (۲): موقعیت ایستگاههای هواشناسی و هیدرومتری در حوضه سیمینه رود

ایستگاه	نوع ایستگاه	طول جغرافیایی (درجه)	عرض جغرافیایی (درجه)	ارتفاع (متر)	طول دوره آماری
میاندوآب	سینوپتیک	۴۶.۰۴	۳۶.۹۶	۱۳۰۰	۲۰۰۸-۲۰۰۲
آقداچی	باران سنجی	۴۶.۱۶	۳۶.۶۳	۱۳۱۱	۲۰۰۷-۱۹۹۷
مهاباد	سینوپتیک	۴۵.۷۱	۳۶.۷۶	۱۳۸۵	۲۰۰۸-۱۹۸۵
سردشت	سینوپتیک	۴۵.۴۹	۳۶.۱۵	۱۶۷۰	۲۰۰۸-۱۹۸۶
بوکان	باران سنجی	۴۶.۲۲	۳۶.۵۳	۱۳۸۶	۲۰۰۸-۲۰۰۵
بانه	سینوپتیک	۴۵.۹	۳۶	۱۶۰۰	۲۰۰۸-۲۰۰۰

جدول (۱): مشخصات ایستگاههای هواشناسی مورد بررسی

جدول (۲): محصولات عمده دشت های واقع در محدوده مطالعاتی به همراه تاریخ کشت و برداشت (وزارت نیرو، ۱۳۸۴)

مشخصات	سطح زیر کشت در هر یک از دشت‌ها			تاریخ کشت	تاریخ برداشت	kg/ha میزان کود مصرفی سالانه)	
	بوکان	حاجی آباد	غرب میان‌آب			ازته	فسفاته
گندم	۶۹۴۴	۴۳۴۱	۷۸۴۰	۱۵مهر	۱۰تیر	۱۲۰	۱۴۰
جو	۱۸۷۵	۸۷۵	۳۸۹۴	۱۵مهر	۱۰تیر	۱۲۰	۱۴۰
سیب زمینی	۱۶۲	۱۷۰	۲۱۰	۱۵ اردیبهشت	۱۵مهر	۲۲۵	۲۶۰
چغندر قند	۴۶۵	۲۰۵	۱۶۸۴	۱۰ فروردین	۳۰مهر	۳۰۰	۳۴۰
یونجه	۲۱۷۹	۱۸۹۴	۳۷۶۸	۱۰ فروردین	۱۰مهر	۲۲۰	۲۷۰
سیب	۸۴۸	۳۴۴	۲۷۲۶	۱ اردیبهشت	۳۰مهر	۳۵۰	۳۸۰
گوجه	۳۴۲	۱۳۴	۲۵۸	۱۰ خرداد	۱۰مهر	۳۹۰	۴۵۵

ریزمقیاس کردن داده‌های اقلیمی (پیش بینی کننده‌ها (1)

ریزمقیاس نمودن متغیرهای اقلیمی در روش‌های آماری با توجه به ارتباط بین متغیرهای اتمسفری بزرگ مقیاس به عنوان پیش استخراج گردید (ویلی و NCEP2 بینی کننده و متغیرهای محلی به عنوان پیش بینی شونده، انجام می‌گیرد. داده‌های فوق از پایگاه و همکاران، ۱۹۹۷). از آنجایی که ۲۶ متغیر پیش‌بینی کننده ارائه شده توسط این پایگاه می‌تواند روابط مختلفی با داده‌های پیش بینی شونده داشته باشد، لذا متغیری مهمتر است که اولاً بتواند رابطه بهتری با داده‌های مورد بررسی (در اینجا دما و بارندگی) آن متغیر را به خوبی در دوره مشاهداتی شبیه (HadCM3) (در اینجا AOGCM در دوره مشاهداتی داشته باشد و ثانیاً مدل سازی کرده باشد (ویلی و همکاران، ۱۹۹۷). پس از انتخاب این متغیر می‌توان از آن برای کوچک مقیاس کردن داده‌های اقلیمی برای با دوره مشاهداتی (۱۹۷۱-۲۰۰۰) استخراج NCEP (بارش و دما) در منطقه استفاده کرد. در این مطالعه، ابتدا داده‌های طی سال‌های ۱۹۷۱ تا ۲۰۰۰ به منظور صحت سنجی دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ به منظور HadCM3 شد. همچنین، خروجی مدل شبیه سازی در آینده‌تپیه گردید.

مدل SDSM

این نرم افزار امکان ریز مقیاس کردن داده‌های تغییر اقلیم را به روش آماری دارا است. در این مدل با ایجاد روابط رگرسیونی، (تعریف و ارائه می‌شود (ویلی و PREDICTAND) و پیش‌بینی‌شونده‌ها (PREDICTOR) ارتباط بین پیش‌بینی‌کننده‌ها (همکاران، ۱۹۹۷).

مدل SWAT

در مرکز تحقیقات وزارت کشاورزی آمریکا توسعه داده شده است (آرنولد و همکاران، ۱۹۹۸). این مدل برای پیش SWAT بینی تاثیر روش‌های مختلف مدیریت زمین بر مقادیر آب، رسوب و مواد شیمیایی در سطح حوضه‌های آبریز پیچیده و بزرگ با خاک، کاربری زمین‌ها و شرایط مختلف مدیریتی در دراز مدت طراحی شده و از اینرو است که برای مطالعات تطبیق با تغییر (جهت اجرای HRU اقلیم گزینه مناسبی است. این مدل نیمه توزیعی می‌باشد که در آن تعریف واحدهای همگن هیدرولوژیکی (3) مدل و شبیه‌سازی متغیرهای مورد نظر (متغیرهای هیدرولوژیکی، عملکرد، بهره‌وری و غیره) بسیار اهمیت دارد. این کار با (و معرفی نقشه‌های کاربری اراضی و خاک صورت می‌گیرد. چرخه DEM تعریف توپوگرافی حوضه (با استفاده از نقشه شبیه سازی می‌شود، بر اساس معادله بیلان استوار است. SWAT هیدرولوژیکی که در مدل

SWAT با تغییر در ورودی داده‌های مدل قابل شبیه‌سازی است. SWAT بررسی تاثیر تغییر اقلیم در سیستم یک حوضه در مدل به کاربر اجازه می‌دهد تا در هر زیرحوضه؛ میزان تغییرات بارندگی، دما، تابش خورشید، رطوبت و سطح دی اکسید کربن را تغییر دهد. برای بارش و دما روابط مطابق زیر هستند: GCM متناسب با خروجی‌های مدل‌های

1 Predictors

2 - National Center Environment Prediction (www.ncep.noaa.gov)

3 Hydrological Response Unit

(۱)

دما حداکثر بر حسب درجه درصد تغییرات در بارندگی، مقدار بارندگی در زیرحوضه بر حسب میلیمتر، که تغییر در دما می‌باشد. این تغییرات adj_{imp} دمای حداقل روزانه بر حسب سانتی‌گراد و تغییر در دما، سانتی‌گراد، بطور ماهیانه قابل ارائه هستند.

راهبردتطبیقتغییرالگویکشت

تغییر الگوی کشت رامکار اساسی برای کاهش مصرف آب در بخش کشاورزی است. بدیهی است که در تعریف الگوی کشت جدید بحث‌های اقتصادی و اجتماعی بیشتری دخیل هستند که خارج از افق کاری این تحقیق می‌باشد. برای اعمال این راهبرد در مدل SWAT با توجه به سطح زیر کشت مورد نظر، مقادیر آن تعریف گردید. HRU Definition در قسمت SWAT

نتایج و بحث

SWAT آماده‌سازی مدل

(، خاک و کاربری اراضی (شکل ۷) نیاز دارد. از مراحل مهم DEM علاوه بر داده‌های اقلیمی، مدل به نقشه‌های رقومی ارتفاع (ها هستند که بر اساس لایه‌های نوع خاک، کاربری اراضی و شیب یکسان تشکیل می‌شود که بر اساس HRU در تنظیم مدل، تشکیل یا واحد همگن هیدرولوژی تبدیل کرد. این تعداد از منظری زیاد HRU حوضه را به ۱۹۴ SWAT اطلاعات داده شده مدل است که هزینه‌های محاسباتی را بالا می‌برد، اما برای اعمال سناریو مدیریتی که در ادامه این تحقیق مد نظر است، دارای اهمیت (، Sol)، خاکشناسی (Dat) می‌باشد. دیگر پارامترهای مربوط به مولفه‌های اصلی مدل مانند: اطلاعات و پارامترهای گیاهی (بر اساس آمار داده‌های موجود و بطور اولیه، بهمدمعرفیشدند تا در (Rte) و رودخانه (Mgt)، قسمتمدیریتی (Gw) آب‌زیرزمینی (مراحل واسنجی نهایی گردند.

ج	ب	الف

Dem، الف) لایه خاک ب) لایه کاربری اراضی ج) لایه SWAT شکل (۴): نقشه لایه‌های مورد استفاده در

واسنجی و صحت سنجی مدل

در ادامه مدل با استفاده از داده‌های ۲ ایستگاه هیدرومتری داشبند بوکان و میاندوآب واسنجی و صحت سنجی شدند. با توجه به تعداد فایل‌های ورودی مدل که در بالا اشاره شد، پارامترهای فراوانی نیاز به معرفی دارند، که لازم است آنهایی که خروجی مدل به دقت آن‌ها حساسیت بیشتری دارد، مشخص و در واسنجی‌ها مورد توجه بیشتری قرار گیرند. نتایج این مرحله از محاسبات توسط انجام شد (عباسپور، ۲۰۰۹) که در جدول ۳ قابل مشاهده هستند. رتبه بندی پارامترها توسط دو مقدار SWAT-CUP نرم افزار آن نزدیک به صفر p-value بیشتر و t-state مشخص می‌شود، به این صورت که هر مقدار قدر مطلق t-state و p-value (CN2) و شماره منحنی (SOL_BD) باشد، آن پارامتر تاثیر بالاتری دارد. با توجه به موارد ذکر شده چگالی مطلق خاک (بیشترین تاثیر را روی دبی خروجی داشته است.

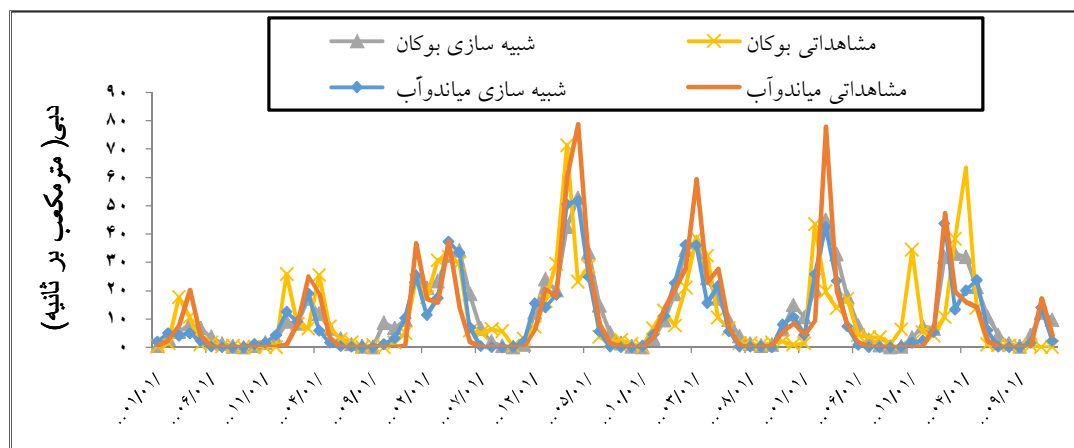
مربوط به هر کدام از پارامترها t -stat و p -value جدول (۳): نتایج تحلیل حساسیت مدل و مقادیر

رتبه	پارامتر	p-value	t-stat
۱	SOL-BD	۰	۷/۹۴
۲	CN2	۰	۶/۷
۳	SOL_K	۰/۰۰۴	۶/۰۷
۴	GWQMN	۰/۰۰۱	۳/۲۹
۵	ALPHA_BNK	۰/۰۱	۳/۱۲

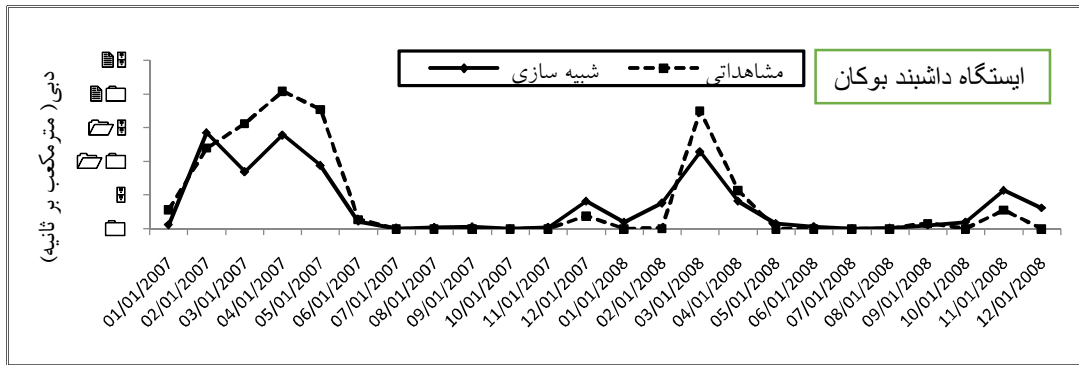
جهت ارزیابی مدل ارائه شده است. شکل ۵ تغییرات سری زمانی NASH و ضریب R^2 در جدول ۴ شاخص‌های ضریب تبیین و مشاهداتی برای ایستگاه‌های آب‌سنجیداشبندبوکان و میاندوآب را نشان می‌دهد. SWAT دبی جریان شبیه‌سازی شده توسط مدل

جدول (۴): نتایج واسنجی و اعتبار سنجی مدل برای ایستگاه‌های هیدرومتری

شماره ایستگاه	رودخانه	ایستگاه	واسنجی			صحت سنجی		
			دوره آماری	R^2	NS	دوره آماری	R^2	NS
۱	سیمینه رود	داشبند بوکان	۲۰۰۶-۲۰۰۰	۰/۷۸	۰/۶۱	۲۰۰۸-۲۰۰۶	۰/۷	۰/۳۱
۲	سیمینه رود	میاندوآب	۲۰۰۶-۲۰۰۰	۰/۵۴	۰/۵۱	۲۰۰۸-۲۰۰۶	۰/۳	۰/۱۸



شکل (۵): مقایسه سری زمانی دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده برای دوره واسنجی در ایستگاه‌های میاندوآب و بوکان

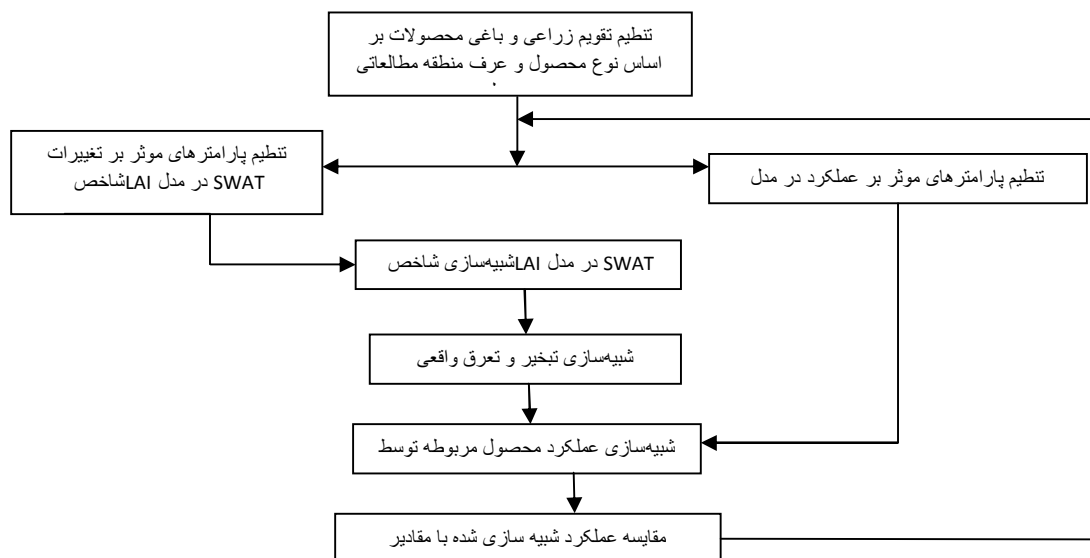


شکل (۶): مقایسه سری زمانی دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده برای دوره صحت سنجی در ایستگاه‌دانشیندبوکان

SWAT شبیه‌سازی عملکرد گیاهی در مدل

ابتدا برای هر روز از دوره شبیه‌سازی پتانسیل رشد و عملکرد گیاهی برای گیاهان مختلف محاسبه شده و سپس در SWAT در مدل رشد و عملکرد واقعی آنها شبیه‌سازی می‌شود. وقتی عمل برداشت انجام می‌شود، قسمتی از توده گیاه به عنوان عملکرد آن از برداشت می‌شود. بخشی از توده خشک گیاه که در بالای زمین برداشت می‌شود شاخص برداشت نامیده می‌شود. برای hru هر اکثر گیاهان این شاخص بین ۰ تا ۱ می‌باشد. برای گیاهان ریشه ای یا غده ای مانند سیب زمینی شیرین ممکن هست شاخص برداشت بزرگتر از یک نیز باشند. با توجه به حجم بالای فرمول‌های محاسباتی آن، در این قسمت تنها مراحل انجام کار و پارامترهای موثر بر آن ارائه می‌گردد (شکل ۷).

واسنجی و صحت سنجی عملکرد محصولات: شبیه‌سازی عملکرد محصول در دوره پایه نیز از جمله مواردی بود که در این مطالعه به آن پرداخته شد. هرچند سابقه شبیه‌سازی این فرآیند در مقایسه با بارش-رواناب بسیار کم می‌باشد. بدین منظور، محصولات عمده مورد کشت منطقه مطالعاتی شامل: گندم، جو، سیب زمینی، گوجه فرنگی، چغندر قند، یونجه و سیب درختی به عنوان الگوی کشت غالب منطقه به مدل معرفی شد و به منظور شبیه سازی هر چه بهتر و واقعی‌تر عملکرد محصولات، برخی قرار دارند، مورد تعدیل قرار گرفت. مقادیر این پارامترها با توجه به نوع SWAT پارامترهای گیاهی که در پایگاه داده‌های مدل محصول و منطقه مورد مطالعه متفاوت می‌باشد. عملکرد شبیه‌سازی شده محصولات در جدول ۷ قابل مشاهده است.



شکل (۷): فلوچارت مراحل شبیه‌سازی عملکرد در مدل SWAT

و عملکرد واقعی محصولات منطقه مورد مطالعه SWAT جدول (۵): عملکرد شبیه سازی محصولات تحت مدل

سیب	یونجه	چغندر قند	گوجه	سیبزمینی	جو	گندم	محصول زیرحوضه‌ها
۲۲/۵۸	۹/۹۲	۴۵/۳۸	۳۴/۲۹	۲۴/۹۸	۲/۶۲	۳/۰۳	متوسط عملکرد
۲۲	۹/۰۳	۴۸/۶۵	۳۴/۷۶	۲۰/۶۴	۲/۴۴	۳/۴	متوسط عملکرد (مشاهداتی)

SWAT شبیه سازی حوضه تحت تاثیر تغییر اقلیم در مدل

امکاناتی برای اعمال تغییر اقلیم در سیستم حوضه در نظر گرفته شده است. بدین منظور ابتدا SWAT همانگونه که آمد مدل درصد تغییرات میانگین ماهانه بارندگی و اختلاف دمای متوسط بین داده‌های مشاهداتی دوره پایه (۱۹۷۱ تا ۲۰۰۰) و دوره آتی (۲۰۱۰ تا ۲۰۳۳) برآورد و به مدل اعمال گردید. با توجه به تاثیر تغییر اقلیم بر روی تمام اجزای سیستم حوضه، از جمله عملکرد محصولات، بررسی و ارزیابی آن مهم و ضروری بود. بدیهی است به دلیل افزایش دما و تابش خورشیدی، تغییر اقلیم بر دوره رشد، گلدهی، فتوسنتز، تنفس و سایر موارد گیاه به طور مستقیم یا غیرمستقیم تاثیر می‌گذارد و نهایتاً در عملکرد محصول تغییر (۲۰۱۰-۲۰۳۳) نسبت به دوره پایه (۱۹۸۵-۲۰۰۸) ارائه B2 و A2 ایجاد می‌کند. در جدول ۶ این تغییرات تحت هر دو سناریو شده است. یکی از عوامل محدود کننده افزایش عملکرد محصولات، تنش آبی و دمایی وارد بر آن‌ها در طول دوره رشد می‌باشد. در شرایط ایده‌آل در صورت مهیا بودن آب کافی و دمای مناسب گیاه به حداکثر عملکرد خود می‌رسد ولی در واقعیت تنش آبی و (بر عملکرد HVST با تاثیر گذاری بر شاخص برداشت (SWAT) دمایی همواره همراه گیاه می‌باشد. این فاکتور در مدل (Swat User Manual., 2009. محصولات شبیه سازی شده تاثیر می‌گذارد)

دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ B2 و A2 جدول (۶): تغییرات عملکرد (تن/هکتار) محصولات تحت سناریو انتشار

سیب	یونجه	چغندر قند	گوجه	سیبزمینی	جو	گندم	محصول
۲۲/۵۸	۹/۹۲	۴۵/۳۸	۳۴/۲۹	۲۴/۹۸	۲/۶۲	۳/۰۳	سناریو پایه
۱۹/۴۶	۷/۸	۲۳/۴۲	۲۳/۶۱	۲۰/۴۴	۲/۱۸	۲/۳۶	A2 سناریو
۲۱/۹۲	۸/۴۸	۲۹/۳۵	۲۵/۶۴	۲۳/۵۴	۲/۴۶	۲/۸۲	B2 سناریو
-۱۴%	-۲۱%	-۴۹%	-۳۲%	-۱۹%	-۱۹%	-۲۲%	A2 درصد تغییرات تحت
-۳%	-۱۵%	-۳۶%	-۲۶%	-۶%	-۷%	-۷%	B2 درصد تغییرات تحت

در جدول ۶ مشاهده می‌شود همه محصولات کاهش عملکرد داشته‌اند. نتایج جدول بالا با مراجع مختلف مانند ژانگ و نیرینگ (۲۰۰۵)، نصیری و همکاران (۲۰۰۶)، مساحیوانی و مرید (۱۳۸۴) و آبایی و همکاران (۱۳۸۹) و نیز افراد خبره ۱ کنترل شد. عملکرد محصولات غده‌ای مانند سیبزمینی و چغندر قند با کاهش عملکرد همراه هستند. افزایش دما در شب برای این نوع محصولات مفید نمی‌باشد، زیرا باعث می‌گردد گیاه در شب نیز تنفس داشته باشد. این عمل باعث می‌گردد تا گیاه از اندوخته خود که همان غده محصول است، مصرف کند. بنابراین در این نوع محصولات کاهش عملکرد منطقی به نظر می‌رسد. محصول گوجه نیز گیاهی است که به دما حساس می‌باشد، لذا هر تنش دمایی ایجاد شده در هر مرحله رشد محصول می‌تواند باعث کاهش عملکرد آن گردد.

راهبرد تطبیق با اثرات تغییر اقلیم بر عملکرد محصولات

به منظور ارزیابی راهبرد تطبیقی تغییر الگوی کشت، در انتها تاثیر آن با معیارهایی چون تنش آبی، عملکرد محصولات بر شد. همان طور که قبلاً ذکر BAU اساس کالری گیاهی تولید شده و نیز ورودی آب به دریاچه بررسی و نتایج با وضعیت راهبرد تنها شرایط اقلیمی تحت سناریوهای انتشار تغییر می‌کند و سایر عوامل مدیریتی مانند وضعیت موجود BAU شد در راهبرد خواهد بود. لازم به ذکر است که علت استفاده از کالری، عدم امکان برآورد قیمت‌ها برای دوره‌های آتی می‌باشد و از طرفی نیاز به معیاری برای ارزیابی عملکرد کلی سیستم است.

(پایه): این راهبرد در واقع تاثیر پدیده تغییر اقلیم روی سیستم منابع آب حوضه سیمینه رود بدون هرگونه راهکار BAU راهبرد و بر اساس شرایط فعلی را نشان می‌دهد. از آنجایی که این راهبرد مبنای مقایسه راهبرد تغییر الگوی کشت خواهد بود، ابتدا

اجرا و مقادیر تنش آبی، عملکرد، کالری تولیدی B2 و A2 برای سال‌های آبی ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۳ تحت دو سناریو اقلیمی انتشار محصولات و ورودی به دریاچه ارومیه در حوضه مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج این ارزیابی در جدول ۷ ارائه شده است. تفاوت نتایج این راهبرد با وضعیت موجود (جدول ۷) کاملاً قابل مشاهده و معنی دار است، بطوری که کالری تولیدی از $10^{11} \times 4/75$ به $10^{11} \times 3/52$ تقلیل یافته است. همچنین تنش‌های آبی گسترده‌تر و ورودی به دریاچه حدود ۴۰ درصد کاهش یافته است. لازم به ذکر می‌باشد در جدول ۷ منظور از شرایط حاضر، دوره شبیه سازی شده ۱۹۸۵ تا ۲۰۰۸ حوضه سیمینه رود می‌باشد.

BAU جدول (۷): مقادیر عملکرد، کالری تولیدی، تنش آبی و ورودی به دریاچه در راهبرد

مشخصات زیرکشت(هکتار)	عملکرد(تن در هکتار)	کالری تولید شده برای محصولات سطح 10^{11} (کیلوکالری) \times زیرکشت \times کالری \times عملکرد				تنش آبی (روز در ماه)	ورودی به MCM-دریاچه)
		A2 سناریو	A2 سناریو	B2 سناریو	A2 سناریو		
BAU راهبرد	۴۱۱۷۸	۲۸۰۶۰۵	۳۲۳۳۶۸	۳/۵۲	۴/۱۵	۲۸۶/۷	۴۰۰
شرایط حاضر	۴۱۱۷۸	۳۶۹۲۲۶		۴/۷۵		۱۳۴	۵۷۰

راهبرد تغییر الگوی کشت: جایگزین کردن گندم و جو با سایر محصولات و ارزیابی آن: تغییر الگوی کشت راهکار اساسی برای کاهش مصرف آب در بخش کشاورزی است. در این راهبرد محصولاتی با نیاز آبی کم مانند گندم و جو جایگزین محصولاتی با نیاز آبی بالا شامل چغندر قند، یونجه و صیفی‌جات می‌شوند. سطح زیر کشت سیب بدون تغییر در نظر گرفته شد. نتایج اجرای مدل و برآورد معیارهای مورد اشاره در جدول ۸ قابل مشاهده هستند که در ادامه به تشریح آن‌ها پرداخته می‌گردد. SWAT

جدول (۸): مقادیر عملکرد، کالری تولیدی، تنش آبی و ورودی به دریاچه در راهبرد الگو کشت

مشخصات زیرکشت(هکتار)	عملکرد(تن در هکتار)	کالری تولید شده برای محصولات سطح 10^{11} (کیلوکالری) \times زیرکشت \times کالری \times عملکرد				تنش آبی (روز در ماه)	ورودی به MCM-دریاچه)
		A سناریو	B سناریو	A2 سناریو	B2 سناریو		
راهبرد	۴۱۱۷۸	۱۷۸۴۷	۱۹۳۲۵	۴/۴۲	۵/۱۲	۵۷/۴۴	۴۶۳/۳
BA راهبرد	۴۱۱۷۸	۲۸۰۶۰	۳۲۳۳۶	۳/۵۲	۴/۱۵	۲۸۶/۷	۴۰۰

نتیجه گیری

با توجه به وضعیت نه چندان مناسب حوضه دریاچه ارومیه و نیز بحث پدیده تغییر اقلیم و تاثیرات آن، این تحقیق به منظور بررسی اثرات و تطبیق با آن انجام شد. برای این منظور ابتدا اثر تغییر اقلیم بر کشاورزی و منابع آب زیر حوضه سیمینه رود بررسی و سپس راهکار تطبیقی تغییر الگوی کشت به گندم و جو مورد ارزیابی قرار گرفته است. برای شبیه سازی آن‌ها مدل مورد استفاده قرار گرفت. نتایج زیر در این تحقیق قابل ارائه است: SWAT

راهبردها بر اساس تغییرات تنش‌های دمایی، آبی، کالری تولیدی محصولات و ورودی به دریاچه ارومیه از سمت سیمینه رود به (A2 و B2) مقدار تنش آبی تحت پدیده تغییر اقلیم در سناریوهای انتشار BAU بررسی شده‌اند. تحت راهبرد فقط مدیریت فعلی) ترتیب ۳۱ و ۱۹ درصد افزایش خواهد داشت. مقدار کالری تولیدی محصولات به ترتیب ۲۶، ۱۳ و ورودی به دریاچه ۳۰ و ۱۹ درصد کاهش به همراه دارد. به منظور اعمال راهبرد تطبیقی تغییر الگو کشت، با توجه به وجود الگوهای کشت پر مصرف مانند یونجه و چغندر قند به منظور تعدیل در برداشت آب توسط بخش کشاورزی، تغییر الگوی کشت به گندم و جو با نیاز آبی کمتر کاهش ۸۰ و ۷۵ درصدی را دارد. کالری BAU نسبت به راهبرد B2 و A2 بررسی شد. تنش آبی تحت هر دو سناریو انتشار BAU ۱۱ و ۱۴ درصد افزایش را نسبت به راهبرد تولیدی و ورودی به دریاچه نیز در دو سناریو انتشار به ترتیب ۱۹، ۲۱ نشان می‌دهد.

مراجع

، وکریمی، ب. (۱۳۸۹). "اثر تغییر اقلیمی بر عملکرد گندم و .، وردی نژاد، و. ر.، میرزایی، ف.، سهرابی، ت. آبایی، ب. تحلیل ریسکناشی از آن (مطالعه موردی: منطقه روددشت اصفهان)". دانش کشاورزی، ۲۰/۱، شماره ۳، صفحه ۱۴۸-۱۳۵.

، و مرید، س. (۱۳۸۴). ب. "اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب و تولید محصولات کشاورزی مطالعه موردی: حوضه مساحیوانی، ع زاینده رود اصفهان". تحقیقات منابع آب ایران، ۱، شماره ۱، صفحه ۴۷-۴۰.

وزارت نیرو، مهندسین مشاور جاماب، ۱۳۸۴، مطالعات برنامه جامع سازگاری با اقلیم، صص ۲۴۴-۲۵۳.

Abbaspour KC (2009) SWAT-CUP2; SWAT Calibration and Uncertainty Programs user manual. Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eewag), Swiss.

Arnold JG, Srinivasan P, Muttiah RS, Williams JR. (1998). "Largeareahydrologic modeling and assessment. Part I. Model development". Journal of the American Water Resources Association, 34: 73-89.

IPCC, (2007). "The scientific Basis". Contribution of working group I to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change, Cambridge University Press. New York, USA.

IPCC., (2001). in: Watson, R.T., Zinyowera, M.C., Moss, R.H., Dokken, D.J.(Eds.), Sepecial Report on The Regional Impacts of Climate Change, An Assessment of Vulnerability. Cambridge University Press, UK

Lakshmanan, A., Geethalakshmi, V., Srinivasan, R., Nagothu, U. S. and Annamalai, H. (2008). "CLIMATE change adaptation strategies in bhavani basin using SWAT model ", Journal of Hydrology (2008) 208-218.

Lobell, D. B., Christopher, B. F., Kimberly, N. C., Nicholas, C. and Celine, B. (2006), "Impacts of future climate change on California perennial crop yields: Model projections with climate and crop uncertainties ", Journal of Agricultural and Forest Meteorology 141 (2006) 208-218.

Nassiri, M., Koochaki, A., Kamali, G.A., Shahandeh, H. (2006). "Potential impact of climate change on rainfed wheat production in Iran". Archives of Agronomy and Soil Science. 52(1), 113-124.

Wilby, R.L., Hassan, H., Hanaki., (1997). statistical downscaling of hydrometeorological variables using general circulation model output, journal of hydrology, 205:1-19.

Yinhong, K., Shahbaz Khan, B., Xiaoyi, M. (2009). "Climate change impacts on crop yield, crop water productivity and food security – A review". Progress in Natural Science 19 (2009) 1665-1674.

Zhang, X. C. and Nearing, M. A.(2005). "Impact of climate change on soil erosion, runoff, and wheat productivity in central Oklahoma". Catena 61: 185-195.

Zhang, X. C. and Nearing, M. A.(2005). "Impact of climate change on soil erosion, runoff, and wheat productivity in central Oklahoma". Catena 61: 185-195.