

## ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر عملکرد محصولات و ارائه راهبرد تغییر الگوی کشت (مطالعه موردی: حوضه سیمینه‌رود)

مصطفی رضایی زمان<sup>۱</sup> و علی افروزی<sup>۲\*</sup>

(۱) دانش‌آموخته کارشناسی ارشد؛ دانشکده کشاورزی؛ گروه مهندسی منابع آب؛ دانشگاه تربیت مدرس؛ تهران؛ ایران  
(۲) \* دانشگاه آزاد اسلامی؛ واحد همدان؛ باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان؛ همدان؛ ایران  
\* نویسنده مسئول مکاتبات: afuzi@iauh.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۲/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۶/۲۸

### چکیده

پیش‌بینی و ارزیابی اثرات تغییر اقلیم در برنامه‌ریزی‌های آبی مدیران می‌تواند بسیار مؤثر باشد. ابزارهای مختلفی برای رسیدن به این هدف مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این تحقیق، مدل SWAT برای شبیه‌سازی و ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر محصولات در حوضه سیمینه‌رود استفاده شد و راهبرد تغییر الگوی کشت به‌عنوان یک راهکار تطبیقی مورد ارزیابی قرار گرفت. برای مدل‌سازی شرایط تغییر اقلیم در منطقه از خروجی‌های مدل گردش عمومی جوی-اقیانوسی HadCM3 تحت دو سناریو انتشار A2 و B2 بهره گرفته شد. این خروجی‌ها با استفاده از مدل SDSM ریزمقیاس‌نمایی شدند و داده‌های کمینه و بیشینه دما و بارندگی برای سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۳ به‌دست آمدند و به‌عنوان ورودی برای مدل SWAT به‌کار برده شدند. سپس مقادیر تنش‌های آبی و دمایی، عملکرد محصولات و جریان ورودی به دریاچه ارومیه تحت شرایط تغییر اقلیم برآورد و به‌عنوان راهبرد مدیریت فعلی (BAU) نام‌گذاری شد. نتایج حاکی از افزایش متوسط تنش آبی و دمایی و کاهش عملکرد محصولات بود. پس از ارزیابی اثرات تغییر اقلیم در حوضه، تغییر الگوی کشت به گندم و جو به‌عنوان راهبردی تطبیقی مورد ارزیابی قرار گرفت که نشان‌دهنده کاهش ۳۲ و ۲۴ درصدی تنش آبی تحت هر دو سناریو انتشار A2 و B2 نسبت به شرایط مدیریت فعلی (BAU) بود. همچنین کالری تولیدی و ورودی به دریاچه افزایشی به‌ترتیب برابر ۱۵/۶ و ۱۵/۸ درصد تحت سناریو A2 و ۱۱/۸ و ۱۲/۱ درصد تحت سناریو B2 را نسبت به شرایط BAU نشان داد.

کلید واژه‌ها: حوضه سیمینه‌رود؛ دریاچه ارومیه؛ HadCM3؛ SDSM؛ SWAT

### مقدمه

می‌گذارد. با این حال شدت و نوع این تأثیرات از یک منطقه به منطقه دیگر متفاوت است. به‌طوری که در برخی مناطق مقادیر بارندگی و دما افزایش و در برخی مناطق دیگر، همچون مناطق با اقلیم مدیترانه‌ای، مقدار بارندگی کاهش و دما افزایش می‌یابد (Aryal and Silberstein, 2013؛ آبابایی و همکاران، ۱۳۸۹؛ آبابایی و همکاران، ۱۳۹۳). از این‌رو مهم‌ترین وظیفه جوامع علمی کشورها در برخورد با تغییر اقلیم، بررسی اثرات آن بر سیستم‌های

افزایش گازهای گلخانه‌ای و تغییرات پارامترهای اقلیمی خاک اثرات منفی گسترده‌ای را تقریباً در تمامی مناطق کره زمین بر سیستم‌های مختلف همچون منابع آب، محیط زیست، کشاورزی، صنعت و بهداشت گذاشته است (IPCC, 2014). پدیده گرمایش جهانی با اثراتی که بر دما، خشک‌سالی، سیل، توزیع بارندگی، نوع بارش‌ها، رژیم بارش‌ها، ذوب برف و غیره می‌گذارد، باعث برهم خوردن تعادل هیدرولوژیکی شده و به‌طور مستقیم بر منابع آبی اثر

بازده بخاطر افزایش دما در شرایط تغییر اقلیم و آب کافی نسبت به تابستان بیشتر خواهد بود. همچنین سیستم کشت SRI<sup>۴</sup> نسبت به غرقابی عملکرد بهتری خواهد داشت. ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر تولید چهار محصول عمده زراعی گندم، جو، برنج و ذرت در حوضه آبریز زاینده رود که توسط Gohari و همکاران (۲۰۱۳) انجام شد، نشان داد، اتکاء این محصولات به آبیاری، آسیب‌پذیری بیشتر آنها به پدیده تغییر اقلیم را در پی خواهد داشت. همچنین مطالعه آنها نشان داد در اثر تغییر اقلیم در دوره ۲۰۱۵ تا ۲۰۴۴، دمای ماهانه به‌طور متوسط ۱/۱ تا ۱/۵ درجه سلسیوس و بارندگی سالانه ۱۱ تا ۳۱ درصد کاهش خواهد داشت. Kang و همکاران (۲۰۱۵) تأثیرات تغییر اقلیم را بر شاخص‌های بهره‌وری آب و عملکرد ذرت دیم و آبی در حوضه موری دارلینگ (جنوب شرق استرالیا) بررسی کردند. پیش‌بینی‌های آنها برای سال‌های ۲۰۲۰، ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ بیان‌کننده افزایش دمای هوا در همه سال‌ها و افزایش بارندگی تا سال ۲۰۲۰ و سپس کاهش آن تا سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ بود. به اعتقاد آنان نتیجه تغییرات فوق باعث افزایش مقدار تبخیر-تعرق و در پی آن افزایش عملکرد گیاه ذرت می‌شود. آنان با توجه به افزایش بارندگی‌ها و صعود سطح آب زیرزمینی، توسعه اراضی تحت کشت آبی را پیشنهاد دادند. Melkonyan (۲۰۱۵) با استفاده از مدل‌های GCM به بررسی آثار پدیده تغییر اقلیم بر منابع آب و عملکرد گیاهان در ارمنستان پرداخت. نتایج آن نشان داد نیاز آبی گیاهان زراعی تا سال ۲۰۴۰ نزدیک به دو برابر مقدار کنونی خود می‌رسد. Xu و همکاران (۲۰۱۴) با مطالعه اثرات تغییر اقلیم در ایالت آیداهو، تا ۳۲ درصد افت درآمد را در تولید محصولات زراعی پیش‌بینی کردند.

حوزه دریاچه ارومیه یکی از مهم‌ترین حوزه‌های کشور می‌باشد که در سال‌های اخیر نزول سطح آب دریاچه و خشکی قسمت‌هایی از آن منشاء بروز مشکلات عدیده‌ای در منطقه گشته است. سیمینه‌رود به‌عنوان یکی

مختلف و ارائه راهکارهای تطبیقی در مقابله با تبعات منفی آن در دوره‌های آتی می‌باشد که در این راستا مطالعاتی صورت گرفته است. از جمله آنها Lobell و همکاران (۲۰۰۶) اثر تغییر اقلیم بر روی عملکرد گیاهان چند ساله انگور، بادام، پرتقال، گردو و آووکادو را در کالیفرنیا آمریکا در دوره‌ی ۲۰۵۰ بررسی کردند. آنها دریافتند که اثر منفی تغییر اقلیم بر عملکرد این محصولات حتمی است و کاهش محصول تا بیش از ۴۰ درصد قابل پیش‌بینی می‌باشد. Zhang و همکاران (۲۰۰۵) نیز با ترکیب مدل WEPP<sup>۱</sup> و مولد اقلیم CLIGEN<sup>۲</sup> به بررسی اثر تغییر اقلیم بر مقادیر فرسایش خاک، مقدار رواناب و عملکرد گندم زمستانه پرداختند. آنها با استفاده از نتایج حاصل از مدل گردش عمومی HadCM3 تحت ۳ سناریوی تغییر اقلیم A2، B2 و GGA1 تغییرات مقادیر فرسایش، رواناب و عملکرد گندم زمستانه را تحت شرایط مدیریتی به‌ویژه نحوه شخم زمین برای دوره ۲۰۷۰-۲۰۹۹ شبیه‌سازی کردند. آنها برای عملکرد گندم تحت سناریو A2 و B2 حدود ۵ درصد کاهش و تحت سناریوی GGA1 حدود ۵ درصد افزایش را پیش‌بینی کردند. در این مطالعه تغییر عملکرد گندم زمستانه را معلول برهم‌کنش اثر منفی افزایش دما و اثر مثبت افزایش غلظت CO<sub>2</sub> دانستند. تأثیر تغییر اقلیم بر عملکرد محصولات در نقاط مختلف متفاوت است که می‌تواند باعث افزایش یا کاهش عملکرد محصول شود. این مسئله بستگی به طول و عرض جغرافیایی و روش آبیاری دارد (Yinhong et al., 2009). Lakshamanan و همکاران (۲۰۰۸) تأثیر تغییر اقلیم بر هیدرولوژی و بازده سطح زیر کشت برنج در حوضه بهاوانی<sup>۳</sup> با کاربرد مدل SWAT مورد بررسی قرار دادند. تغییر روش کشت، تناوب آبیاری و مدیریت کود از جمله راهکارهای تطبیقی بود که آنها مورد استفاده قرار دادند. تحقیقات آنها نشان داد بازده تولید برنج افزایش خواهد یافت و در ماه‌های زمستان این

<sup>۱</sup> Water Erosion Prediction Project

<sup>۲</sup> Climate Generator

<sup>۳</sup> Bhavani

<sup>۴</sup> System of Rice Intensification

آمار ۲ ایستگاه آب‌سنجی داشبند بوکان و میاندوآب انجام شد.

### ریزمقیاس کردن داده‌های اقلیمی

در مطالعات هیدرولوژی باید توجه داشت که معمولاً مساحت سلول‌های محاسباتی مدل‌های AOGCM بزرگ‌تر از وسعت منطقه مطالعاتی است. بنابراین برای استفاده از نتایج این مدل‌ها در سطح حوضه، باید خروجی‌های مدل ریزمقیاس‌نمایی شوند. برای ریزمقیاس‌نمایی، روش‌های مختلفی از جمله روش‌های تناسبی، آماری و دینامیکی توسعه یافته است (Hewitson and Crane, 1996). ریزمقیاس‌نمایی متغیرهای اقلیمی در روش‌های آماری با توجه به ارتباط بین متغیرهای اتمسفری بزرگ مقیاس به‌عنوان پیش‌بینی‌کننده<sup>۱</sup> و متغیرهای محلی به‌عنوان پیش‌بینی‌شونده<sup>۲</sup>، انجام می‌گیرد (Wilby et al., 1997). داده‌های فوق از پایگاه<sup>۳</sup> NCEP استخراج گردیدند. از آنجایی که ۲۶ متغیر پیش‌بینی‌کننده ارائه شده توسط این پایگاه می‌تواند روابط مختلفی با داده‌های پیش‌بینی‌شونده داشته باشند، لذا متغیری مهم‌تر است که اولاً بتواند رابطه بهتری با داده‌های مورد بررسی (دما و بارندگی) در دوره مشاهداتی داشته باشد و ثانیاً مدل AOGCM آن متغیر را به‌خوبی در دوره مشاهداتی شبیه‌سازی کرده باشد (Wilby et al., 1997). پس از انتخاب این متغیر می‌توان از آن برای ریزمقیاس‌نمایی داده‌های اقلیمی (بارش و دما) در منطقه استفاده کرد. بدین منظور ابتدا داده‌های مشاهداتی و داده‌های مدل‌های گردش عمومی با توجه به مقادیر میانگین و انحراف معیار آنها نرمال‌سازی شدند. این کار به این دلیل انجام شد که مدل‌های گردش عمومی نمی‌توانند به‌خوبی اقلیم محلی را مانند دیدبانی شبیه‌سازی نمایند. لذا مقایسه این دو با هم قبل از نرمال‌سازی می‌تواند موجب همبستگی‌های غیرمعقول گردد.

از مهم‌ترین ۱۴ رود اصلی تغذیه‌کننده 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. در این تحقیق از مدل SWAT برای شبیه‌سازی و ارزیابی در حوضه آبریز استفاده شد و اثرات پدیده تغییر اقلیم بر محصولات حوضه سیمینه‌رود بررسی شد و راهبرد تغییر الگوی کشت به‌عنوان یک راهکار تطبیقی مورد ارزیابی قرار گرفت. برای مدل‌سازی شرایط تغییر اقلیم در منطقه از خروجی‌های مدل گردش عمومی جو HadCM3، تحت دو سناریو انتشار A2 و B2، بهره گرفته شد و با ریزمقیاس‌نمایی آنها با استفاده از مدل SDSM، داده‌های کمینه و بیشینه دما و بارندگی برای سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۳ استخراج و به مدل SWAT اعمال گردید.

### مواد و روش‌ها

#### منطقه مطالعاتی و داده‌ها

سیمینه‌رود از رودهای مهم حوضه آبریز دریاچه ارومیه می‌باشد که در جنوب استان آذربایجان غربی و غرب حوضه آبریز زربینه‌رود جریان دارد. طول رود حدود ۲۰۰ کیلومتر، مساحت حوضه آبریز آن ۳۵۰۰ کیلومتر مربع و شامل ۱۱ زیر حوضه است (شکل ۱). حوضه سیمینه‌رود دارای سه دشت اصلی بوکان، حاجی‌آباد و غرب میاندوآب است که الگو و سطح زیر کشت این دشت‌ها در جدول ۱ آورده شده است.

برای پیش‌بینی سری متغیرهای اقلیمی (بیشینه و کمینه دما و بارندگی) نیاز به آمار دراز مدت می‌باشد. لذا ایستگاه سینوپتیک ارومیه به‌عنوان نزدیک‌ترین ایستگاه خارج از حوضه انتخاب و داده‌های آماری آن طی سال‌های ۱۹۷۱ تا ۲۰۰۰ تهیه شد و پس از بررسی‌های کیفی مورد استفاده قرار گرفت. همچنین تغییرات دما و بارندگی تحت تأثیر تغییر اقلیم مستخرج از آن برای ۶ ایستگاه (جدول ۲ و شکل ۱) حوضه سیمینه‌رود تعمیم داده شد. شبیه‌سازی فرآیند بارش-رواناب از سال ۱۹۸۵ تا ۲۰۰۸ با استفاده از

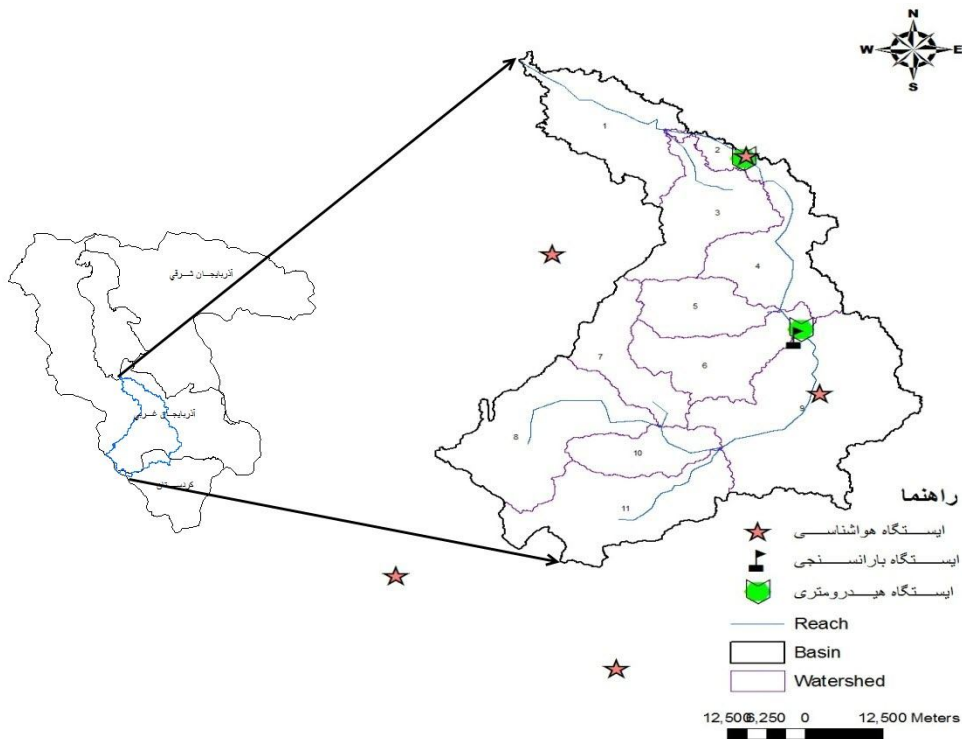
<sup>1</sup> Predictor

<sup>2</sup> Predictand

<sup>3</sup> National Center Environment Prediction

مدل SDSM، مدل HadCM3 انتخاب شد. بدین ترتیب ابتدا داده‌های NCEP برای دوره مشاهداتی ۱۹۷۱ تا ۲۰۰۰ استخراج شدند. همچنین، خروجی مدل HadCM3 طی سال‌های ۱۹۷۱ تا ۱۹۹۰ به‌منظور واسنجی، ۱۹۹۱ تا ۲۰۰۰ برای صحت‌سنجی و دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۳ به‌منظور شبیه‌سازی در آینده تهیه گردیدند.

متغیرهای پیش‌بینی‌کننده اطلاعات مربوط به حالت بزرگ مقیاس جو را فراهم می‌کنند در حالی که متغیرهای پیش‌بینی‌شونده حالت جو را در مقیاس نقطه‌ای یا محلی مشخص می‌کنند. در این مطالعه، با توجه به در دسترس بودن داده‌های NCEP و HadCM3 برای حوضه مطالعاتی، انتخاب مدل SDSM برای ریزمقیاس‌نمایی و در دسترس بودن پیش‌بینی‌کننده‌های مدل HadCM3 برای



شکل ۱. نقشه زیر حوضه سیمینه‌رود و ایستگاه‌های هواشناسی و آب‌سنجی تحت مطالعه

جدول ۱. محصولات عمده دشت‌های واقع در محدوده مطالعاتی به‌همراه تاریخ کشت و برداشت آنها (وزارت نیرو، ۱۳۸۴)

مشخصات محصول	سطح زیر کشت در هر یک از دشت‌ها (ha)			تاریخ کشت	تاریخ برداشت	میزان کود مصرفی سالانه ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	
	بوکان	حاجی آباد	غرب میاندوآب			ازته	فسفاته
گندم	۶۹۴۴	۴۳۴۱	۷۸۴۰	۱۵ مهر	۱۰ تیر	۱۲۰	۱۴۰
جو	۱۸۷۵	۸۷۵	۳۸۹۴	۱۵ مهر	۱۰ تیر	۱۲۰	۱۴۰
سیب‌زمینی	۱۶۲	۱۷۰	۲۱۰	۱۵ اردیبهشت	۱۵ مهر	۲۲۵	۲۶۰
چغندر قند	۴۶۵	۲۰۵	۱۶۸۴	۱۰ فروردین	۳۰ مهر	۳۰۰	۳۴۰
یونجه	۲۱۷۹	۱۸۹۴	۳۷۶۸	۱۰ فروردین	۱۰ مهر	۲۲۰	۲۷۰
سیب	۸۴۸	۳۴۴	۲۷۲۶	۱۰ اردیبهشت	۳۰ مهر	۳۵۰	۳۸۰
گوچه	۳۴۲	۱۳۴	۲۵۸	۱۰ خرداد	۱۰ مهر	۳۹۰	۴۵۵

جدول ۲. مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی مورد بررسی

ایستگاه	نوع ایستگاه	طول جغرافیایی (درجه)	عرض جغرافیایی (درجه)	ارتفاع (متر)	طول دوره آماری
میاندوآب	سینوپتیک	۴۶۷۰۴	۳۶۷۹۶	۱۳۰۰	۲۰۰۸-۲۰۰۲
آقداچی	باران‌سنجی	۴۶۷۱۶	۳۶۷۹۳	۱۳۱۱	۲۰۰۷-۱۹۹۷
مهاباد	سینوپتیک	۴۵۷۷۱	۳۶۷۷۶	۱۳۸۵	۲۰۰۸-۱۹۸۵
سردشت	سینوپتیک	۴۵۷۴۹	۳۶۷۱۵	۱۶۷۰	۲۰۰۸-۱۹۸۶
بوکان	باران‌سنجی	۴۶۷۲۲	۳۶۷۵۳	۱۳۸۶	۲۰۰۸-۲۰۰۵
بانه	سینوپتیک	۴۵۷۹۰	۳۶۷۰۰	۱۶۰۰	۲۰۰۸-۲۰۰۰

### مدل SDSM

در پژوهش حاضر برای ریزمقیاس‌نمایی از مدل SDSM، که از جمله روش‌های آماری است، استفاده شد. این مدل بر اساس روش رگرسیون خطی چندگانه ارتباط آماری بین رفتارهای بزرگ مقیاس و محلی را برقرار می‌سازد. این ارتباط، با فرض اینکه ریزمقیاس‌نمایی آماری مستقل از زمان است، با استفاده از داده‌های مشاهده‌ای در ایستگاه هواشناسی و خروجی‌های مدل AOGCM در یک دوره مشترک ایجاد می‌شود (Wilby and Dawson, 2007). این نرم‌افزار امکان ریزمقیاس‌نمایی داده‌های تغییر اقلیم به روش آماری را دارد.

### مدل SWAT

مدل SWAT در مرکز تحقیقات وزارت کشاورزی آمریکا توسعه داده شده است (Arnold et al., 1998). این مدل برای پیش‌بینی تأثیر روش‌های مختلف مدیریت زمین بر مقادیر آب، رسوب و مواد شیمیایی در سطح حوضه‌های آبریز پیچیده و بزرگ با انواع خاک، کاربری زمین و شرایط مختلف مدیریتی در دراز مدت طراحی شده است. از این رو این مدل برای مطالعات تطبیق با پدیده تغییر اقلیم گزینه مناسبی به‌شمار می‌رود. مدل SWAT نیمه‌توزیعی می‌باشد که در آن تعریف واحدهای همگن هیدرولوژیکی (HRU<sup>1</sup>) جهت اجرای مدل و شبیه‌سازی متغیرهای مورد نظر (مانند متغیرهای هیدرولوژیکی، عملکرد، بهره‌وری و غیره) بسیار اهمیت دارد. این کار با تعریف توپوگرافی حوضه با استفاده

<sup>1</sup> Hydrological Response Unit

از نقشه DEM و معرفی نقشه‌های کاربری اراضی و خاک صورت می‌گیرد. چرخه هیدرولوژیکی که در مدل SWAT شبیه‌سازی می‌شود، بر اساس معادله بیلان استوار است. بررسی تأثیر تغییر اقلیم در سیستم یک حوضه در مدل SWAT با تغییر در ورودی داده‌های مدل قابل شبیه‌سازی است. مدل SWAT به کاربر اجازه می‌دهد تا در هر زیرحوضه، میزان تغییرات بارندگی، دما، تابش خورشید، رطوبت و سطح دی‌اکسیدکربن را متناسب با خروجی‌های مدل‌های AOGCM تغییر دهد. برای بارش و دما روابط مطابق زیر هستند.

$$T_{mx} = T_{mx} + adj_{tmp} \quad (1)$$

$$T_{mn} = T_{mn} + adj_{tmp} \quad (2)$$

$$R_{day} = R_{day} \left( 1 + \frac{adj_{pcp}}{100} \right) \quad (3)$$

که در روابط فوق  $R_{day}$  مقدار بارندگی در زیرحوضه (mm)،  $adj_{pcp}$  درصد تغییرات در بارندگی،  $T_{mx}$  بیشینه دما (°C)،  $adj_{tmp}$  تغییر در دما (°C)،  $T_{mn}$  دمای کمینه روزانه (°C) و  $adj_{tmp}$  تغییر در دما (°C) می‌باشند. این تغییرات به‌طور ماهیانه قابل ارائه می‌باشند.

### راهبرد تطبیقی تغییر الگوی کشت

تغییر الگوی کشت راهکاری اساسی برای کاهش مصرف آب در بخش کشاورزی است. بدیهی است در این راهکار بحث‌های اقتصادی و اجتماعی نیز دخیل هستند که خارج از افق کاری این تحقیق می‌باشند. برای اعمال این راهبرد در مدل SWAT در قسمت HRU Definition با توجه به سطح زیر کشت مورد نظر، مقادیر

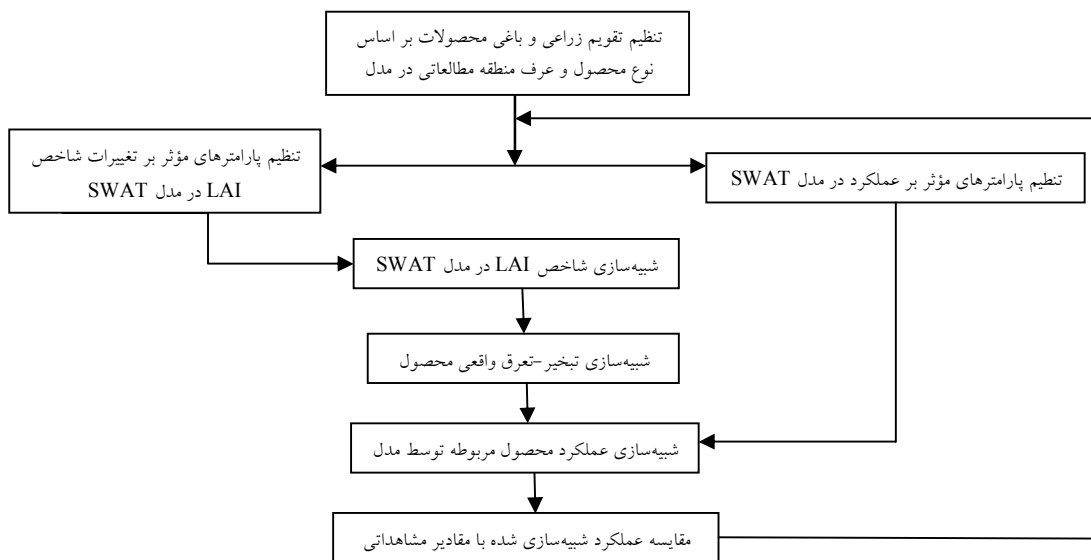
تشکیل HRUها از مراحل مهم در تنظیم مدل می باشد که بر اساس لایه های نوع خاک، کاربری اراضی و شیب یکسان تشکیل می شوند. بر این اساس، مدل SWAT حوضه را به ۱۹۴ HRU یا واحد همگن هیدرولوژی تبدیل کرد. دیگر پارامترهای مربوط به مؤلفه های اصلی مدل مانند اطلاعات و پارامترهای گیاهی (Dat.)، خاک شناسی (Sol.)، آب زیرزمینی (Gw.)، قسمت مدیریتی (Mgt.) و رود (Rte.) بر اساس آمار و داده های موجود و به طور اولیه، به مدل معرفی شدند و در مرحله واسنجی نهایی گردیدند.

آن تعریف گردید. با توجه به حجم بالای روابط محاسباتی، در این قسمت تنها مراحل انجام کار و پارامترهای مؤثر بر آن ارائه می گردد (شکل ۲).

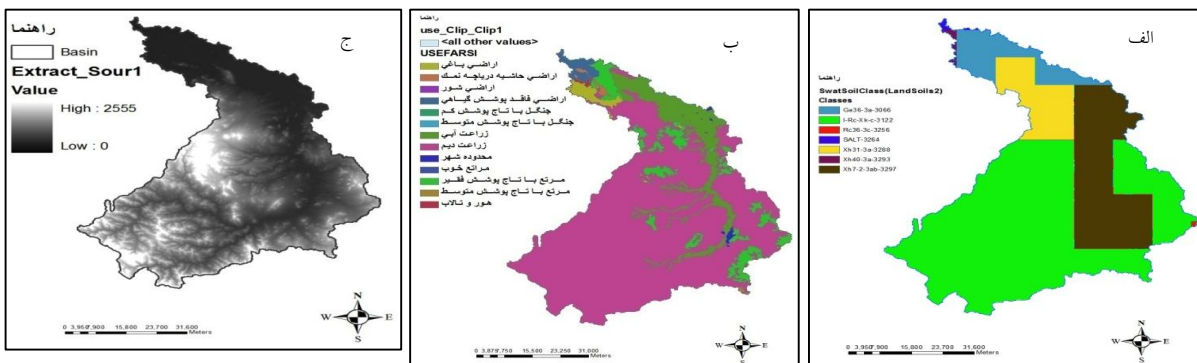
### نتایج و بحث

#### آماده سازی مدل SWAT

علاوه بر داده های اقلیمی، مدل به نقشه های رقومی ارتفاع (DEM)، خاک و کاربری اراضی نیاز دارد (شکل ۳).



شکل ۲. نمودار گردش مراحل شبیه سازی عملکرد در مدل SWAT



شکل ۳. نقشه لایه های مورد استفاده در SWAT. الف) لایه خاک ب) لایه کاربری اراضی ج) لایه Dem

واسنجی و صحت‌سنجی مدل

مدل با استفاده از داده‌های ۲ ایستگاه هیدرومتری داشبند بوکان و میان‌دوآب و واسنجی و صحت‌سنجی شد. با توجه به فایل‌های ورودی مدل که 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 نرم‌افزار SWAT-CUP انجام شد که نتایج آن در جدول ۳ قابل مشاهده است (Abbaspour, 2009). رتبه‌بندی پارامترها توسط دو مقدار

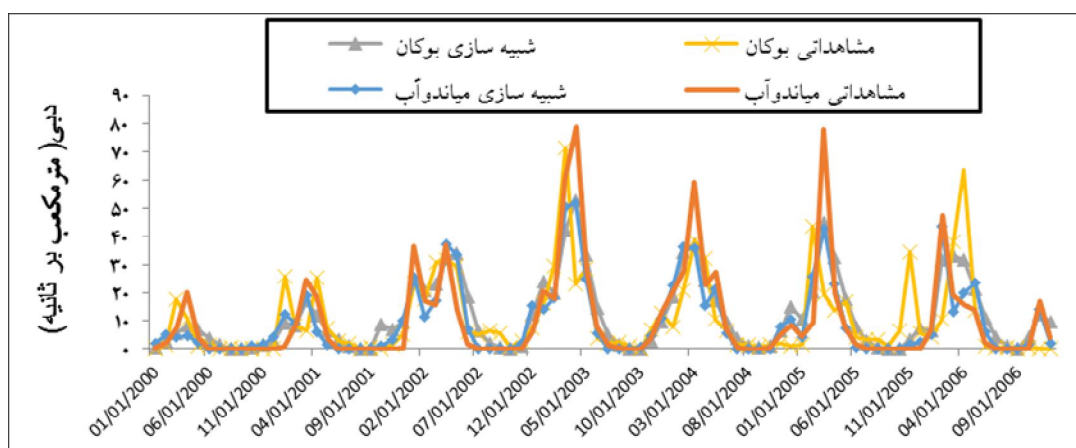
p-value و t-state مشخص شدند. به این صورت که هر چه قدر مطلق t-state بیشتر و p-value آن نزدیک به صفر باشد، آن پارامتر تأثیر بالاتری دارد. با توجه به موارد ذکر شده چگالی مطلق خاک (SOL\_BD) و شماره منحنی (CN2) بیشترین تأثیر را روی دبی خروجی داشت. در جدول ۴ مقادیر ضرایب تبیین ( $R^2$ ) و نش (Nash) جهت ارزیابی مدل، ارائه شده است. شکل‌های ۴ و ۵ تغییرات سری زمانی رواناب شبیه‌سازی شده توسط مدل SWAT و مشاهداتی برای ایستگاه‌های آب‌سنجی داشبند بوکان و میان‌دوآب را نشان می‌دهد.

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

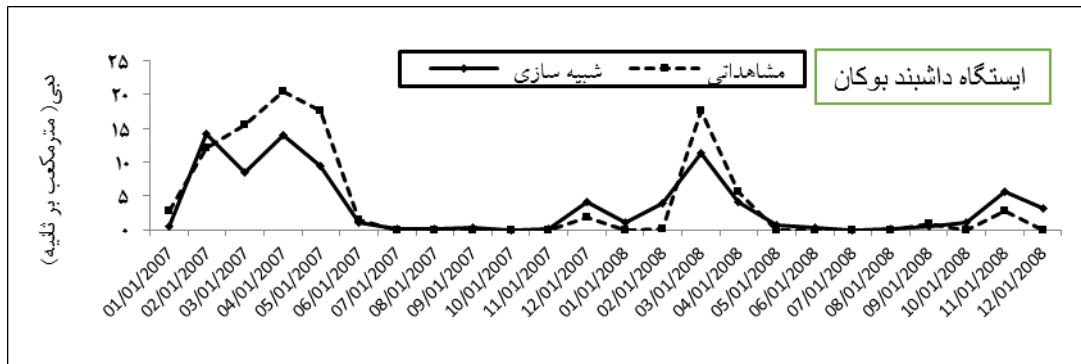
رتبه	پارامتر	p-value	t-stat
۱	SOL-BD	۰	۷/۹۴
۲	CN2	۰	۶۷
۳	SOL_K	۰/۰۰۴	۶/۰۷
۴	GWQMN	۰/۰۰۱	۳/۲۹
۵	ALPHA_BNK	۰/۰۱	۳/۱۲

جدول ۴. نتایج واسنجی و صحت‌سنجی مدل برای ایستگاه‌های هیدرومتری در طول سیمینه‌رود

شماره ایستگاه	نام ایستگاه	واسنجی			صحت‌سنجی	
		دوره آماری	$R^2$	Nash	دوره آماری	$R^2$
۱	داشبند بوکان	۲۰۰۶-۲۰۰۰	۰/۷۸	۰/۶۱	۲۰۰۸-۲۰۰۶	۰/۷
۲	میان‌دوآب	۲۰۰۶-۲۰۰۰	۰/۵۴	۰/۵۱	۲۰۰۸-۲۰۰۶	۰/۳



شکل ۴. مقایسه سری زمانی دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده برای دوره واسنجی در ایستگاه‌های میان‌دوآب و بوکان



شکل ۵. مقایسه سری زمانی دبی مشاهداتی و شبیه سازی شده برای دوره صحت سنجی در ایستگاه داشبند بوکان

جدول ۵. عملکرد شبیه سازی محصولات توسط مدل SWAT و عملکرد واقعی محصولات منطقه مورد مطالعه در شرایط حاضر یا دوره ۱۹۸۵ تا ۲۰۰۸

مشخصات	(۱)	(۲)	(۳) عملکرد (ton ha <sup>-1</sup> )		(۴)	(۵) کالری تولیدی در حوضه (۱۰ <sup>۱۱</sup> ×kcal)	(۶) تنش آبی (روز در دوره کشت)		
			کالری	سطح زیر کشت (ha)				مشاهداتی	شبیه سازی شده
گندم	۱۹۱۲۵	۴۰۰۰	۳/۴۰	۳/۰۳	۲/۳۱	۱۴/۷۸			
جو	۶۶۶۴	۴۰۰۰	۲/۴۴	۲/۶۲	۰/۶۹	۸/۸۶			
سیب زمینی	۵۴۲	۷۶۰	۲۰/۶۴	۲۴/۹۸	۰/۰۸	۲۲/۴۳			
چغندر قند	۲۳۵۴	۸۸۰	۴۸/۶۵	۴۵/۳۸	۰/۹۴	۱۷/۱۶			
گوجه	۷۳۴	۲۰۰	۳۴/۷۶	۳۴/۲۹	۰/۰۵	۳۲/۷۵			
یونجه	۷۸۴۱	۲۹۰	۹/۰۳	۹/۹۲	۰/۲۲	۱۲/۱۶			
سیب	۳۹۱۸	۴۷۵	۲۲/۰۰	۲۲/۵۸	۰/۴۲	۱۱/۲۶			
جمع کل	۴۱۱۷۸				۴/۷۵				

### شبیه سازی عملکرد گیاهی در مدل SWAT

در مدل SWAT ابتدا برای هر روز از دوره شبیه سازی، پتانسیل رشد و عملکرد گیاهی برای گیاهان مختلف محاسبه و سپس رشد و عملکرد واقعی آنها شبیه سازی می شود. وقتی عمل برداشت انجام می شود، قسمتی از توده گیاه به عنوان عملکرد آن از هر HRU برداشت می شود. بخشی از توده خشک گیاه که در بالای زمین برداشت می شود، شاخص برداشت نامیده می شود. برای اکثر گیاهان این شاخص بین ۰ تا ۱ می باشد. برای گیاهان ریشه ای یا غده ای مانند سیب زمینی ممکن است شاخص برداشت بزرگتر از یک نیز باشد.

### واسنجی و صحت سنجی عملکرد محصولات

شبیه سازی عملکرد محصول در دوره پایه نیز از جمله مواردی بود که در این مطالعه به آن پرداخته شد. بدین منظور محصولات عمده مورد کشت منطقه مطالعاتی شامل گندم، جو، سیب زمینی، گوجه فرنگی، چغندر قند، یونجه و سیب به عنوان الگوی کشت غالب منطقه به مدل معرفی شد و به منظور شبیه سازی هر چه بهتر و واقعی تر عملکرد محصولات، برخی پارامترهای گیاهی که در پایگاه داده های مدل SWAT قرار دارند، مورد تعدیل قرار گرفت. مقادیر این پارامترها با توجه به نوع محصول و منطقه مورد مطالعه متفاوت می باشند. عملکرد شبیه سازی شده محصولات در جدول ۵ قابل مشاهده است.



جدول ۶. تغییرات عملکرد محصولات تحت سناریو انتشار A2 و B2 در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۳ نسبت به دوره پایه ۱۹۸۵-۲۰۰۸

سناریو	محصول	گندم	جو	سیب‌زمینی	گوجه	چغندر قند	یونجه	سیب
سناریو پایه (ton ha <sup>-1</sup> )		۳/۰۳	۲/۶۲	۲۴/۹۸	۳۴/۲۹	۴۵/۳۸	۹/۹۲	۲۲/۵۸
سناریو A2 (ton ha <sup>-1</sup> )		۲/۳۶	۲/۱۸	۲۰/۴۴	۲۳/۶۱	۲۳/۴۲	۷/۸	۱۹/۴۶
سناریو B2 (ton ha <sup>-1</sup> )		۲/۸۲	۲/۴۶	۲۳/۵۴	۲۵/۶۴	۲۹/۳۵	۸/۴۸	۲۱/۹۲
درصد تغییرات تحت A2 (درصد)		-۲۲	-۱۹	-۱۹	-۳۲	-۴۹	-۲۱	-۱۴
درصد تغییرات تحت B2 (درصد)		-۷	-۷	-۶	-۲۶	-۳۶	-۱۵	-۳

در جدول ۶ مشاهده می‌شود همه محصولات کاهش عملکرد داشته‌اند. نتایج جدول ۶ با مراجع مختلف مانند Zhang و Nearing (۲۰۰۵)، Nassiri و همکاران (۲۰۰۶)، مساح بوانی و مرید (۱۳۸۴) و آبابایی و همکاران (۱۳۸۹) 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 فرآیند 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 گوجه‌فرنگی 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 ارزیابی راهبرد تطبیقی تغییر الگوی کشت با معیارهایی چون تنش آبی، کالری گیاهی تولید شده و نیز ورودی آب به دریاچه بررسی و نتایج با وضعیت راهبرد BAU<sup>۱</sup> مقایسه شد. با توجه به عدم امکان برآورد قیمت‌ها در دوره‌های آتی، مقدار کالری تولیدی محصولات زراعی در سطح حوضه به عنوان معیار برای ارزیابی عملکرد کلی سیستم استفاده شد.

<sup>۱</sup> Be As Usually

### شبیه‌سازی حوضه تحت تأثیر تغییر اقلیم در مدل SWAT

مدل SWAT دارای امکاناتی برای در نظر گرفتن تأثیر پدیده تغییر اقلیم در واحد هیدرولوژیکی حوضه می‌باشد. بدین منظور ابتدا درصد تغییرات میانگین بارندگی ماهانه و اختلاف دمای متوسط بین داده‌های مشاهداتی ایستگاه ارومیه (۱۹۷۱ تا ۲۰۰۰) و دوره آتی (۲۰۱۰ تا ۲۰۳۳) برآورد و به مدل اعمال گردید. با توجه به تأثیر تغییر اقلیم بر روی تمام اجزاء سیستم حوضه، از جمله عملکرد محصولات، بررسی و ارزیابی آن مهم و ضروری است. بدیهی است به دلیل افزایش دما و تابش خورشیدی، تغییر اقلیم بر دوره رشد، گل‌دهی، فتوسنتز، تنفس و سایر موارد گیاهان به طور مستقیم و غیرمستقیم تأثیر گذاشته و نهایتاً باعث تغییر عملکرد محصولات می‌شود. در جدول ۶ این تغییرات تحت هر دو سناریو A2 و B2 (۲۰۱۰-۲۰۳۳) نسبت به دوره پایه (۱۹۸۵-۲۰۰۸) ارائه شده است. یکی از عوامل محدودکننده 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 بیشینه عملکرد خود می‌رسد ولی در واقعیت تنش‌های آبی و دمایی همواره همراه گیاه می‌باشند. این فاکتور در مدل SWAT با اثرگذاری بر شاخص برداشت (HVST) بر عملکرد محصولات شبیه‌سازیم شده تأثیر می‌گذارد (Neitsch, et al., 2002).

جدول ۷. مقادیر عملکرد، کالری تولیدی، تنش آبی و ورودی به دریاچه در راهبرد BAU (۲۰۱۰ تا ۲۰۳۳) و شرایط حاضر (۱۹۸۵ تا ۲۰۰۸)

(۱۰)	(۹)	(۸)	(۷)	(۶)	(۵)	(۴)	(۳)	(۲)	(۱)	مشخصات
B2	A2	B2	A2	$10^{11} \times (4) \times (2) \times (1)$	$10^{11} \times (3) \times (2) \times (1)$	B2	A2	B2	A2	گندم
۴۶۳	۴۰۰	۳۱/۱۳	۳۷/۴۱	۲/۱۵	۱/۸	۲/۸۲	۲/۳۶	۴۰۰۰	۱۹۱۲۵	گندم
		۲۸/۱۵	۲۹/۲۳	۰/۶۵	۰/۵۸	۲/۴۶	۲/۱۸	۴۰۰۰	۶۶۶۴	جو
		۲۷/۵۱	۳۶/۵۳	۰/۰۹	۰/۰۸	۳۳/۵۴	۲۰/۴۴	۷۶۰	۵۴۲	سیب‌زمینی
		۲۲/۳۳	۳۸/۴۲	۰/۶	۰/۴۸	۲۹/۳۵	۳۳/۴۲	۸۸۰	۳۳۵۴	چغندر قند
		۶۱/۷۹	۴۳/۲۴	۰/۲۴	۰/۰۳	۲۵/۶۴	۲۳/۶۱	۲۰۰	۷۳۴	گوجه
		۲۲/۱۷	۴۰/۴۱	۰/۱۹	۰/۱۷	۸/۴۸	۷/۸	۲۹۰	۷۸۴۱	یونجه
		۳۲/۴۲	۴۴/۹۶	۰/۴۰	۰/۳۶	۲۱/۹۲	۱۹/۴۶	۴۷۵	۳۹۱۸	سیب
				۴/۱۵	۲/۵۲				۴۱۱۷۸	جمع کل راهبرد BAU
۵۷۰				۴/۷۵					۴۱۱۷۸	شرایط حاضر

جدول ۸. مقادیر عملکرد، کالری تولیدی، تنش آبی و ورودی به دریاچه در راهبرد تغییر الگوی کشت

(۱۰)	(۹)	(۸)	(۷)	(۶)	(۵)	(۴)	(۳)	(۲)	(۱)	مشخصات
B2	A2	B2	A2	$10^{11} \times (4) \times (2) \times (1)$	$10^{11} \times (3) \times (2) \times (1)$	B2	A2	B2	A2	گندم
۵۱۹	۴۶۳/۳	۲۸/۲۸	۳۳/۰۲	۲/۹۱	۲/۵۳	۲/۹۳	۲/۵۵	۴۰۰۰	۲۴۸۱۰	گندم
		۱۲/۹۲	۱۳/۹۲	۱/۳۳	۱/۱۸	۲/۶۸	۲/۳۶	۴۰۰۰	۱۲۴۵۰	جو
		۱۱/۳۲	۱۲/۶۶	۰/۴۰	۰/۳۶	۲۱/۹۲	۱۹/۴۶	۴۷۵	۳۹۱۸	سیب
				۴/۶۴	۴/۰۷				۴۱۱۷۸	جمع کل راهبرد تغییر الگوی کشت
۴۶۳	۴۰۰			۴/۱۵	۲/۵۲				۴۱۱۷۸	راهبرد BAU

**راهبرد تغییر الگوی کشت:** این راهبرد، راهکاری اساسی برای کاهش مصرف آب در بخش کشاورزی است. در این مطالعه، راهبرد تغییر الگوی کشت با جایگزینی محصولات کم‌آب‌بر گندم و جو به‌جای محصولات چغندرقد سیب‌زمینی، یونجه و گوجه‌فرنگی بررسی شد. همچنین سطح زیر کشت سیب، با توجه به باغی بودن محصول، بدون تغییر در نظر گرفته شد. نتایج اجرای مدل SWAT و برآورد معیارهای مورد اشاره در جدول ۸ قابل مشاهده هستند. با توجه به جدول ۸ مشاهده می‌شود که به‌ترتیب تحت سناریوهای انتشار A2 و B2 کالری تولیدی ۱۵/۶ و ۱۱/۸ درصد و ورودی به دریاچه ۱۵/۸ و ۱۲/۱ درصد افزایش را نسبت به راهبرد BAU نشان داد. با بررسی جدول ۹ تأثیر پدیده تغییر اقلیم و راهبرد تغییر الگوی کشت به‌ترتیب بر تشدید و تخفیف تنش آبی در حوضه آشکار می‌شود. با توجه به این جدول مشاهده می‌شود مقدار تنش آبی در دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۳ نسبت به شرایط حاضر به‌ترتیب تحت سناریوهای A2 و B2 مقدار ۱۷۴ و ۱۱۵ درصد افزایش داشته است، که اثرات پدیده تغییر اقلیم بر محصولات را نشان می‌دهد. همچنین نتایج جدول ۹ نشان می‌دهد با اتخاذ راهبرد تغییر الگوی کشت در سطح حوضه، می‌توان تنش آبی را به‌ترتیب تحت دو سناریو انتشار A2 و B2 به مقدار ۳۲ و ۲۴ درصد نسبت به راهبرد BAU کاهش داد.

**راهبرد BAU (پایه):** در راهبرد BAU تنها شرایط اقلیمی تحت سناریوهای انتشار تغییر می‌کند و سایر عوامل مدیریتی مانند وضعیت موجود خواهد بود. این راهبرد در واقع تأثیر تغییر اقلیم روی منابع آب حوضه سیمینه‌رود بدون در نظر گرفتن هرگونه راهکار و بر اساس شرایط فعلی را نشان می‌دهد. از آنجا که این راهبرد مبنای مقایسه راهبرد تغییر الگوی کشت خواهد بود، ابتدا برای سال‌های آتی ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۳ تحت دو سناریو اقلیمی انتشار A2 و B2 اجرا و مقادیر تنش آبی، عملکرد، کالری تولیدی 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 در جدول ۷ قابل مشاهده است، به‌طوری که کالری تولیدی در سطح حوضه از  $10^{11} \times 4/75$  به  $10^{11} \times 3/52$  و  $10^{11} \times 4/15$  کیلوکالری به‌ترتیب تحت سناریوهای A2 و B2 تقلیل می‌یابد. همچنین تنش‌های آبی گسترده‌تر و ورودی به دریاچه حدود به‌ترتیب تحت سناریوهای A2 و B2 به مقدار ۳۰ و ۱۹ درصد کاهش یافته است. حجم آب ورودی سالانه به دریاچه نیز از ۵۷۰ به ۴۰۰ و ۴۶۳ میلیون متر مکعب به‌ترتیب تحت سناریوهای A2 و B2 کاهش پیدا می‌کند. لازم به‌ذکر می‌باشد در جدول ۷ منظور از شرایط حاضر، دوره شبیه‌سازی شده ۱۹۸۵ تا ۲۰۰۸ حوضه سیمینه‌رود می‌باشد.

جدول ۹. تنش آبی تحت شرایط و راهبردهای مختلف

دوره/راهبرد	سناریو	تعداد محصولات عمده در سطح حوضه	میانگین وزنی* تنش آبی محصولات (روز در دوره کشت)
شرایط حاضر	-	۷	۱۳/۵۵
راهبرد BAU	A2	۷	۳۷/۰۶
	B2	۷	۲۹/۱۲
راهبرد تغییر الگوی کشت	A2	۳	۲۵/۳۱
	B2	۳	۲۲/۰۲

\* - مساحت اختصاص یافته به هر کشت (ستون شماره ۱ در جداول ۷ و ۸) به‌عنوان وزن در میانگین‌گیری وزنی استفاده شد.

**نتیجه‌گیری**

در این مطالعه اثرات تغییر اقلیم در حوضه دریاچه ارومیه بررسی و راهکارهای تطبیق با آن ارائه گردید. بدین منظور ابتدا اثر تغییر اقلیم بر کشاورزی و منابع آب زیرحوضه سیمینه‌رود بررسی شد و سپس راهکار تطبیقی تغییر الگوی کشت به گندم و جو مورد ارزیابی قرار گرفت. در شبیه‌سازی پدیده تغییر اقلیم از مدل HadCM3 و در شبیه‌سازی هیدرولوژیکی و کشاورزی در حوضه از مدل SWAT استفاده شد. راهبردها بر اساس تغییرات تنش‌های دمایی، آبی، کالری تولیدی محصولات و ورودی به دریاچه ارومیه از سیمینه‌رود بررسی شدند.

نتایج شبیه‌سازی‌ها و بررسی سناریوهای مختلف نشان داد، تحت راهبرد BAU مقدار تنش آبی تحت تأثیر تغییر اقلیم در سناریوهای انتشار A2 و B2 به ترتیب ۱۷۴ و ۱۱۵ درصد افزایش خواهد داشت و 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 الگوی کشت، با توجه به وجود الگوهای کشت پرآب‌بر مانند یونجه و چغندرقد، به منظور تعدیل در برداشت آب توسط بخش کشاورزی، تغییر الگوی

کشت به گندم و جو با نیاز آبی کمتر بررسی شد. تنش آبی تحت راهبرد تغییر الگوی کشت نسبت به راهبرد BAU کاهش ۳۲ و ۲۴ درصدی را به ترتیب تحت دو سناریو انتشار A2 و B2 در پی دارد. همچنین کالری تولیدی و ورودی به دریاچه نیز در دو سناریو انتشار A2 و B2 به ترتیب ۱۵/۶، ۱۱/۸ و ۱۵/۸ و ۱۲/۱ درصد افزایش را نسبت به راهبرد BAU نشان می‌دهد.

با توجه به تأثیر قطعی تغییر اقلیم بر بخش‌های مختلف منابع آب و کشاورزی پیشنهاد می‌شود، راهبردهای کم‌آبیاری، تغییر تاریخ کشت مورد ارزیابی قرار گیرد. در این مطالعه تغییرات احتمالی در وضعیت منابع آب حوضه دریاچه ارومیه که می‌تواند ناشی از انتقال بین حوضه‌ای آب و احداث یا تعدیل در سازه‌های آبی و سدها باشد، در نظر گرفته نشده است. بدین ترتیب پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های آتی با فرض سناریوهایی که تغییرات سازه‌ای را در سطح حوضه در نظر می‌گیرند، انجام شود. همچنین با توجه عدم قطعیت‌های موجود در مدل‌های اقلیمی توصیه می‌گردد در پژوهش‌های بعدی این مسئله لحاظ گردد.

**فهرست منابع**

- آبابایی، ب.، سهرابی، ت.، میرزایی، ف.، وردی نژاد، و. ر.، و کریمی، ب. ۱۳۸۹. اثر تغییرات اقلیمی بر عملکرد گندم و تحلیل ریسک ناشی از آن (مطالعه موردی: منطقه روددشت اصفهان). دانش کشاورزی، ۱(۳): ۱۴۸-۱۳۵.
- آبابایی، ب.، سرائی تیریزی، فرهادی بانسوله، ب.، سهرابی، ت. و میرزایی، ف. ۱۳۹۳. واسنجی مدل CERES-Barley با استفاده از روش مدل‌سازی معکوس تحت شرایط کم‌آبیاری. نشریه حفاظت منابع آب و خاک، ۲(۲): ۴۸-۳۷.
- مساح بوانی، ع.، و مرید، س. ۱۳۸۴. اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب و تولید محصولات کشاورزی مطالعه موردی: حوضه زاینده رود اصفهان. تحقیقات منابع آب ایران ۱(۱): ۴۷-۴۰.
- وزارت نیرو، مهندسین مشاور جاماب، ۱۳۸۴. مطالعات برنامه 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., and Williams JR. 1998. Large area hydrologic modeling and assessment. Part I. Model development. Journal of the American Water Resources Association, 34: 73-89.

Gohari, A., Eslamian, S., Abedi-Koupaei, J., Bavani, A. M., Wang, D., and Madani, K. 2013. Climate change impacts on crop production in Iran's Zayandeh-Rud River Basin. Science of the Total Environment, 442, 405-419.

- Hewitson B.C. and Crane R.G. 1996. Climate downscaling: Techniques and application. *Climate Research*, 7(2): 85–95.
- IPCC, 2014. *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- Kang Y., Khan S., and Ma X. 2015. Analysing Climate Change Impacts on Water Productivity of Cropping Systems in the Murray Darling Basin, Australia. *Irrigation and Drainage*, doi: 10.1002/ird.1914.
- Lakshmanan, A., Geethalakshmi, V., Srinivasan, R., Nagothu, US. and Annamalai, H. 2008. Climate change adaptation strategies in Bhavani basin using SWAT model. *Journal of Hydrology*, 208–218.
- Lobell, DB., Christopher, BF., Kimberly, NC., 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: 208–218.
- Melkonyan, A. 2015. Climate change impact on water resources and crop production in Armenia. *Agricultural Water Management*, 161, 86-101.
- Nassiri, M., Koochaki, A., Kamali, GA., and Shahandeh, H. 2006. Potential impact of climate change on rainfed wheat production in Iran. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 52(1): 113-124.
- Neitsch, s.l., Arnold, j.g., Kiniry, j.r., Srinivasan, r., Williams, j.r. (2002). *Swat and water assessment tools user manual ver 2000*. Grassland, Soil & Water Research Laboratory, Temple, Texas GSWRL Report 02-02.
- Silberstein, R., and Aryal, S. 2013. Assessing the performance of an ensemble approach to rainfall—runoff modelling for prediction of the impact of climate change on streamflow. 20th International Congress on Modelling and Simulation, Adelaide, Australia 2401-2408.
- Wilby, R.L., and Dawson, C.W. 2007. *SDSM 4.2—A decision support tool for the assessment of regional climate change impacts, User Manual*. Department of Geography, Lancaster University, UK.
- Wilby, R.L., Hassan, H., and Hanaki., 1997. Statistical downscaling of hydrometeorological variables using general circulation model output. *Journal of Hydrology*, 205: 1-19.
- Xu, W., Lowe, S. E., and Adams, R. M. 2014. Climate change, water rights, and water supply: The case of irrigated agriculture in Idaho. *Water Resources Research*, 50(12), 9675-9695.
- Yinhong, K., Shahbaz Khan, B., and Xiaoyi, M. 2009. Climate change impacts on crop yield, crop water productivity and food security – A review. *Progress in Natural Science* 19: 1665–1674.
- Zhang, XC. and Nearing, MA. 2005. Impact of climate change on soil erosion, runoff, and wheat productivity in central Oklahoma. *Catena* 61: 185–195.



## Evaluation of the climate change impacts on the crop yields and proposing the changing cropping pattern strategy (case study: Simineh Rood basin)

Mostafa Rezaee Zaman<sup>1</sup> and Ali Afruzi<sup>2\*</sup>

1) Former M.Sc. Student of Water Resources Engineering Department, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

2\*) Young Researchers and Elites Club, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran, Corresponding author email: [afruzi@iauh.ac.ir](mailto:afruzi@iauh.ac.ir)

Received: 03-05-2015

Accepted: 19-09-2015

### Abstract

Forecast and evaluate the effects of climate change can be very useful in planning future managers. Various tools used to achieve this goal. In this research, the SWAT model is used to simulate and evaluate the climate change impacts on the crop yields in Simineh Rood basin and the changing cropping pattern strategy is evaluated as a comparative plan. To model the climate change conditions in the region, under the A2 and B2 scenarios, the HadCM3 atmosphere-ocean general circulation model outputs' are used. Using the SDSM model, the outputs are downscaled and the minimum and maximum temperature and precipitation data are obtained for the years 2010 to 2033 and the data are used as inputs for the SWAT model. Afterwards, the values of water and temperature tensions, crop yields and the inflow of Urmia Lake in the climate change conditions are estimated and it is named as BAU. The results showed the increase in the average tensions of water and temperature and also the reduction in the crop yields. After evaluating the climate change impacts in the basin, changing the cropping pattern to wheat and barley is evaluated as a comparative strategy that showed 32% and 24% reduction in the water tension under the A2 and B2 scenarios compared to BAU condition. Also the produced calorie and the inflow of the lake showed 15.6% and 15.8% under the A2 scenario and 11.8% and 12.1% under the B2 scenario increase, respectively, compared to the BAU condition.

**Keywords:** HadCM3, SDSM, Simineh Rood basin; SWAT; Urmia Lake