

Impacts of Climate change on Water Resources and Food Production: A Case Study of Zayandeh-Rud Basin, Esfahan, Iran

A. R. Massah Bavani¹, S. Morid¹

Abstract

In this paper, impacts of climate change on water resources and food productivity of Zayandeh Rud basin using HadCM3, GCM model data under SRES scenario; A2 and B2 for the periods of 2010-2039 and 2070-2099 are investigated. Meteorological analysis shows significant decrease in rainfall and increase in temperature and successive dry years up to the year 2100. Inflows to Chadegan dam was simulated Using Artificial Neural Networks (ANNs) model. Then ZWAM model was developed to allocate water to different water consumption sectors. The results show significant deficit in inflows to Chadegan dam and water for the agricultural sectors of the basin up to the year 2100. In the next step, the SWAP model was used to simulate staple food (Rice, Wheat, Barely and Potato) production of the basin using climate change information, which revealed decrease in food productivity and increase in coefficient of variation up to the year 2100. To alleviate the negative impacts of climate change, two strategies were evaluated; reduction of cropped lands by applying full water requirements and change in cropping patterns. The first strategy was beneficial only for rice. But changing the cropping pattern and substitution of wheat with rice not only produce more (330 +48%) calories but also resulted in reduction of water consumption by 10%.

Keywords: Climate Change, River Basins, GCM Model, SWAP Model, Food Security

اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب و تولید محصولات کشاورزی مطالعه موردی: حوضه زاینده‌رود اصفهان

علیرضا مساح بوانی^۱، سعید مرید^۲

چکیده

تغییر اقلیم و تأثیرات متعاقب آن نگرانی‌هایی را در برداشته که توجه به آن را ضروری ساخته است. در این تحقیق اثرات این پدیده بر منابع آب و کشاورزی حوضه زاینده‌رود اصفهان و راه‌های تطبیق با آن، تحت داده‌های مدل گردش عمومی HadCM3 در دو دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ مورد بررسی قرار گرفته است. تجزیه و تحلیل‌های این اطلاعات، نشان از کاهش بارندگی، افزایش دما و افزایش سال‌های خشک متوالی تا سال ۲۱۰۰ را دارد. شبیه‌سازی دبی ورودی به سد چادگان با استفاده از تکنیک شبکه عصبی-مصنوعی و مدل‌سازی تخصیص آب در حوضه با مدل ZWAM نیز افت جریان ورودی به سد و کاهش آب تخصیص یافته به بخش کشاورزی را نشان می‌دهد. در پی این تغییرات، عملکرد گیاهان نیز دستخوش دگرگونی خواهد شد که در این تحقیق عملکرد محصولات اصلی حوضه زاینده‌رود شامل گندم، جو، برنج و سیب زمینی طی دوره فوق با مدل SWAP شبیه‌سازی شد که کاهش عملکرد و افزایش ضریب تغییرات سالیانه تولید محصولات را نتیجه داد. در مرحله بعد کاهش سطح زیر کشت با آبیاری کامل و تغییر در الگوی کشت بعنوان راهکارهای تطبیق مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که کاهش در سطح زیر کشت تنها روی افزایش تولید برنج می‌تواند موثر باشد ولی بر سایر گیاهان تأثیر منفی می‌گذارد. اما تغییر در الگوی کشت و بطور مشخص جایگزینی گندم با برنج، ۳۳ تا ۴۸ درصد افزایش در کل تولید کالری گیاهی و کاهش مصرف آب تا ۱۰ درصد را می‌تواند به همراه داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، منابع آب، تولیدات کشاورزی، حوضه زاینده‌رود

¹-Ph.D. Student and Assistant Professor Respectively, Department of Water Structures, College of Agriculture, University of Tarbiat Modarres, Tehran, Iran, Po.Box 14115 336
E-mail: armassah@yahoo.com

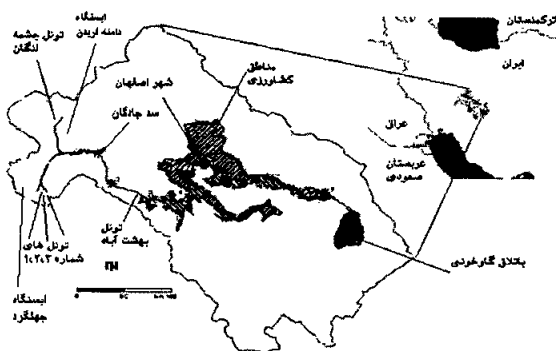
^۱ دانشجوی دکتری گروه سازه‌های آبی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس
^۲ استادیار گروه سازه‌های آبی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس

هیئت بین دول تغییر اقلیم (IPCC^۱) اعلام کرده که دمای سطحی زمین به دلیل انتشار گازهای گلخانه‌ای ۰/۳ تا ۰/۶ درجه سانتی‌گراد در طول قرن گذشته افزایش یافته و پیش‌بینی کرد که تا سال ۲۱۰۰ مقدار آن ۱ تا ۳/۵ درجه سانتی‌گراد افزایش یابد. این تغییرات، تأثیرات متفاوتی را روی بارندگی مناطق مختلف جهان خواهد داشت. گزارش‌ها نشان می‌دهند که تغییر اقلیم می‌تواند باعث افزایش رواناب در مناطق با عرض‌های جغرافیایی بالا بدلیل افزایش در میزان بارندگی و ذوب برف شود. اما در عرض‌های جغرافیایی پایین انتظار می‌رود که تغییر اقلیم اثرات منفی بیشتری را به دنبال داشته باشد. کاهش رواناب، تغییرات در میزان تقاضای آب شرب و کشاورزی به دلیل افزایش دما و کاهش بارندگی از اثراتی است که در این مناطق قابل پیش‌بینی است [Lane et al., 1999]. نتایج تحقیق روی قسمت فوقانی رودخانه بنو در کامرون نشان داد که تا سال ۲۱۰۰ این منطقه می‌تواند شاهد افزایش بارندگی به میزان ۴ تا ۱۳ درصد، افزایش دما به میزان ۱ تا ۳ درجه سانتی‌گراد و تغییرات متوسط سالانه جریان به میزان ۳- تا ۱۸+ درصد باشد [Kamga, 2001]. نتایج بررسی تغییرات اقلیم در حوضه آبریز رودخانه فراسر و تأثیر آن روی تخم‌گذاری ماهی‌های سالمون نشان داد که در دوره ۲۰۷۰-۲۰۹۹ متوسط جریان رودخانه به میزان ۵ درصد افزایش و متوسط حداکثر جریان به میزان ۱۸ درصد کاهش خواهد داشت. در همین دوره متوسط دمای تابستانی آب، به میزان ۱/۹ درجه سانتی‌گراد افزایش نشان می‌دهد [Morrison et al., 2000]. تأثیر تغییر اقلیم روی منابع آب جنوب تایوان نیز حاکی از افزایش دما در دوره‌های طولانی‌مدت و تغییرات شدید در احتمال انتقال رخداد بارندگی روزانه^۲ است، به طوری که برای اکثر ماه‌ها احتمال انتقال روز خشک به خشک و احتمال روز تر به تر کاهش نشان می‌دهد [Yu et al., 2002].

تحقیق حاضر تلاشی است برای بررسی تأثیر تغییرات اقلیمی بر منابع آب در قرن حاضر و اثرات آن بر تعدادی از عملکرد محصولات کشاورزی و برای آن، حوضه زاینده رود به عنوان منطقه مطالعاتی در نظر گرفته شده است. این مطالعه بخشی از طرح تحقیقاتی بین المللی تطبیق با تغییرات اقلیم^۴ است که هم‌زمان در ۷ حوضه در سطح دنیا به انجام رسیده است [Aerts and Droogers, 2002].

۲- منطقه مطالعاتی

حوضه زاینده‌رود در مرکز ایران، مساحتی حدود ۴۲۵۰۰ کیلومتر مربع را دارا است (شکل ۱). در این حوضه بخش کشاورزی مصرف کننده اصلی آب بوده که بیش از ۸۰٪ منابع آب قابل دسترس را به خود اختصاص می‌دهد. این بخش بدلیل افزایش جمعیت، توسعه اراضی کشاورزی و بالا رفتن مصرف آب شرب، بشدت تحت فشار کمبود آب است. برای فائق آمدن بر این مشکل پروژه‌های آبی زیادی مورد بهره‌برداری قرار گرفته و یا در حال احداث و در دست مطالعه هستند. در طول رودخانه اصلی زاینده رود، شبکه‌های کشاورزی سنتی و مدرن زیادی با مساحت تقریبی ۱۸۰۰۰۰ هکتار واقع شده است. محصولات اصلی آنها شامل گندم، برنج، جو و سیب‌زمینی به ترتیب با سطحی برابر ۱۱۲۶۰، ۳۴۸۰، ۲۰۸۹۰ و ۴۲۷۰ هکتار هستند.



شکل ۱- موقعیت حوضه زاینده‌رود اصفهان

۳- مدل‌های گردش عمومی جو

مدل‌های گردش عمومی جو یا GCM (General Circulation Model) جزء مدل‌های اقلیمی هستند که برای شبیه‌سازی فرایندهای موجود در یک سیستم اقلیمی بکار می‌روند. یک اصل بنیادین در اینگونه مدل‌ها فهم و شناسایی فرایندهای فیزیکی و شیمیایی حاکم بر سیستم اقلیم و تأثیر تغییرات اجتماعی و اقتصادی جوامع بر آنها است. مقیاس این مدل‌ها عمدتاً ابعاد بزرگی بوده، لذا فرایندهای جوی خرد مقیاس را نمی‌توان در این شبیه‌سازی‌ها وارد کرد [Alcamo et al., 1997]. تا کنون مدل‌های گردش عمومی مختلفی در مراکز مختلف تحقیقاتی ارائه شده است. از آن

تأثیر دیگر تغییرات اقلیمی، افزایش غلظت گاز دی‌اکسید کربن است. انتظار می‌رود که غلظت دی‌اکسید کربن تا سال ۲۱۰۰ به ۶۴۰ ppm برسد که نسبت به شرایط کنونی افزایشی بیش از ۳۰۰ ppm را دارد [Parry et al., 1999]. عکس‌العمل گیاهان به افزایش غلظت دی‌اکسید کربن متفاوت است، بطوری‌که انتظار می‌رود گیاهان سه‌کربنه مانند گیاهان مورد نظر این تحقیق عکس‌العمل مثبتی به آن نشان بدهند [Wand et al. (1999), CSDGC. (2002)]. تأثیر افزایش غلظت دی‌اکسید کربن روی عملکرد تعدادی از گیاهان مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان از افزایش ۳۱، ۳۰ و ۲۷ درصدی در عملکرد بیولوژیکی^۲ گیاهان گندم، جو و برنج بوده است [Wang and Connor, 1996]. بررسی این پدیده روی تولید محصولات کشاورزی در اروپا نیز افزایش عملکرد غلات در شمال اروپا را پیش‌بینی می‌کند [Olesen and Bindi, 2002]. همچنین در تحقیقی که برای استان آذربایجان شرقی انجام گرفت، افزایش ۳۰ درصدی در عملکرد پتانسیل گیاهان بواسطه افزایش غلظت دی‌اکسید کربن مشاهده گردید (کوچکی و کمالی، ۱۳۷۸).

جمله می توان به مدل های GFDL, GFDLT, GISS, UKMO, HadCM2, PI, CCC, ECHAM4 و HadCM3 اشاره کرد.

شبکه های مختلف عصبی با مدل های ورودی و معماری های مختلف مورد بررسی قرار گرفتند و نهایتاً مدل زیر با معماری [۷۲]، تابع انتقال لوگ سیگموئید^{۱۱} و شبکه المن^{۱۱} [Elman, 1990] برای شبیه سازی فرآیند بارش-رواناب در بالادست سد چادگان انتخاب شد (ضریب همبستگی ۸۸ درصد در دوره آموزش و ۷۵ درصد در دوره صحت یابی)، ویژگی شبکه المن در نظر گرفتن خروجی مدل در زمان قبل به عنوان یکی از ورودی های فعلی است، بنابر این ذخیره در حوضه را نیز به نوعی در محاسبات دخالت می دهد.

$$Q(t) = f(R(t), R(t-1), T_{min}(t), T_{min}(t-1), T_{max}(t), T_{max}(t-1), R_s(t)) \quad (1 \text{ مدل})$$

که در این معادله Q دبی ماهانه ورودی به سد، R متوسط بارندگی ماهانه ایستگاه چهلگرد، T_{min} و T_{max} متوسط دمای حداقل و حداکثر ماهانه ایستگاه دامنه فریدن، R_s تابش خورشیدی رسیده به سطح زمین در عرض جغرافیائی منطقه سد و f و $(t-1)$ نشان دهنده زمان کنونی و زمان با یک گام (ماه) تاخیر است. بدلیل نبود آمار کافی از تابش خورشیدی از روش هسارگریوز و سامانی برای برآورد آن استفاده شده است [Hargreaves and Samani, 1982]

۴-۲- مدل سازی تخصیص آب

به منظور برنامه ریزی تخصیص آب مدل ZWAM برای این تحقیق تدوین شد که بر مبنای بیان آبی کار می کند و مجموع مصرف کنندگان را سیستم مرتبطی از گره ها فرض می کند. هر گره، مقدار ورودی آب با اولویت دریافت خاصی را دارا است و می تواند برگشتی هم داشته باشد که به کمیت و کیفیت پائین دست رودخانه تاثیر گذار است. در تهیه این مدل از مبانی مدل تخصیص آب WEAP^{۱۲} استفاده شده است [WEAP, 2002]. مدل قادر است سیاست های مختلف تخصیص آب، بهره برداری از سد، افزایش نرخ تقاضای آب در بخش های مختلف، موارد زیست محیطی را در ارزیابی سناریوهای مختلف تغییرات آینده اقلیم دخالت دهد.

۴-۳- شبیه سازی عملکرد تولید محصولات گیاهان

بررسی اثر تغییر شرایط اقلیمی بر عملکرد محصولات با استفاده از مدل SWAP انجام شده است. فیزیک این مدل بر شبیه سازی انتقال آب، گرما و محلول در مناطق اشباع و غیر اشباع خاک بنا شده است. مدل قادر است تا با در نظر گرفتن داده های هواشناسی، برنامه های آبیاری و داده های مراحل مختلف رشد گیاه، رشد و عملکرد آن را شبیه سازی کند. جزئیات بیشتر پیرامون این مدل در [Van Dam et al., 1997] موجود است.

در این تحقیق از داده های تغییر اقلیم، منتج از مدل گردش عمومی HadCM3 که در مرکز انگلستان تهیه شده تحت دو سناریوی A2 و B2 از مجموعه سناریوهای SRES^{۱۳} برای دوره های ۲۰۱۰-۲۰۳۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ استفاده شده است. نگرش این دو سناریو نسبت به وضعیت اقتصادی، اجتماعی و محیط زیست آینده دنیا نگرشی منطقه ای بوده بطوری که تاکید سناریوی A2 بیشتر بر مسائل اقتصادی و سناریوی B2 بر مسایل زیست محیطی استوار است [Carter et al., 1999]. این داده ها در مقیاس ۲/۵° (عرض جغرافیایی) × ۳/۷۵° (طول جغرافیایی) هستند که به منظور افزایش دقت در نتایج، به مقیاس ۰/۵° × ۰/۵° کوچک مقیاس شدند [Aerts and Droogers, 2002]. در مرحله بعد جهت تصحیح و تعدیل آنها بر اساس اطلاعات محلی، داده های این مدل برای سال های ۱۹۹۰-۱۹۶۱ نیز تهیه و با اطلاعات محلی مقایسه شدند (ایستگاه دامنه فریدن برای دما و چهلگرد برای بارندگی). از مقایسه این دو سری، نسبت هایی بدست می آید که اعمال آن در سری داده های مدل گردش عمومی باعث می شود تا میانگین داده ها در دو سری یکسان شود و سپس همین نسبت ها در سری داده های آینده اعمال شد و مقادیر مربوط تعدیل شدند. جزئیات بیشتر مقیاس محلی کردن در [Alcamo et al., 1997] موجود است.

۴-۴- مدل سازی حوضه

مدل سازی فرآیند بارش - رواناب، برنامه ریزی تخصیص آب و پیش بینی تولید محصولات کشاورزی از شبیه سازی های لازم است. بدین منظور مدل شبکه عصبی مصنوعی^{۱۴}، مدل تخصیص آب زاینده رود^{۱۵} ZWAM (که منحصراً برای این تحقیق تهیه شده است) و مدل SWAP^{۱۶} [Van Dam et al., 1997] تهیه و به کار برده شد که در ادامه شرح مختصری از آنها ارائه می شود.

۴-۱- شبیه سازی فرآیند بارش - رواناب

این فرآیند با استفاده از تکنیک شبکه عصبی مصنوعی شبیه سازی شده است. مدل شبکه عصبی مصنوعی یک سیستم پردازش اطلاعات می باشد که از تعداد زیادی عصب های^{۱۷} پردازشگر که بطور متراکم با یکدیگر در ارتباط هستند تشکیل شده است. مدل شبکه عصبی مصنوعی قادر است تا با استفاده از الگوهای موجود در پدیده ها، روابط پیچیده بین آنها را شناسائی شود. چنانچه این روابط شناسایی شوند، کارایی شبکه بیشتر خواهد شد. [Coulibaly et al., 2000] [Dawson and Wilby, 1998]

برای آموزش شبکه از ۱۵ سال (۱۳۸۰-۱۳۶۶) آمار دبی ایستگاه سد چادگان (شامل جریان های حوضه بالادست و تونل های ۱ و ۲) و دمای ایستگاه دامنه فریدن و بارندگی ایستگاه چهلگرد استفاده شده است. سپس

۵- ارزیابی اثرات تغییر اقلیم

۱-۵ متغیرهای هواشناسی

تجزیه و تحلیل متغیرهای هواشناسی مربوط به مدل گردش عمومی در دوره‌های آبی برای ایستگاه‌های بالادست سد زاینده رود که محل اصلی تامین آب حوضه هستند، نشان داد که این متغیرها در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ تغییرات چندانی را نسبت به دوره پایه (۱۹۷۱-۲۰۰۰) نخواهند داشت. ولی در دوره دوم (۲۰۷۰-۲۰۹۹) تغییرات قابل ملاحظه‌ای را شاهد خواهیم بود. بطوری که در سناریوی A2، تا سال ۲۱۰۰ دمای میانگین سالانه حدود ۴/۵ درجه سانتی‌گراد افزایش و میانگین بارندگی سالانه ۲۳۴ میلی‌متر کاهش خواهد داشت. این مقادیر برای سناریوی B2 به ترتیب برابر ۳/۲ درجه افزایش در دما و ۱۴۹ میلی‌متر کاهش در بارندگی خواهد بود (جدول ۱). بررسی تناوب سال‌های خشک و تر نیز نشان داد که در حداکثر سال‌های خشک متوالی از دو سال در دوره پایه به ۱۱ سال در سناریوی A2 و ۳ سال در سناریوی B2 افزایش می‌یابد.

۲-۵ جریان ورودی به سد

با استفاده از مدل شبکه عصبی طراحی شده مطابق با آنچه اشاره شد، آورد ورودی به سد چادگان برای دوره‌های ۲۰۱۰-۲۰۳۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ و شبیه‌سازی شد. نتایج نشان داد که میانگین و توزیع ماهانه دراز مدت دبی در مقایسه با مقادیر مشاهده شده دستخوش تغییرات خواهد شد. این تغییرات تحت سناریوی A2 حدود $1/1 \text{ m}^3/\text{s}$ و برای B2، $3/3 \text{ m}^3/\text{s}$ است (جدول ۱).

۳-۵ تولید محصولات کشاورزی

افزایش دما و افزایش غلظت دی اکسید کربن اتمسفر که بواسطه تغییر اقلیم رخ می‌دهد، بر تولید محصولات کشاورزی تاثیر گذار هستند. تاثیر هر کدام از این عوامل به طور جداگانه مورد بررسی قرار گرفته است. برای بخش اول مدل SWAP برای هر کدام از دوره‌ها و سناریوهای مورد مطالعه بطور جداگانه اجرا شد. بدین منظور داده‌های هواشناسی برای هر سناریو در دوره‌های آبی، اطلاعات فیزیولوژی گیاهان مورد بررسی و خصوصیات خاک منطقه زیر کشت به مدل معرفی شدند. سپس عملکرد گیاه در این شرایط برای کمیت و کیفیت‌های متفاوت آب آبیاری برآورد شد.

نتایج این بخش به صورت خطوط هم درصد عملکرد نسبی محصولات (عملکرد واقعی تقسیم بر عملکرد پتانسیل) ترسیم شد که برای پرهیز از حجیم شدن مقاله، تنها نتایج بدست آمده برای گیاهان مورد مطالعه در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ و تحت سناریوی A2 ارائه شده است (شکل ۲). این نتایج نشان می‌دهد که اگر فقط تغییرات دما و بارندگی مد نظر قرار گیرد عملکرد نسبی محصولات در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ به جز برنج تغییر چندانی نداشته ولی نتایج بعدی نشان می‌دهد که برای دوره ۲۰۷۰-۲۰۹۹ حدود ۱۰ تا ۱۵ درصد کاهش در عملکرد نسبی گیاهان قابل پیش‌بینی است.

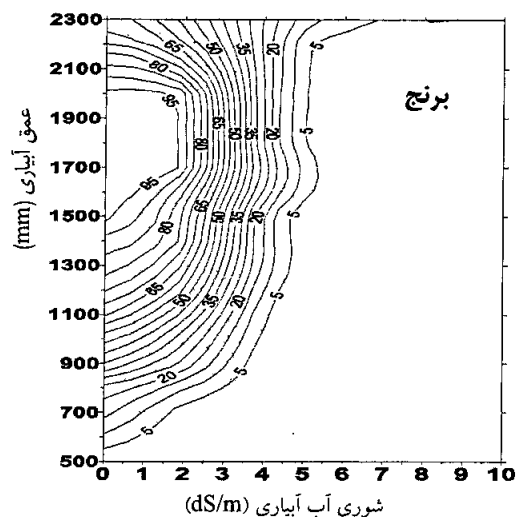
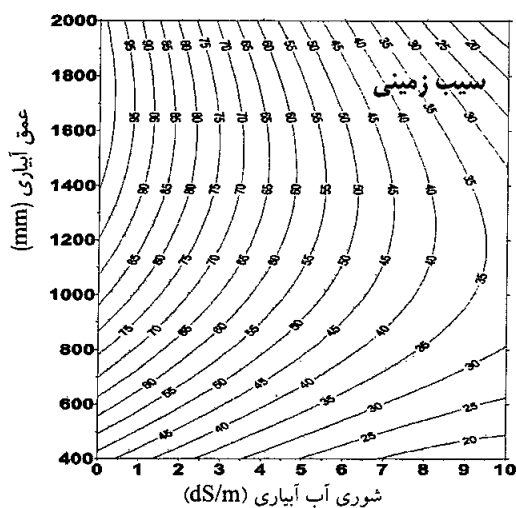
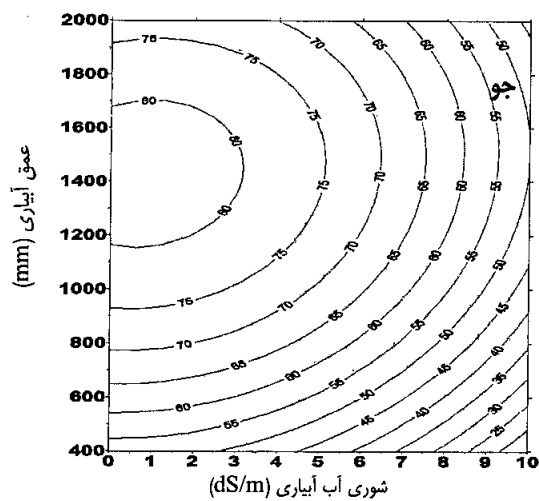
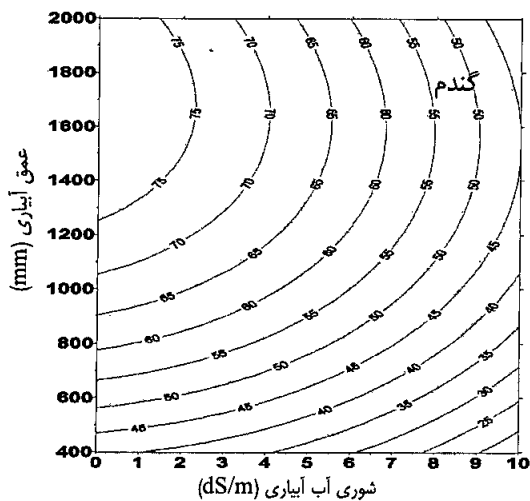
تاثیر افزایش گاز CO2 بر تولید محصولات کشاورزی بر اساس مطالعات کتابخانه‌ای که به بخشی از آنها در مقدمه مقاله اشاره گردید، بررسی شد. گیاهان مورد مطالعه این تحقیق همگی از نوع C3 هستند که تحقیقات مورد اشاره، حکایت از افزایش تولید در آنها تا ۳۰٪ را دارد. لذا با توجه به این رشد و تاثیر منفی ناشی از افزایش دما و کاهش بارندگی، در مجموع افزایش تولید ۲۵٪ درصدی برای آینده آنها پیش‌بینی شد. البته عواملی دیگر مانند تولید بذره‌های مقاوم به کم آبی، شوری و فن‌آوری بیوتکنولوژی می‌تواند در این افزایش نقش داشته باشد که در اینجا دیده نشده است. اما تاکید می‌شود که این تنها حداکثر تولید ممکن است و تولید واقعی، تابع عواملی دیگر همچون کمیت و کیفیت آب آبیاری است که نتایج، کاهش آنها را در دوره آبی نشان می‌دهد.

۶- تلفیق نتایج

این قسمت در واقع جمع بندی بخش‌های قبل است. بدین منظور ابتدا مقادیر دبی ورودی به سد چادگان با مدل ANN و با استفاده از داده‌های تغییر اقلیم تعیین، سپس نحوه تخصیص آب بین مصرف‌کننده‌های مختلف بر اساس تامین نیاز کامل شرب و صنعت و برآوردن حداقل نیاز محیط زیست و نهایتاً محاسبه میزان آب باقیمانده برای بخش کشاورزی با مدل ZWAM برای دوره‌های آبی و سناریوهای مورد مطالعه برآورد شده است. بر این اساس کمیت و کیفیت آب ورودی به هر یک از شبکه‌های پایین دست سد چادگان تعیین شده و با استفاده از نتایج مدل SWAP عملکرد در آنها برآورد شده است.

جدول ۱- متوسط درازمدت ماهانه متغیرهای اقلیمی بارندگی، دما و دبی، تحت سناریوهای تغییر اقلیمی

دوره	بارندگی (mm)	دمای متوسط (°C)	دبی (m ³ /s)	بارندگی (mm)	دمای متوسط (°C)	دبی (m ³ /s)
۱۹۷۱-۲۰۰۰	۱۴۵۸/۲	۱۰/۰	۴۵/۳	۱۴۵۸/۲	۱۰/۰	۴۵/۳
سناریو	A2	A2	A2	B2	B2	B2
۲۰۱۰-۲۰۳۹	۱۴۶۹/۸	۱۱/۰	۴۴/۲	۱۴۲۷/۰	۱۱/۱	۴۴/۶
۲۰۷۰-۲۰۹۹	۱۲۲۴/۲	۱۲/۶	۴۲/۶	۱۳۰۹/۳	۱۲/۲	۴۲/۴



شکل ۲- عکس العمل گیاهان اصلی حوضه به داده‌های تغییر اقلیم تحت سناریوی A2 در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹

عملکرد واقعی محصول برآورد می‌شود، با ذکر این نکته که بنا به اطلاعات جمع آوری شده از حوضه، عملکرد پتانسیل گیاهان برنج، سیب زمینی، گندم و جو در آینده به ترتیب ۱۱۲۵۰، ۶۲۵۰۰، ۱۰۰۰۰ و ۸۷۵۰ کیلوگرم در هکتار و آب اختصاصی به آنها ۱۷۰۰۰، ۱۱۰۰۰، ۹۰۰۰ و ۸۰۰۰ متر مکعب در هکتار در نظر گرفته شده است [Murry-Rust et al., 2000]. نتایج حاصل از محاسبات سنگین در بخش قبل، در جدول (۲) آورده شده است. طبق جدول ملاحظه می‌شود که تغییرات اندکی در عملکرد گیاهان گندم و جو در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ نسبت به دوره پایه وجود دارد. در این دوره عملکرد سیب‌زمینی مثبت بوده در حالی که کاهش عملکرد در برنج شدیداً کاهش یافته است. اما برای دوره دوم بجز سیب‌زمینی، گیاهان دیگر شاهد تغییرات کاهشی بیشتری در عملکرد خواهند بود. افزایش ضریب تغییرات محصولات یکی دیگر از نکات منفی بوده که امنیت غذایی را تهدید می‌کند. به طور کلی برنج بیشترین و سیب‌زمینی کمترین عکس‌العمل منفی را به تغییر اقلیم در حوضه از خود نشان می‌دهند.

شایان ذکر است که تمامی پروژه‌های آبی مانند انتقال آب جدید به حوضه و یا انتقال آب به دیگر شهرستان‌ها که در دستور کار سازمان آب منطقه‌ای است، در محاسبات دخالت داده شده‌اند. هم‌چنین افزایش جمعیت و افزایش تقاضا برای آب نیز مد نظر قرار گرفته‌است. نرخ رشد جمعیت در حال حاضر در حوضه ۲ درصد است که پیش‌بینی می‌شود به ۱/۵ درصد در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ و به ۱ درصد در دوره ۲۰۹۹-۲۰۷۰ کاهش یابد. بر این اساس، میزان آب مورد نیاز شرب حوضه که در حال حاضر ۱۵۰ میلیون متر مکعب در سال است به ۳۴۴ و ۵۴۰ در دوره‌های فوق خواهد رسید که حکایت از رقابت بیشتر بخش شرب و کشاورزی در آینده دارد [Morid et al., 2003].

محاسبات فوق، میزان کیفیت و کمیت آب آبیاری را در دوره‌های آبی در محل شبکه‌های آبیاری تعیین خواهد کرد. این نتایج با نمودارهای تراز درصد عملکرد هر گیاه (شکل ۲) در هر دوره مقایسه شده و از این طریق

۷- راه‌های تطبیق

با توجه به مطالب پیش گفته مشخص شد که تغییرات اقلیم اثرات منفی بر روی منابع آب و تولیدات کشاورزی خواهد داشت. بنابراین واضح است که برای دوره‌های آتی لازم است که از هم‌اکنون تمهیداتی اندیشه شود. در این تحقیق دو راه از منظر کشاورزی به منظور تطبیق با این شرایط مورد بررسی قرار گرفته که عبارتند از تغییر در سطح زیر کشت و تغییر در الگوی کشت. شاخص‌هایی که می‌توانند تاثیر اعمال سیاست‌های فوق را بطور کمی ارزیابی نمایند، عبارتند از: تخصیص آب به بخش کشاورزی (میلیون متر مکعب در سال^{۱۳})، تولید غذا (تن در سال^{۱۴}) و تولید انرژی حاصل از غذا (کیلوکالری در سال^{۱۵}). آخرین شاخص می‌تواند برای مقایسه تولید غذا بین گیاهان مختلف بخوبی عمل کند. بدین منظور میزان تولید انرژی برای

برنج، سیب زمینی، گندم و جو برابر ۳۶۰۰، ۷۶۰، ۴۰۰۰ و ۴۰۰۰ کیلوکالری در کیلوگرم در نظر گرفته شده است [کوچکی و حسینی، ۱۳۷۲].

۷-۱- تغییر در سطح زیر کشت حوضه

در این راهبرد بر اساس میزان آب موجود در هر دوره میزان سطوح زیر کشت بگونه‌ای کاهش یافت که گیاهان اصلی، آب مورد نیاز را بطور کامل دریافت کنند (آبیاری کامل). نتایج حاصل بر حسب کل انرژی تولیدی توسط هر گیاه در حوضه در جدول (۳) آورده شده است. مشاهده می‌شود که این راهبرد فقط بر روی برنج موثر بوده و در مورد بقیه گیاهان نتایج منفی بوده است. در این جدول ستون سطح ثابت مربوط به حالتی است که هیچ تغییری در سطح زیر کشت گیاهان اعمال نشده و میزان عملکرد هر گیاه بر اساس میزان آب تخصیص یافته محاسبه شده است.

جدول ۲- آماره‌های گیاهان اصلی حوضه زاینده رود تحت سناریوهای تغییر اقلیم

سناریو	دوره پایه		A2				B2	
	۱۹۹۰-۲۰۰۰		۲۰۱۰-۳۹		۲۰۷۰-۹۹		۲۰۷۰-۹۹	
گیاه	میانگین (kg ha)	ضریب تغییرات	میانگین (kg ha)	ضریب تغییرات	میانگین (kg ha)	ضریب تغییرات	میانگین (kg ha)	ضریب تغییرات
برنج	۴۸۲۸	-۰/۱۷	۲۹۸۹	-۰/۵۹	۱۳۱۲	۱/۲۱	۲۷۷۸	-۰/۸۵
سیب زمینی	۲۶۲۵۶	-۰/۰۸	۳۴۵۶۲	-۰/۲	۳۴۷۹۱	-۰/۳۹	۲۹۵۴۱	-۰/۲۵
گندم	۴۶۱۱	-۰/۰۷	۴۸۷۰	-۰/۱۴	۳۶۶۳	-۰/۲۳	۴۵۵۰	-۰/۲۳
جو	۴۴۱۸	-۰/۱۱	۴۷۵۱	-۰/۱۵	۴۵۳۵	-۰/۲۴	۴۴۶۲	-۰/۲۶

جدول ۳- انرژی تولید شده توسط گیاهان اصلی حوضه تحت سناریوهای تغییر اقلیمی (میلیارد کیلوکالری در سال) تحت سطح کشت ثابت و متغیر

سناریو	دوره پایه		A2				B2	
	۱۹۹۰-۲۰۰۰		۲۰۱۰-۳۹		۲۰۷۰-۹۹		۲۰۷۰-۹۹	
گیاه	سطح ثابت	آبیاری کامل	سطح ثابت	آبیاری کامل	سطح ثابت	آبیاری کامل	سطح ثابت	آبیاری کامل
برنج	۱۳۱/۱۶	۱۳۲/۵۹	۵۳/۲۱	۵۶/۱۳	۱۱۲/۶۵	۱۱۳/۸۲	۵۶/۰۹	۷۸/۶۳
سیب زمینی	۹۱/۱۴	۸۴/۶۶	۶۵/۵۸	۶۱/۵۴	۷۸/۱۴	۷۱/۴۹	۷۴/۰۱	۶۷/۲۲
گندم	۴۰۶/۹۸	۳۶۷/۱	۳۰۶/۱۴	۲۲۵/۴۸	۲۸۰/۲۵	۳۴۴/۴۶	۳۲۱/۷۴	۲۴۱/۴۵
جو	۸۱/۲۱	۷۲/۹۷	۶۰/۴۳	۵۳/۸۵	۷۶/۲۸	۷۰/۵۷	۶۳/۰۷	۵۷/۹
مجموع	۷۰۰/۴۹	۶۵۸/۲۲	۴۸۵/۲۶	۳۹۷/۰	۶۴۷/۲۲	۶۰۰/۳۴	۵۱۴/۹۱	۳۴۵/۵

جدول ۴- کل آب مصرفی توسط گیاهان اصلی، تحت سناریوهای اقلیمی (میلیون متر مکعب در سال) و درصد آب مصرفی نسبت به کل آب

اختصاص یافته برای بخش کشاورزی

سناریو	دوره پایه		A2				B2	
	۲۰۱۰-۳۹		۲۰۷۰-۹۹		۲۰۱۰-۳۹		۲۰۷۰-۹۹	
گیاه	آب مصرفی	درصد	آب مصرفی	درصد	آب مصرفی	درصد	آب مصرفی	درصد
برنج	۲۰۶/۲۶	۱۱/۲۶	۱۷۵/۲۷	۹/۵۷	۱۹۶/۹۷	۱۰/۷۶	۱۷۹/۲۸	۹/۷۹
سیب زمینی	۴۱/۲۵	۲/۲۵	۳۵/۰۵	۱/۹۱	۳۹/۳۹	۲/۱۵	۳۵/۸۶	۱/۹۶
گندم	۲۱۵/۴۰	۱۱/۷۶	۱۸۶/۷۴	۱۰/۲۰	۲۰۵/۸۰	۱۱/۲۴	۱۸۶/۶۸	۱۰/۱۹
جو	۳۹/۱۵	۲/۱۴	۳۳/۹۵	۱/۸۵	۳۷/۴۲	۲/۰۴	۳۳/۹۴	۱/۸۵

۷-۲- تغییر در الگوی کشت

راهبرد بعدی بررسی شده، تغییر در الگوی کشت است. جدول (۴) نشان می‌دهد که در حال حاضر و برای دوره‌های آتی، اراضی تحت کشت برنج و گندم حجم آب نسبتاً یکسانی را دریافت می‌کنند اما انرژی تولید شده توسط گندم ۲/۹ تا ۵/۵ برابر برنج است (جدول ۵).

در یک راهبرد منطقی، سیب زمینی، جو و یا گندم می‌تواند بجای برنج کشت شود. سیب زمینی کالری بیشتری را تحت تغییر اقلیم می‌تواند تولید کند، ولی به لحاظ بازاریابی دارای مشکلات خاص خود در منطقه است. جو نیز نمی‌تواند به‌عنوان یک محصول غالب خوراکی جایگزین شود.

بنابراین جایگزینی گندم با برنج مورد بررسی قرار گرفت و نتایج مربوط در جدول (۶) ارائه شد. ملاحظه می‌شود که با اتخاذ این استراتژی افزایش ۳۳ تا ۴۸ درصدی در کل تولید کالری و کاهش مصرف آب تا ۱۰ درصد در حوضه مشاهده می‌شود. قابل ذکر است که مهمترین عامل ایجاد علاقه در کشاورزان برای کشت برنج درآمد بالای آن نسبت به دیگر گیاهان است.

۸- نتیجه گیری

در این تحقیق اثرات و راه‌های تطبیق با تغییر اقلیم بر منابع آب و کشاورزی حوضه زاینده‌رود اصفهان در دو دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ با بکار بردن داده‌های مدل گردش عمومی تحت دو سناریوی A2 و B2 از سناریوهای SRES مورد بررسی قرار گرفت و نتایج ذیل حاصل شد:

- تغییرات اقلیم تاثیر منفی بر شرایط آب و هوایی حوضه داشته و این شرایط کمبود آب در حوضه را به همراه خواهد داشت. لذا، مدیریت دقیق‌تر حوضه، مزرعه و مصرف را طلب می‌کند.
- نتایج، نشان از ضرورت اعمال تغییر در الگوی کشت حوضه را دارد. بویژه این‌که با توجه به این تغییرات، کشت گیاه برنج مطلقاً قابل توصیه نخواهد بود.
- سیاست قیمت گذاری گیاهان باید به‌نحوی تنظیم شود که گیاهانی که تولید کالری بیشتری دارند بیشتر مقرون به‌صرفه باشند.

پی نوشت ها:

- 1- Intergovernmental Panel on Climate Change
- 2- Transition probabilities of daily precipitation
- 3- Biomass
- 4- ADAPT
- 5- Special Report on Emissions Scenarios
- 6- Artificial Neural Networks(ANNs)
- 7- Zayandeh Rud Water Allocation Model
- 8- Soil – Water – Atmosphere – Plant
- 9- Neuron
- 10- LogSig
- 11- Elman
- 12- Water Evaluation and Planning
- 13- MCM/yr
- 14- ton/yr
- 15- Kcal/yr

جدول ۵- انرژی حاصله از یک متر مکعب آب توسط گیاهان اصلی حوضه تحت سناریوهای اقلیمی (کیلوکالری بر متر مکعب)

B2		A2		سناریو
۲۰۷۰-۹۹	۲۰۱۰-۳۹	۲۰۷۰-۹۹	۲۰۱۰-۳۹	دوره
				گیاه
۳۱۲/۹	۵۷۷/۹	۳۰۳/۶	۵۸۷/۴	برنج
۲۰۶۴/۱	۱۸۱۴/۹	۱۸۷۰/۸	۲۲۱۶/۳	سیب زمینی
۱۷۳۳/۴	۱۶۷۳/۸	۱۶۳۹/۴	۱۸۸۹/۷	گندم
۱۸۵۸/۱	۱۸۸۶/۰	۱۷۷۹/۷	۲۰۷۴/۱	جو

جدول ۶- انرژی تولیدی توسط گیاهان اصلی تحت سناریوهای اقلیمی (میلیارد کیلو کالری در سال) پس از حذف برنج

B2		A2		سناریو
۲۰۷۰-۹۹	۲۰۱۰-۳۹	۲۰۷۰-۹۹	۲۰۱۰-۳۹	دوره
				گیاه
۳۰۸/۹۷	۳۳۹/۶۹	۲۸۷/۳۴	۳۸۹/۷۷	گندم (جایگزین شده)
۷۴/۰۱	۷۸/۱۴	۶۵/۵۸	۹۱/۱۴	سیب زمینی
۳۲۱/۷۴	۳۸۰/۲۵	۳۰۶/۱۴	۴۰۶/۹۸	گندم
۶۳/۰۷	۷۶/۲۸	۶۰/۴۳	۸۱/۳۱	جو
۷۶۷/۷۹	۸۶۴/۳۶	۷۱۹/۴۹	۹۶۹/۱	مجموع

- resources" J. Water Resour. Plang. and Mgmt. ASCE 125[4] 194-204.
- Morid, S., Massah, A. R., Aghaalikhani, M. and Mohammadi, K. (2003) "Water, Climate, Food and environment in the Zayandeh Rud Basin" URL: http://www.geo.vu.nl/users/ivmadapt/downloads/zayandehRud_Final_Report.pdf
- Morrison, J., Quick, M.C. and Foreman M.G.G.(2000) "Climate change in the Fraser River watershed: flow and temperature projections" J. Hydrology, Vol 263, 230-244.
- Murry-Rust, H., Sally, H.R. and Mamanpoush, A.(2000) "An overview of the hydrology of the Zayandeh Rud basin, Esfahan province, Iran" Research Report No.3, Iranian Agriculture Engineering Research Institute and IWMI.
- Olesen, Jorgen E. and Bindi. M.(2002) "Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy" European Journal of Agronomy, Vol.16 239-262.
- Parry, M.L, Rosenzweig, C., Iglesias, A., Fischer, G., and Livermore, M. (1999) "Climate change and world food security: a new assessment" Global Environment change, Vol. 9, 51 67.
- Pao-Shan, Yu, Tao-Chang, Y. and Chih-Kang, W. (2002) "Impact of climate change on water resources in southern Taiwan" J. Hydrology, Vol. 260, 161-175.
- Van Dam, J.C., Huygen, J., Wesseloing, J.G., Feddes, R.A., Kabat, P., Van Walsum, P.E.V., Groenendijk, P. and Van Diepen, C.A. (1997) "Technical Document 45, Theory of SWAP Ver. 2.0, Wageningen Agriculture University and DLO Winand Staring Center, The Netherlands.
- Wand, S.J.E., Midgley, G.F., Jones, M.H., and Curtis P.S. (1999) "Responses of wild C4 and C3 grass (Poaceae) species to elevated atmospheric concentration: a meta-analytic test of current theories and perceptions" Global Change Biology, Vol. 5, 723-741.
- Wang, Y.P. and Connor, D.J. (1996) "Simulation of optimal development for spring wheat at two locations in southern Australia under present and changed climate conditions" Agriculture and Forest Meteorology, Vol. 79 685-701
- WEAP.(2002) Water Evaluation and Planning System. URL <http://www.seib.org/weap>
- Yu, P. SH., Yang, T.CH. and Wu, Ch.K. (2002) "Impact of climate change on water resources in southern Taiwan" J. Hydrology, Vol. 260, 161-175.
- کوچکی، عوض و غلامعلی کمالی(۱۳۷۸)، "بررسی اثرات تغییر اقلیم بر خصوصیات زراعی محصولات ریشه‌ای تحت شرایط تبریز"، دومین کنفرانس منطقه‌ای تغییر اقلیم، سازمان هواشناسی کشور، صفحه ۹-۱۸.
- کوچکی، عوض و محمد حسینی (۱۳۷۳)، "کارایی انرژی در اکوسیستم‌های کشاورزی"، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
- Aerts, J. and Droogers P.(2002) ADAPT Water, Climate, Food and Environment Under Climate Change" URL: <http://www.geo.vu.nl/users/ivmadapt>.
- Alcamo, J., Döll, P., Kaspar, F., and Siebert S.(1997) "Global change and global scenarios of water use and availability" An application of WaterGAP 1.0. Report A9701, Center for Environmental Systems Research, University of Kassel, Germany, 47 pp.
- Carter, T. R., Hulme, M., and Lal M.(1999) "Guidelines on the use of scenario data for climate impact and adaptation assessment" IPCC-TGCI, Intergovernmental Panel on Climate Change, Task Group on Scenarios for Climate Change Impact Assessment, p 69.
- Coulibaly, P., Anctil, F., and Bobee, B.(2000) "Daily reservoir inflow forecasting using artificial neural networks with stopped training approach" J. Hydrology, Vol. 230, 244-257.
- CSCDGC. (2002) "Plant growth data" Center for the Study of Carbon Dioxide and Global Change in Tempe, Arizona.URL: <http://www.co2science.org>
- Dawson, Ch., and Wilby, R.(1998) "An artificial neural network approach to rainfall- runoff modeling" Hydrologic Science Journal, Vol. 43[1] 47-66
- Elman, J. L.(1990) "Finding structure in time" Cognitive Sci., Vol. 14, 179-211.
- Hargreaves, G. H., and Samani, Z. A.(1982) "Estimating potential evapotranspiration" J. Irrig. Drain. Eng. ASCE 8[3] 25-230
- IPCC (2000) "Climate change: Impacts, adaptation and vulnerability" Available online at <http://www.ipcc.ch/pub/tar/wg2/index.htm>.
- Kamga, F. M. (2001) "Impact of greenhouse gas induced climate change on the runoff of the Upper Benue River (Cameroon)" J. Hydrology, Vol 252, 145-156.
- Lane, M. E., Kirshen, P. H., and Vogel R. M. (1999) "Indicators of impact of global climate change on U.S. water