تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال یازدهم، شماره ۳، زمستان ۱۳۹٤
Volume 11, No. 3, Winter 2016 (IR-WRR)
۱۴۵-۱۵۸

بررسی اثر تغییر اقلیم بر مطلوبیت زیستگاهی آبزیان رودخانه کردان - مطالعه موردی: سگ ماهی جویباری (Oxynemacheilus bergianus)

ریحانه مرید[۱]، سهیل ایگدری[۲] و مجید دلاور[۳*]

چکیده

اقلیم می‌تواند اثرات قابل‌توجهی بر زندگی موجودات زنده و محیط‌زیست داشته باشد. لذا پیش‌بینی وضعیت و ارزیابی اثرات آن به منظور کاهش آسیب‌پذیری و مقابله با آن از اهمیت بسزایی برخوردار است. پیکره‌های آبی اولین منابع تحت تأثیر این پدیده خواهند بود و در این بین رودخانه‌ها به عنوان شریان‌های حیاتی اکوسیستم‌ها مورد توجه‌اند. این تحقیق تلاش دارد تا اثر پدیده تغییر اقلیم را بر روی یکی از سیستم‌های آبی جنوب البرز (رودخانه کردان) ارزیابی و چگونگی تغییر شاخص مطلوبیت زیستگاه آبزیان را در طولی از رودخانه به اندازه ۲ کیلومتر بررسی نماید. بدین منظور ابتدا، شرایط تغییر اقلیم در منطقه با استفاده از خروجی‌های مدل گردش عمومی HadCM3 و با در نظر گرفتن دو سناریو A2 وB1 برای دوره پایه (۱۹۸۵-۲۰۱۰) و دوره‌های ۳۰ ساله آتی(۲۰۱۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۷۰ و ۲۰۷۱-۲۰۹۹) بررسی گردید. همچنین به منظور بررسی اثرات تغییر اقلیم بر دما و جریان رودخانه از مدل SWAT استفاده گردید. نتایج حاکی از آن بود که تحت شرایط تغییر اقلیم و در ۳ دوره ۳۰ ساله جریان رودخانه روندی رو به کاهش خواهد داشت، تا جایی که دبی از ۳/۳ مترمکعب بر ثانیه در دوره پایه به ۲/۶۶ در سناریو A2 و ۲/۸ در سناریو B1 خواهد رسید. همچنین تغییر اقلیم باعث ایجاد تغییر در شاخص مطلوبیت زیستگاه (HSI) گونه سگ ماهی جویباری (*Oxynemacheilus bergianus*) و همچنین توزیع مکانی مطلوبیت زیستگاهی این گونه در رودخانه دارد. بررسی منحنی فراوانی تجربی مقادیر HSI نیز حاکی از کاهش ۲۰ تا ۲۵ درصدی شاخص مطلوبیت زیستگاهی معادل ۰/۴ تا ۰/۶، در دوره ۲۰۷۱-۲۰۹۹ می‌باشد.

کلمات کلیدی: تغییر اقلیم، شاخص مطلوبیت زیستگاه (HSI)، گونه سگ ماهی جویباری، رودخانه کردان.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۳/۷/۲۸

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۳/۱۱/۲۱

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه ارزیابی و آمایش سرزمین، دانشکده انرژی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی- واحد علوم تحقیقات تهران
۲- استادیار گروه شیلات، دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تهران
۳- استادیار گروه سازه‌های آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس
*- نویسنده مسئول

Assessment of Climate Change Impacts on Aquatic Habitat Suitability in Kordan River Case Study: Oxynemacheilus bergianus

*R. Morid [1] , S. Igderi [2] and M. Delavar [3]**

Abstract

Climate change has significant impacts on living organisms and the environment. Therefore, it is important to predict and assess its impacts in order to reduce vulnerability and also to confront to climate change. Water resources will be the first resources to be affected by climate change and the rivers are considered as vital ecosystems in this situation. So assessing the impacts of the climate change on animal and plant species status in the rivers can provide a projection of the ecosystem. This study attempted to evaluate the effect of climate change on one of the southern Alborz water systems, Kordan River, and to estimate the changes in the aquatic Habitat Suitability Index (HIS) along a two-kilometer reach of the river. In this regard the future climate change in the region was first projected using HadCM3 general circulation model in three 30-year periods of 2011-2040, 2041-2070, and 2071-2099 considering A2 and B1 scenarios. Also the SWAT model was used to simulate effects of climate change on the river flow and the water temperature. Results showed that the changes in temperature and precipitation would have a decreasing effect on the river flow and the water temperature during the future periods; the average flow would decrease from 3.3 cms in the base period to 2.66 and 2.8 cms in A2 and B1 scenarios, respectively. Also it is indicated that the climate change has a significant impact on habitat suitability index for *Oxynemacheilus bergianus*. Assessing the rational distribution curve would also declare a 20 to 25 decrease in the HSI equaling 0.4 to 0.6 in the period of 2071 to 2099.

Keywords: Climate change, Habitat Suitability Index, Kordan River, Oxynemacheilus bergianus

Received: October 20, 2014
Accepted: February 10, 2015

1- M.Sc. student, Land Use Assessment and Planning Group, Energy and Environment Faculty, Islamic Azad University Science and Research Branch, Iran; delavar_we@yahoo.com
2- Associated Professor, Aquaculture Group, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Iran
3- Assistant Professor, Water Resources Department, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
*- Corresponding Author

۱- مقدمه

افزایش گازهای گلخانه‌ای تغییراتی را در اقلیم کره زمین به وجود آورده که منجر به غیر ایستایی در متغیرهای اقلیمی به خصوص تابش خورشیدی، دما و بارش شده است، پدیده‌ای که تغییر اقلیم خوانده می‌شود (IPCC, 2001). امروزه مجامع بین‌المللی و دولت‌ها، تغییر اقلیم را به عنوان رویدادی که آثار ناخوشایند آن کلیه زیست‌بوم‌های گیاهی، جانوری و انسانی را مورد تهدید قرار داده، به طور خاصی مورد توجه قرار داده‌اند (ثبوتی، ۱۳۹۰).

از آنجا که اولین تأثیرات تغییر اقلیم بر منابع و پیکره‌های آبی است، ارزیابی اثرات آن در زیستگاه‌های آبی اولویت بالایی دارد. در این خصوص اولین گام تولید سناریوهای اقلیمی متناسب با این پدیده و در افق زمانی مورد نظر است (رضایی زمان و همکاران ۱۳۹۲). در حال حاضر معتبرترین ابزار جهت تولید سناریوهای اقلیمی و بررسی چشم‌انداز اقلیم در دوره‌های آتی مدل‌های سه‌بعدی گردش عمومی اتمسفر–اقیانوس AOGCM (Atmospheric-Ocean General Circulation Model) می‌باشند (Lane et al., 1999).

در ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر پیکره‌های آبی به‌کارگیری شاخص‌های زیست‌شناختی و همچنین شناسایی و برآورد عوامل موثر بر آن‌ها حائز اهمیت می‌باشد. این شاخص‌ها می‌توانند مبین وضعیت گیاهان یا جانوران موجود در آن باشند. بدین ترتیب اثرپذیری حیات یک محیط آبی را می‌توان با موجودات شاخص در آن بررسی نمود. مانند آنچه از ماهی آزاد (Salmo salar) برای رودخانه‌های غرب آمریکا (Morrison et al., 2002) و یا آرتمیا برای دریاچه ارومیه (Hanaee et al., 2005) یاد می‌گردد. در مطالعات تغییر اقلیم، شناسایی و برآورد عوامل موثر بر حیات موجودات شاخص اکوسیستم از اهمیت زیادی برخوردار است. در این راستا De Stasio و همکاران (۱۹۹۶) بر روی پتانسیل اثرات جهانی تغییر اقلیم بر پارامترهای فیزیکی، ماهیان و پلانکتون‌های موجود در بستر دریاچه‌های North-temperate واقع در ایالت Wisconsin آمریکا مطالعاتی را انجام داده‌اند. طی بررسی‌های صورت گرفته توسط این محققین، وجود ارتباط مستقیم بین فوق اشباع بودن آب دریاچه‌ها از دی اکسید کربن اتمسفر موضوعی است که بسیار حائز اهمیت بوده و مطالعاتی خاص را می‌طلبد. شاید بتوان گفت که تحقیقات زیادی برای آزمایش اثر تغییر اقلیم بر سیستم دریاچه صورت گرفته است، اما آن‌ها توجه خاص‌شان معطوف به اثر این پدیده بر پارامترهای فیزیکی، ماهیان و پلانکتون‌های موجود در بستر دریاچه بوده است. Morrison (2002) et al. نیز به بررسی اثر تغییر اقلیم بر الگوهای جریان و دما در رودخانه Fraser و تأثیر آن بر تخم‌ریزی ماهی قزل‌آلا (Oncorhynchus) پرداختند. علت انجام این پروژه وجود ارتباط معنی‌دار بین مرگ‌ومیر تخم‌ها و دمای بالای آب بود. آن‌ها با استفاده از داده‌های مدل گردش عمومی CGCM1[1] و HadCM2[2]، جریان و دمای آب مدل‌سازی شده را با موارد ثبت‌شده در زمان‌های گذشته مورد مقایسه قراردادند. در نهایت نتایج نشان داد که تغییرات شدید در میانگین یا حداقل پارامترهای جریان رودخانه Fraser قابل پیش‌بینی نیست، ولی کاهش در حداکثر دبی جریان قابل وقوع می‌باشد. مطالعه Rijnsdorp و همکاران (۲۰۰۹) نیز به بررسی اثرات این پدیده بر چرخه زندگی ماهی آزاد از زمان تخم تا آخرین مرحله از حیات آن پرداختند. آن‌ها در گام اول مطالعه‌ای بر متغیرهای محیط زیستی و جنبه‌های اقیانوس‌شناسی مرتبط با ماهی که بیش‌ترین تأثیر را از تغییر اقلیم متحمل می‌شوند، انجام دادند. نتایج کار آن‌ها نشان داد که تغییر اقلیم علاوه بر دما، بر میزان اکسیژن، pH و میزان شوری آب تأثیر گذار خواهد بود که باعث تغییر در بازده تولید این ماهی خواهد شد.

به منظور ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر متغیرهای هیدرولوژیکی اثرگذار بر حیات آبزیان استفاده از مدل‌های مفهومی از جمله SWAT[3] بسیار مورد توجه بوده است. این مدل پیش‌بینی اثر تغییر شرایط اقلیمی و مدیریتی را روی کمیت و کیفیت آب در حوضه‌های مختلف و پیچیده، با شرایط متنوع اندازه حوضه آبریز، خاک و پوشش گیاهی در درازمدت شبیه‌سازی می‌کند (Arnold et al., 1993). همچنین از این مدل در مطالعات متنوعی به منظور ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر رژیم هیدرولوژیکی حوضه‌های آبریز استفاده شده است. از آن جمله می‌توان به مطالعه Lubini and Adamowski (2013) اشاره کرد، آن‌ها اثر تغییر اقلیم را با سناریوهای متنوعی روی دبی رودخانه Simiyu در تانزانیا بررسی کردند. در این مطالعه تغییرات جریان رودخانه در آینده با استفاده از مدل SWAT پیش‌نگری شد. نتایج حاکی از آن بود که جریان رودخانه بین ۲۴ تا ۴۵ درصد افزایش خواهد داشت. رضایی زمان و همکاران (۱۳۹۲) نیز به ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر روی سیستم آبی حوضه سیمینه‌رود و بررسی راهکارهای تطبیق با آن با استفاده از مدل SWAT پرداختند. برای مدل‌سازی شرایط تغییر اقلیم در این مطالعه از خروجی‌های مدل گردش عمومی جو HadCM3 تحت سناریوهای انتشار A2 و B2 استفاده شد و چشم‌انداز تأثیر تغییر اقلیم بر رواناب خروجی از حوضه

با اعمال تغییرات ماهانه دما و بارش در مدل SWAT شبیه‌سازی گردید. نتایج حاکی از کاهش آورد متوسط رودخانه تا ۲۱ درصد می‌باشد. تغییرات رژیم جریان رودخانه تحت اثر تغییر اقلیم می‌تواند نقش موثری در حیات آبزیان داشته باشد و ارزیابی مطلوبیت زیستگاهی آبزیان در این شرایط مستلزم نگاهی جامع به مولفه‌های تأثیر گذار بر حیات گونه‌ها می‌باشد.

در این راستا Pradhanang و همکاران (۲۰۱۳) به منظور بررسی اثر زیست‌محیطی تغییر اقلیم بر حیات آبزیان در قسمت‌های شمالی امریکا، پس از شبیه‌سازی دبی رودخانه توسط مدل SWAT از شاخص IHA[۴] استفاده کردند. این شاخص قادر است تغییرات پارامترهای اکولوژیک رودخانه را ارزیابی و اثر هر یک از آن‌ها را بر اکوسیستم بیان کند. طبق نتایج به دست آمده در این بررسی در شرایط تغییر اقلیم انتظار می‌رود مدت سیل‌های بزرگ کاهش یابد، درحالی‌که مقدار حداکثر سیل در حال افزایش است. این افزایش ناگهانی تهدیدی برای پایداری دیواره رود به شمار می‌رود. این تغییر در دیواره خود بر زیستگاه جانوران و آبزیان سازگار یافته در آن شرایط تأثیر می‌گذارد.

شاخص مطلوبیت زیستگاه (HSI)[۵] از جمله معمول‌ترین شاخص‌ها به منظور بررسی شرایط زیستگاهی آبزیان در محیطهای آبی است که به صورت تابعی از متغیرهای تأثیر گذار بر حیات آبزیان (مانند پوشش، عمق، اندازه بستر، سرعت) برآورد می‌گردد. برای به دست آوردن این شاخص نیاز به نمونه‌برداری و مشاهده مستقیم تعداد ماهی در هر قسمت از رودخانه است (Vadas and Orth, 2001; Ahmadi-nadushan et al., 2006). این شاخص در مطالعات مختلفی مورد استفاده قرار گرفته است که از آن جمله می‌توان به مطالعه Wu و همکاران (۲۰۰۶) و Moutona و همکاران (۲۰۰۷) اشاره کرد. در این مطالعات عمق، سرعت و بستر رودخانه به عنوان فاکتورهای موثر برای مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه معرفی شدند.

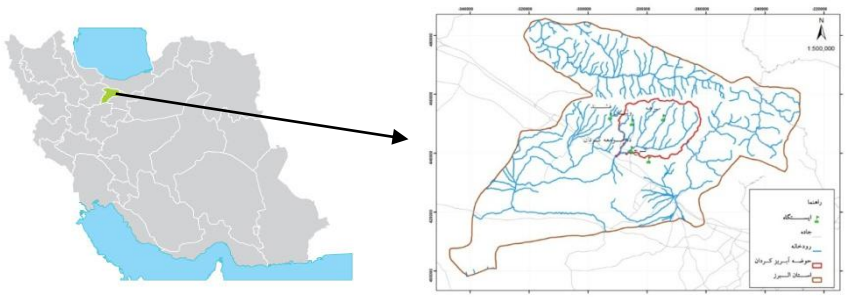
لذا با توجه به آنچه ذکر شد، این تحقیق تلاش دارد تا اثر پدیده تغییر اقلیم را بر روی یکی از سیستم‌های آبی جنوب البرز (رودخانه کردان) ارزیابی و چگونگی تغییر مطلوبیت زیستگاهی آن را برای آبزیان به عنوان عنصر کلیدی این بوم‌سازگان‌ها بررسی نماید. در این راستا تحقیق حاضر به بررسی تغییرات شاخص مطلوبیت زیستگاه (HSI) سگ‌ماهی جویباری در رودخانه کردان تحت تأثیر پدیده تغییر اقلیم می‌پردازد. این رودخانه معرف مناسبی از رودخانه‌های جنوبی البرز است و این ماهی می‌تواند گویای کیفیت زیستگاهی این رودخانه‌ها باشد. در این بررسی مدل SWAT به منظور شبیه‌سازی اثر تغییر اقلیم بر متغیرهای هیدرولوژیکی رودخانه در شرایط حال و آینده مورد استفاده قرار می‌گیرد. پس از آن شاخص مطلوبیت زیستگاه (HSI) به منظور بررسی چگونگی وضعیت زیستگاه بررسی می‌شود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- تشریح منطقه مطالعاتی و داده‌ها

حوضه آبریز رودخانه کردان با وسعت ۴۳۴/۳۵۵ کیلومترمربع در مختصات جغرافیایی به طول "۳۸ '۵۵ °۵۰ تا "۲۵ '۴۶ °۵۰ و عرض "۲۹ '۶ °۳۶ تا "۳۵ '۵۵ °۳۵ واقع‌شده است. این منطقه بخشی از استان البرز می‌باشد (شکل ۱) که از لحاظ منابع طبیعی از استان‌های غنی کشور به شمار می‌آید (Wikipg، 2014). سرچشمه رودخانه، ارتفاعات این استان می‌باشد و مسیر خود، در ۸ کیلومتری غرب نجم آباد به رودخانه شور می‌پیوندد. طول تقریبی این رودخانه ۴۸ کیلومتر و شیب متوسط بستر آن ۰/۸ درصد است. شرایط مناسب محیطی و هیدرولیکی رودخانه، آن را به زیستگاهی برای سگ ماهی جویباری تبدیل کرده است. این گونه، از ماهیان اندمیک حوزه دریاچه نمک با ظاهری کشیده و پوشیده از فلس‌های ریز، دمی کشیده، طول استاندارد ۹۲ میلی‌متر می‌باشند. اطلاعات مبسوط در این خصوص در مراجع طباطبایی و همکاران (۱۳۹۲؛ ۱۳۹۳) قابل‌دسترس می‌باشد.

در حوضه کردان و اطراف آن ایستگاه‌های هواشناسی و باران سنجی ده صومعه کردان، فشند، سرهه و ولیان از ایستگاه‌های اصلی منطقه مورد مطالعه می‌باشند علاوه بر آن‌ها ایستگاه سینوپتیک کرج برای تامین بخشی از داده‌های خاص مانند تابش خورشیدی نیز مورد استفاده قرار گرفت. این داده‌ها عمده اطلاعات ورودی مدل SWAT را تامین کردند. داده‌های آب سنجی بخش دیگری از داده‌های مورد نیاز می‌باشد که به خصوص برای واسنجی مدل SWAT بسیار اهمیت دارند. این داده‌ها برای ایستگاه ده صومعه کردان در دوره ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۰ از شرکت مدیریت منابع آب ایران تهیه شد. در شکل ۱ موقعیت محدوده و ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان داده‌شده است.



شکل ۱- موقعیت محدوده مورد مطالعه

علاوه بر موارد فوق، اطلاعات رقومی شامل DEM، نقشه کاربری اراضی و نقشه خاک از مراجع مختلف تهیه گردید. در محدوده مورد مطالعه ۵ کاربری اراضی شامل: مزارع تحت آبیاری، چراگاه‌ها، زمین‌های زراعی و جنگلی، چمنزار، بوته‌زار و ساوان وجود دارد. همچنین دو نوع خاک شامل لوم و کلی- لوم محدوده را پوشش داده است.

به منظور بررسی و برآورد شاخص مطلوبیت زیستگاه (HSI) نیاز به داده‌های مشاهداتی از شرایط فیزیکی رودخانه است. در این خصوص، از اطلاعات اندازه‌گیری شده توسط طباطبایی و همکاران (۱۳۹۲) شامل دبی، سرعت، عمق آب و جنس سنگ بستر برای ۶۸ نقطه در طول رودخانه کردان استفاده گردید. بر اساس داده‌های جمع‌آوری شده توسط این محققین مطلوبیت زیستگاه برای دوره ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۰ و دوره‌های آتی برآورد شد.

SWAT -۲-۲

SWA از جمله مدل‌های مفهومی است که و به جای استفاده از روابط رگرسیونی در برقراری ارتباط بین ورودی و خروجی؛ فرآیندهای فیزیکی مربوط به حرکت آب، رسوب، رشد گیاه، سیکل مواد غذایی در خاک و غیره را با استفاده از ورودی‌هایی مانند داده‌های اقلیمی، لایه خصوصیات خاک، توپوگرافی و نوع پوشش اراضی، شبیه‌سازی می‌نماید. معادله بیلان از روابط اصلی در شبیه‌سازی‌های مدل SWAT است که به صورت رابطه زیر تعریف می‌شود (Neitsch et al., 2011):

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^{t}(R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw})_i \qquad (۱)$$

در این معادله، SW_t مقدار نهایی آب در خاک (mm) در روز t، SW_0 مقدار اولیه آب در خاک (mm)، t زمان بر حسب روز و R_{day} میزان بارندگی در روز i (mm)، W_{seep} مقدار آبی که در روز i از منطقه ریشه خارج می‌گردد (mm) و Q_{gw} مقدار جریان برگشتی در روز i (mm) می‌باشند.

این مدل فرآیندهای بسیار متنوعی را شبیه‌سازی می‌کند که مواردی مانند بارش-رواناب، برآورد دمای آب جریان رودخانه از مهم‌ترین بخش‌هایی بود که نیاز این تحقیق بود. در فرآیند بارش-رواناب عمدتاً از روابط شماره منحنی SCS استفاده می‌گردد و دمای آب نیز با استفاده از روابط تجربی در تبدیل دمای هوا به دمای آب به دست می‌آید:

$$T_{water} = 0.5 + 0.75 * \qquad (۲)$$

در این رابطه T_{water} دمای آب و T_{air} دمای هوا بر حسب درجه سانتی‌گراد می‌باشد. قابلیت دیگر مدل SWAT توانایی آن در ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر سیستم‌های آبی است. این موضوع با تغییر در ورودی‌های مدل (مانند بارندگی، دما) در عملگرهایی که بدین منظور تنظیم شده‌اند (Subbasin Edit)، شبیه‌سازی می‌شود. بدین منظور با معرفی درصد تغییرات بارندگی و تغییرات دما از اطلاعات متوسط بلندمدت ماهانه حاصل از خروجی‌های مدل‌های گردش عمومی جو، تغییرات دما و بارش در حوضه مطابق روابط زیر برآورد می‌کند:

$$Tmx = Tmx + adjtmp \qquad (۳)$$

$$Tmn = Tmn + adjtmp \qquad (۴)$$

$$R_{day} = R_{day} * \left[1 + \frac{adj_{pcp}}{100}\right] \qquad (۵)$$

در این روابط، adj_{pcp} درصد تغییرات در بارندگی، R_{day} مقدار بارندگی روزانه در زیر حوضه بر حسب میلیمتر، T_{mx} حداکثر دمای روزانه بر حسب درجه سانتی‌گراد، T_{mn} حداقل دمای روزانه بر حسب درجه سانتی‌گراد، adj_{tmp} تغییر در دما می‌باشد. بنابراین به منظور بررسی تغییرات دما و بارش، لازم است داده‌های اقلیمی فراهم شود.

۲-۳- تولید سناریوهای تغییر اقلیم

مدل‌های سه‌بعدی گردش عمومی اتمسفر-اقیانوس[۶] (AOGCM) یا به اختصار، مدل‌های (GCM) معتبرترین ابزار جهت تولید سناریوهای اقلیمی و بررسی چشم‌انداز اقلیم در دوره‌های آتی می‌باشد مدل‌های AOGCM یک مدل ریاضی از گردش عمومی جو سیاره یا اقیانوس هستند (Wikipedia, 2013). مدل‌های متنوعی در این خصوص وجود دارد که مدل HadCM3 از پرکاربردترین آن‌ها می‌باشد (زارع‌زاده مهریزی ،۱۳۸۹). این مدل شبیه‌سازی اقلیم کره زمین را با توجه به سناریوهای مختلف افزایش گازهای گلخانه‌ای انجام می‌دهند. این سناریوها به عنوان سناریوهای غیر اقلیمی و حاوی اطلاعاتی از وضعیت اقتصادی-اجتماعی و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر کره زمین است که به آن‌ها سناریو انتشار (Emission Scenario) نیز گفته می‌شود (مساح بوانی، ۱۳۸۵). که در چهار شاخه اصلی یا خانواده سناریوهای B1, A2, A1 و B2 قرار می‌گیرند (زارع زاده مهریزی ،۱۳۸۹). در این تحقیق از خروجی‌های دما و بارش مدل Hadcm3 تحت دو سناریوی انتشار A2 و B1 استفاده شد. این داده‌ها از سایت IPCC دریافت گردید. با استفاده از خروجی‌های این سایت، داده‌های دما و بارش برای دوره‌های ۱۹۸۵-۲۰۱۰ (دوره پایه) و ۲۰۱۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۷۰ و ۲۰۷۱-۲۰۹۹ (سه دوره آتی) تهیه و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. به منظور حذف اغتشاشات غیر معتبر درون مدلی در مدل‌های GCM و تقویت میزان تغییرات اقلیمی موجود، معمولا به جای استفاده مستقیم از داده‌های AOGCM در محاسبات تغییر اقلیم، از میانگین دوره‌ای ۳۰ ساله این داده‌ها استفاده می‌شود. بدین منظور با محاسبه تغییرات متغیر اقلیمی مورد نظر در دوره‌های آتی نسبت به دوره گذشته، سناریو تغییر اقلیم آن متغیر را می‌توان با استفاده از روش عامل تغییر[۷] و با توجه معادلات (۳، ۴ و ۵) به دست آورد (شاه کرمی، ۱۳۸۸ ; Wilby & Harris, 2006).

۲-٤- شاخص مطلوبیت زیستگاه

برای بررسی مطلوبیت زیستگاه روش‌های متنوعی به کار گرفته شده است که عمدتاً بر پایه مدل‌های داده محور (Data Driven) استوار هستند. شاخص مطلوبیت زیستگاه (HSI) معمول‌ترین شاخص زیستگاهی است به عنوان تابعی از شاخص‌های انتخاب (SI)[۸] مرتبط با متغیرهای مستقل (مانند پوشش، عمق، اندازه بستر، سرعت) برآورد می‌گردد. این مطالعه شاخص مطلوبیت زیستگاه از رابطه زیر محاسبه می‌شود (Ahmadi-nadushan.et al, 2006):

$$HIS = SI_1^a * SI_2^b * SI_3^c * SI_4^d \qquad (۶)$$

که در آن SI_1 شاخص انتخاب عمق آب، SI_2 شاخص انتخاب سرعت آب، SI_3 شاخص انتخاب اندازه سنگ بستر رودخانه و SI_4 شاخص انتخاب دمای آب تعریف شده است. a، b، c و d نیز ضرایبی هستند که برای هر پارامتر در نظر گرفته می‌شود که در این مطالعه از روش آنتروپی برای محاسبه آن‌ها استفاده گردید (مرید، ۱۳۹۳). روابط حاکم بین هر پارامتر با SI، طبق رابطه زیر به دست می‌آید (طباطبایی و همکاران،۱۳۹۳):

$$SIc,i = Uc,i / Ac,i \qquad (۷)$$

در این رابطه اگر c یک متغیر محیطی باشد، i فاصله یا طبقه‌های آن متغیر، Uc, i درصد استفاده ماهی از یک طبقه خاصی از یک متغیر محیطی و Ac, i درصد در دسترس بودن آن متغیر محیطی می‌باشد. مشخصاً درصد Uc,i از یک نسبت گیری ساده از تعداد افراد مشاهده‌شده در هر طبقه به دست می‌آید. درصد در دسترس بودن به این ترتیب محاسبه می‌شود که درصد هر طبقه از هر پارامتر را محاسبه، سپس تعداد افراد در هر طبقه را شمارش می‌کند. در نهایت یک نسبت از این شمارش‌ها را در هر درصد از طبقه پارامتر مربوطه محاسبه می‌کند و به درصد Aci می‌رسد. در این مطالعه برای برآورد شاخص انتخاب از نرم‌افزار HABSEL[۹] استفاده گردید.

۲-۵- بررسی اثر تغییر اقلیم بر مطلوبیت زیستگاه آبزیان

شکل ۲ روند انجام تحقیق به منظور بررسی اثر تغییر اقلیم بر مطلوبیت زیستگاه آبزیان رودخانه‌ای را نشان می‌دهد. همان طور که در شکل نشان داده شده است، سناریوهای اقلیمی حاصل از مدل HadCM3 پس از ریز مقیاس نمائی، داده‌های اقلیمی مربوط به دما و بارش را در دوره‌های پایه و ۳۰ ساله آتی در اختیار قرار می‌دهد. بعد از شبیه‌سازی دبی روزانه و دمای آب رودخانه بر اساس نتایج SWAT و داده‌های تغییر اقلیم، با استفاده از این خروجی‌ها، سرعت و عمق معادل به ازای دبی‌های شبیه‌سازی شده با استفاده از معادله مانینگ به دست می‌آید. در نهایت هم شاخص مطلوبیت زیستگاه بر اساس رابطه ۶ و با توجه به مقادیر شاخص انتخاب (SI) هر پارامتر در دوره‌های پایه و آتی برآورد می‌گردد. برای محاسبه SI در دوره‌های آتی، ابتدا بین مقادیر انتخاب‌پذیری هر پارامتر و مقادیر هر پارامتر در زمان نمونه‌برداری معادله‌ای برازش داده شد. روابط حاکم بر سرعت (V) بر حسب متر بر ثانیه، عمق (D) بر حسب متر و دمای آب ($Wtmp$) بر حسب درجه سانتی‌گراد با مقدار انتخاب‌پذیری ($Selected$) در محدوده مطالعاتی در زیر ارائه شده است:

$$Selected_V = -232.87V^5 + 771.67V^4 - 961.91V^3 + 567.33V^2 - 156.91V + 16.563 \quad (۸)$$

$$R^2 = 0.9938$$

$$Selected_D = 1E\text{-}08D^6 - 2E\text{-}06D^5 + 0.0002D^4 - 0.0068D^3 + 0.1248D^2 - 1.0948D + 5.2369 \quad (۹)$$

$$R^2 = 0.9997$$

$$Selected_{Wtmp} = -0.0004\ W_{tmp}^{\ 5} + 0.0341\ W_{tmp}^{\ 4} - 1.1841\ W_{tmp}^{\ 3} + 19.92\ W_{tmp}^{\ 2} - 161.45\ W_{tmp} + 502.67 \quad (۱۰)$$

$$R^2 = 0.9808$$

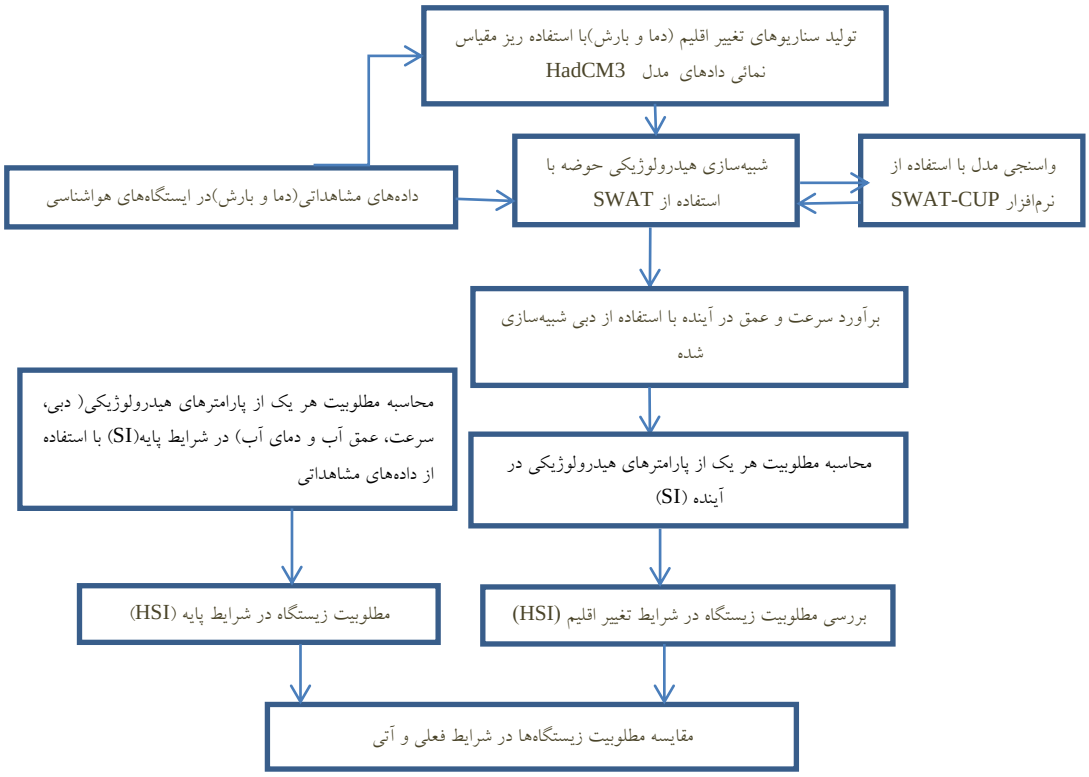
با توجه به مقدار انتخاب پذیری (*Selected*) در دوره‌های آتی، *SI* هر پارامتر از تقسیم هر مقدار انتخاب پذیری بر بیش‌ترین مقدار انتخاب‌پذیری آن، به دست می‌آید. لازم به ذکر است که شاخص مطلوبیت اندازه سنگ بستر در این تحقیق در مقاطع ثابت در نظر گرفته شد. به این معنی که در این مطالعه *SI* اندازه سنگ برای دوره‌های آتی مقداری برابر با *SI* محاسبه‌شده در دوره مطالعات طباطبایی و همکاران (۱۳۹۲) دارد.

۳- نتایج و تحلیل نتایج

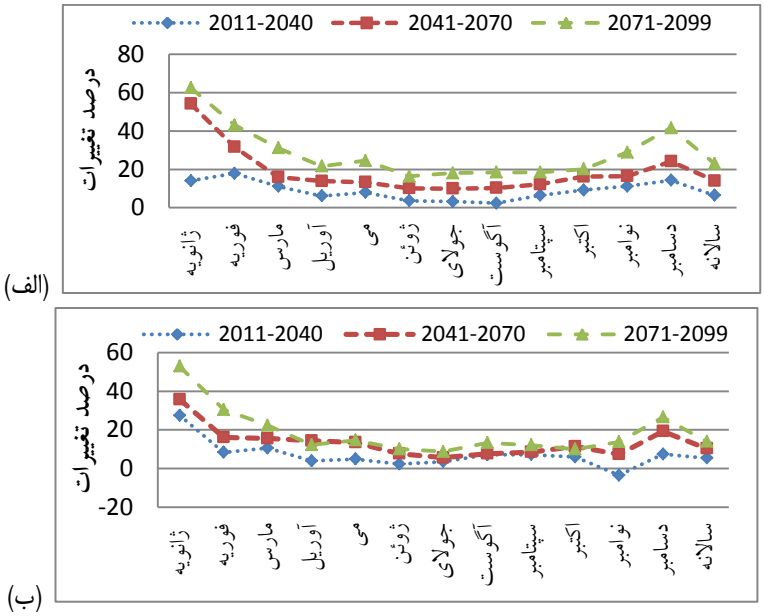
۳-۱- اثرات تغییر اقلیم بر دما و بارش

بر اساس نتایج به دست آمده پس از ریز مقیاس نمایی خروجی مدل HadCM3 تحت دو سناریو A2 و B1 و با توجه به دوره پایه ۱۹۸۵-۲۰۱۰ چگونگی تغییر پارامترهای اقلیمی برای دوره‌های آتی به دست آمد. در اشکال ۳ و ۴ این تغییرات به صورت درصد ارائه شده است.

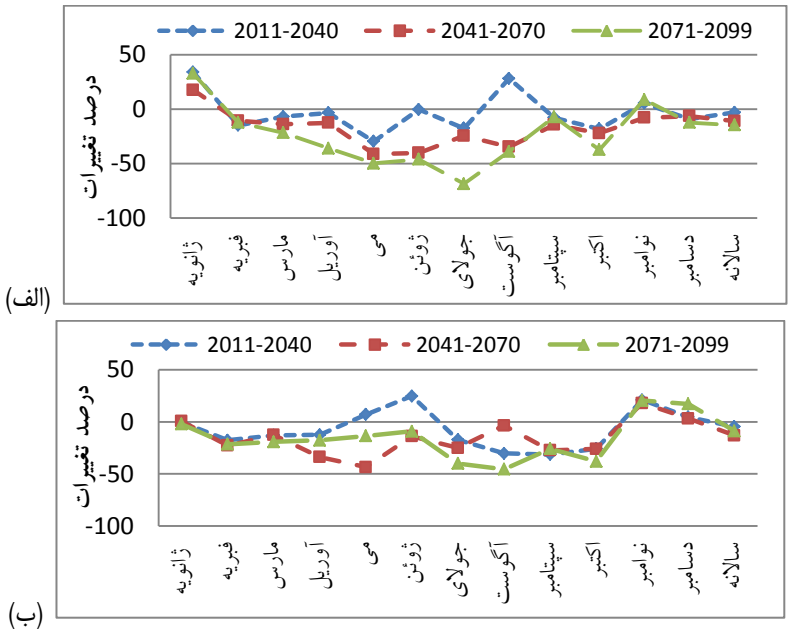
طبق نتایج این بخش ، از تبعات پدیده تغییر اقلیم افزایش دما و کاهش متوسط سالانه بارش خواهد بود. به طوری که دمای هوا در مقیاس سالانه طی دوره‌های ۲۰۱۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۷۰ و ۲۰۷۱-۲۰۹۹ به ترتیب ۱/۶، ۱۴/۱ و ۲۳ در صد طبق سناریو A2 افزایش می‌یابد. در سناریو B1 تغییرات به صورت ۵/۳، ۱۰/۳ و ۱۴ درصد افزایش می‌باشد. کاهش بارندگی طی این دوره‌ها در سناریو A2 به ترتیب ۲/۹، ۱۰/۸ و ۱۴/۶ درصد پیش نگری شده است این کاهش در سناریو B1 ۴/۷، ۱۳/۱ و ۸/۸ درصد است. قابل توجه است که سناریوی A2 تبعات منفی‌تری را نشان می‌دهد.



شکل ۲- روند انجام تحقیق



شکل ۳- درصد تغییرات دمای ماهانه و سالانه زیر حوضه مطالعاتی تحت دو سناریو: الف) A2 و ب)B1



شکل ٤- درصد تغییرات بارش ماهانه و سالانه زیر حوضه مطالعاتی تحت دو سناریو : الف) A2 و ب)B1

مثلا در ماه جولای برای دوره ۲۰۷۱-۲۰۹۹ تا ۶۸/۶ درصد کاهش بارندگی پیش نگری شده است.

۳-۲- شبیه‌سازی هیدرولوژیکی حوضه تحت تأثیر تغییر اقلیم

۳-۲-۱- آماده سازی مدل SWAT

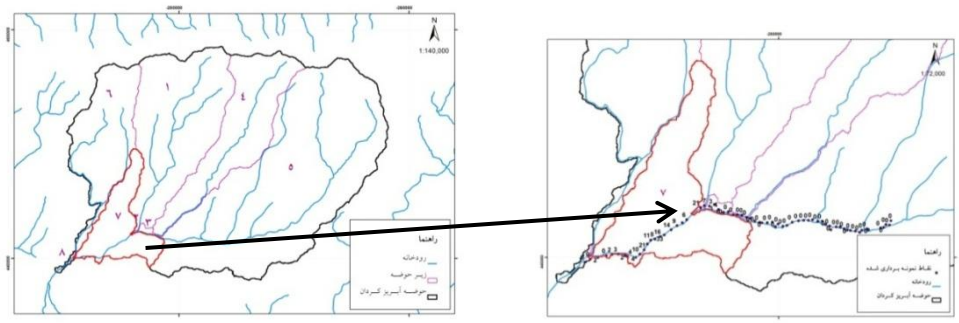
همان‌گونه که آمد، اطلاعات مورد نیاز مدل SWAT شامل نقشه‌های DEM، خاک و کاربری اراضی و همچنین داده‌های هواشناسی و آب‌سنجی منطقه، جهت شبیه‌سازی هیدرولوژیکی حوضه می‌باشد.

در این مرحله ابتدا با تنظیم حداقل مساحت زهکشی شده، تعداد ۸ زیر حوضه در منطقه مشخص گردید و سپس بر اساس لایه‌های نوع خاک، کاربری اراضی و شیب یکسان، برای زیر حوضه، تعداد ۸۴ واحد همگن هیدرولوژیکی (HRU) تشکیل گردید.

همچنین با توجه به نقشه موثر بودجه برفی در رژیم هیدرولوژیکی حوضه، به منظور شبیه‌سازی هر چه بهتر توده برفی، هر زیر حوضه به ۱۰ باند ارتفاعی تقسیم گردید. از میان ۸ زیر حوضه به دست آمده، تنها نتایج حاصل از مدل برای زیر حوضه شماره ۷ مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۵).

دلیل انتخاب این زیر حوضه این می‌باشد که ایستگاه آب سنجی ده صومعه در آن واقع شده است. از طرفی نیز اطلاعات موجود از شرایط زیستی گونه سگ ماهی جویباری (طباطبایی و همکاران، ۱۳۹۲)، بیشتر مربوط به این زیر حوضه می‌باشد. در این مطالعه واسنجی مدل صرفا به منظور شبیه‌سازی جریان خروجی از حوضه و با مقادیر مشاهده‌شده دبی رودخانه در ایستگاه ده صومعه کردان بین سال‌های ۱۹۸۵تا ۲۰۰۴ و با استفاده از روش SUFI2 توسط نرم‌افزار SWAT-CUP صورت گرفت. داده‌های سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۰ نیز برای صحت‌سنجی مدل انتخاب شدند. جهت ارزیابی مدل از شاخص ضریب تعیین (R^2)، ضریب نش ساتکلیف (NS) و همچنین مقدار شاخص‌های r- factor (نسبت متوسط بازه عدم قطعیت ۹۵ درصد به انحراف معیار داده‌های مشاهده‌ای) و p-factor (درصد داده‌های مشاهداتی در باند عدم قطعیت ۹۵ درصد استفاده گردید که نتایج در جدول ۱ قابل مشاهده هستند. همچنین شکل ۶ مقایسه دبی شبیه‌سازی شده توسط مدل SWAT را در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی با داده‌های مشاهداتی نشان می‌دهد.

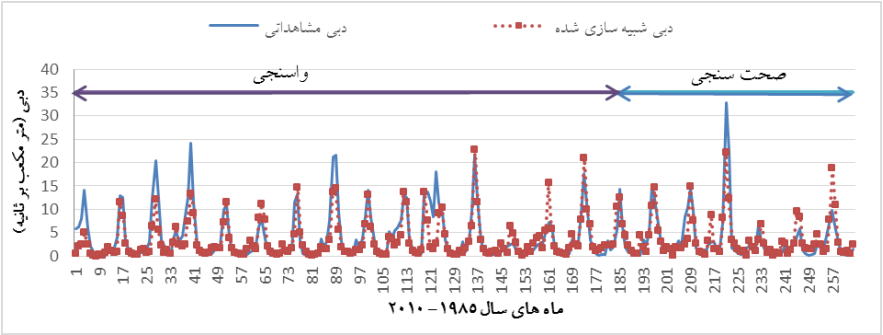
مقادیر کم شاخص r-factor (۰/۳-۰/۳۸) بیانگر واسنجی مناسب مدل و مقادیر شاخص p-factor و همچنین شکل ۶ مبین عدم قطعیت نسبتا زیاد مدل به ویژه در تخمین جریانات حداکثر می‌باشد. مقادیر R^2 و NS در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی مدل نیز حاکی از دقت قابل‌قبول مدل در شبیه‌سازی جریان خروجی از حوضه می‌باشد.



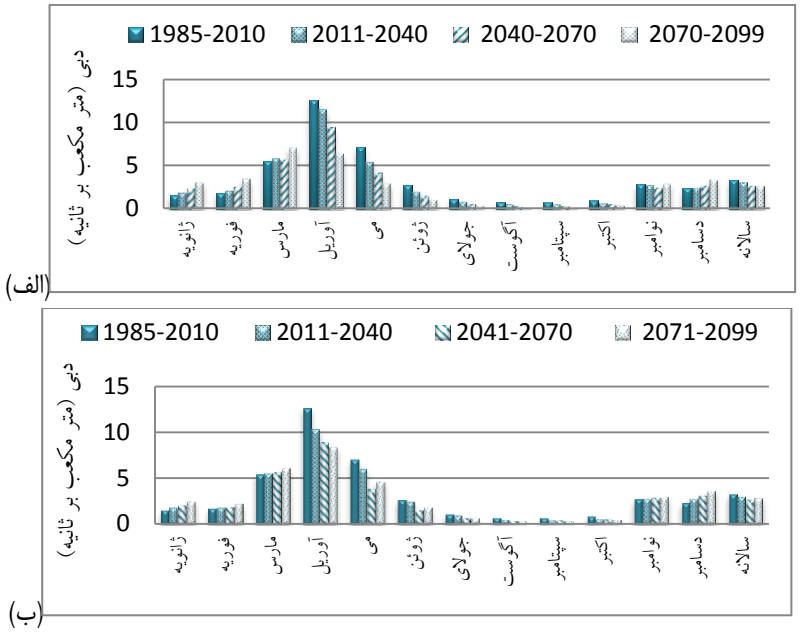
شکل ۵- موقعیت زیر حوضه انتخابی و فراوانی گونه سگ ماهی جویباری در نقاط نمونه‌برداری شده

جدول ۱- نتایج واسنجی و اعتبارسنجی مدل برای ایستگاه هیدرومتری ده صومعه کردان

واسنجی					اعتبارسنجی				
دوره آماری	R^2	NS	p-factor	r-factor	دوره آماری	R^2	NS	p-factor	r-factor
۲۰۰۴-۱۹۸۵	۰/۷۱	۰/۷	۰/۴۱	۰/۳۱	۲۰۱۰-۲۰۰۵	۰/۷	۰/۶۹	۰/۴۰	۰/۳۸



شکل ٦- مقایسه مقادیر دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده توسط مدل SWAT، در دوره واسنجی و صحت‌سنجی



شکل ۷- دبی شبیه‌سازی شده برای دوره‌های مورد مطالعه تحت دو سناریو: الف) A2 و ب) B1

۳-۲-۲- ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر رواناب حوضه

با اعمال درصد تغییرات بارندگی و دمای متوسط تحت سناریوهای A2 و B1 در مدل SWAT دبی برای ۳ دوره ۲۰۱۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۷۰ و ۲۰۷۱-۲۰۹۹ شبیه‌سازی گردید. طبق نتایج به دست آمده، در سناریو A2 متوسط دبی از ۳/۳۱ مترمکعب بر ثانیه طی ۱۰۰ سال آتی به ۲/۶۶ و در سناریو B1 به ۲/۸۶ مترمکعب بر ثانیه خواهد رسید (شکل ۷). همان طور که مشاهده می‌شود متوسط دبی سالانه تحت سناریو A2 طی دوره‌های ۲۰۱۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۷۰ و ۲۰۷۱-۲۰۹۹ به ترتیب ۵/۴، ۱۶ و ۱۹/۶ درصد کاهش خواهد یافت. نکته قابل‌توجه آنکه در سناریو B1 در دوره‌های ۲۰۱۱-۲۰۴۰ و ۲۰۴۱-۲۰۷۰ به ترتیب ۸/۵ و ۱۹/۹ درصد کاهش در دبی پیش نگری شده است ولی در دوره ۲۰۷۱-۲۰۹۹ بهبود در شرایط نسبت به دوره ۲۰۴۱-۲۰۷۰ مورد انتظار است.

۳-۲-۳- ارزیابی تاثیر تغییر اقلیم بر دمای آب رودخانه

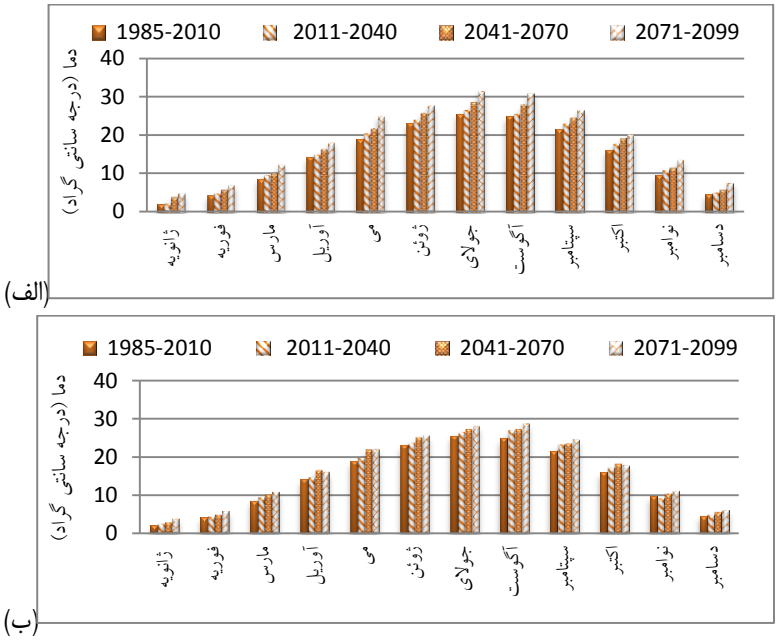
یکی از مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار بر مطلوبیت زیستگاه آبزیان دمای آب است که در اکثر مطالعات به آن اشاره شده است. در این بررسی دمای آب برای زیر حوضه مورد مطالعه توسط مدل SWAT شبیه‌سازی شد. شکل ۸ تغییرات دمای آب طی دوره‌های آتی تحت تأثیر تغییر اقلیم را نشان می‌دهد. درجه سانتی‌گراد در دوره ۲۰۷۱-۲۰۹۹ خواهد رسید. این یک افزایش ۲۰ درصدی می‌باشد. از طرفی در سناریو B1 مشاهده می‌شود که در دوره‌های فوق زمان وقوع دمای حداکثر آب نیز تغییراتی ایجاد خواهد شد. مثلا دمای آب در دوره ۲۰۷۱-۲۰۹۹ در ماه اوت به حداکثر مقدار خود می‌رسد. طبق سناریو A2 دمای حداکثر آب از ۲۵/۵ درجه سانتی‌گراد (دوره پایه) به ۳۱/۵ درجه سانتی‌گراد خواهد رسید.

۳-۳- مطلوبیت زیستگاه تحت شرایط پایه و تغییر اقلیم

۳-۳-۱- شاخص مطلوبیت در شرایط پایه

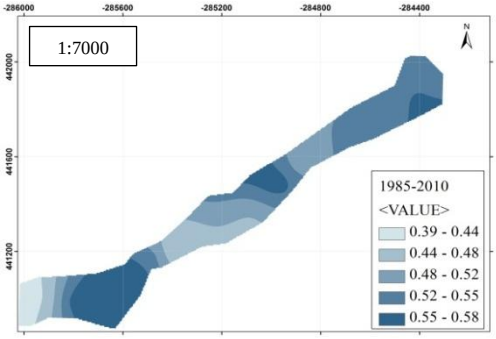
همان‌گونه که آمد، طی برداشت‌های صورت گرفته توسط طباطبایی و همکاران (۱۳۹۲ و ۱۳۹۳) و با استفاده از نرم‌افزارHABSEL، شاخص انتخاب (SI) برای هر پارامتر، در ۶۸ نقطه محاسبه شد. پارامترهای مورد بررسی توسط این محققین شامل سرعت، عمق و اندازه سنگ بستر می‌باشد. در این مطالعه شاخص مطلوبیت برای دمای آب هم اضافه گردید. با توجه به اینکه فراوانی ماهی در هر مقطع مشخص است SI برای دمای آب در هر مقطع قابل‌محاسبه می‌باشد. شاخص مطلوبیت زیستگاه (HSI) با ضرب SI هر پارامتر در طول بازه رودخانه مطابق با رابطه (۶) قابل محاسبه است. ضرایب هر پارامتر نیز از روش آنتروپی برآورد گردید. بر این اساس شاخص مطلوبیت زیستگاه سگ ماهی جویباری در رودخانه کردان مطابق با رابطه (۱۱) خواهد بود:

$$HIS=SI_1^{0.249} * SI_2^{0.253} * SI_3^{0.249} * SI_4^{0.249} \quad (۱۱)$$



شکل ۸- دمای آب برای دوره‌های مورد مطالعه تحت دو سناریو: الف) A2 و ب) B1

در رابطه بالا SI_1 شاخص مطلوبیت عمق آب، SI_2 شاخص مطلوبیت سرعت آب، SI_3 شاخص مطلوبیت اندازه سنگ بستر رودخانه، و SI_4 شاخص مطلوبیت دمای آب می‌باشد. همان طور که مشاهده می‌شود پارامتر سرعت تأثیرگذارترین پارامتر است. با استفاده از این روابط، HSI در بازه مورد مطالعه از رودخانه به دست آمد. شکل ۹ نحوه تغییرات مطلوبیت زیستگاه (HSI) سگ ماهی جویباری در دوره ۱۹۸۵-۲۰۱۰ را نشان می‌دهد.



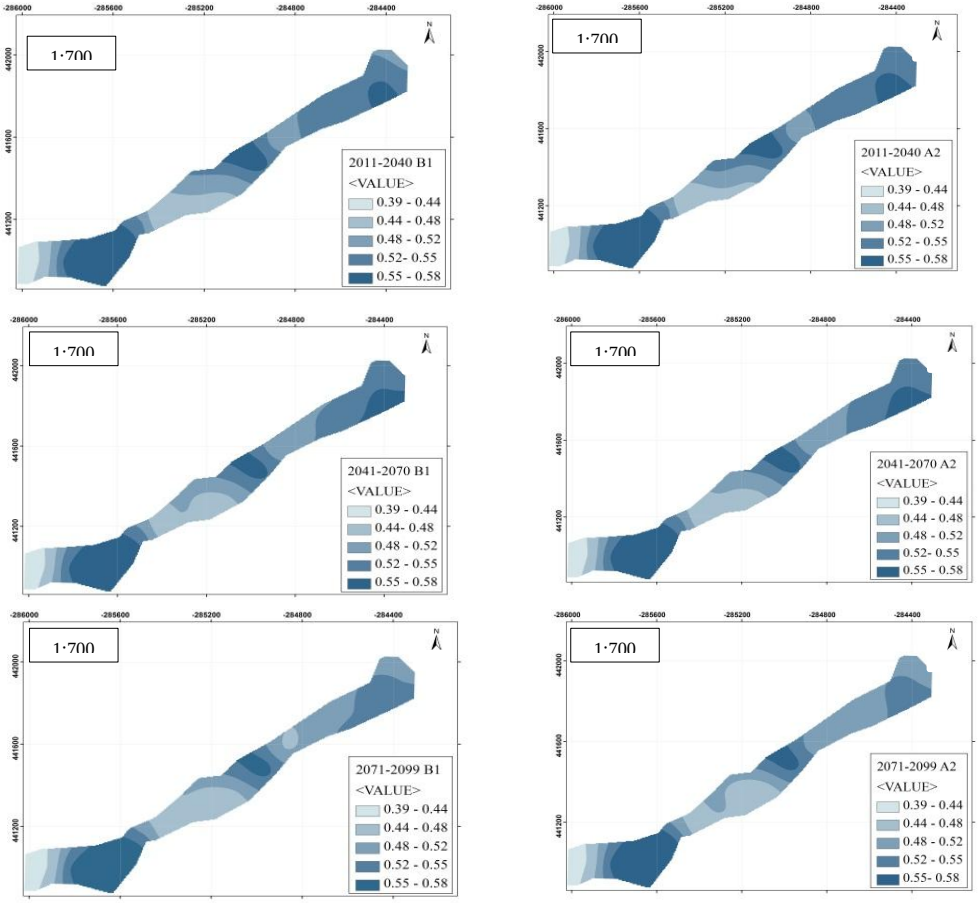
شکل ۹- مطلوبیت زیستگاه (HSI) سگ ماهی جویباری در دوره ۱۹۸۵-۲۰۱۰

۳-۳-۲- ارزیابی مطلوبیت زیستگاه در اثر تغییر اقلیم

به منظور بررسی تغییرات مطلوبیت زیستگاه در اثر تغییر اقلیم، محاسبه HSI در ۳ دوره ۳۰ ساله آینده به صورت متوسط بلندمدت سالانه صورت گرفت. به این ترتیب که با استفاده از دبی متوسط ماهانه و معادله مانینگ، سرعت و عمق آب در این دوره‌ها به دست آمد. همچنین دمای آب این دوره‌ها نیز از مدل SWAT استخراج شد. در نهایت با استفاده روابط ۷، ۸ و ۹ که نتیجه خروجی‌های HSBSEL بودند، شاخص مطلوبیت (SI) مربوط برای هرماه این متغیرها به دست آمد. در ادامه نیز با یک میانگین‌گیری از این SIهای به دست آمده و با میانگین هندسی وزن‌دار آن‌ها (رابطه۱۱) HIS سالانه محاسبه شد. شکل ۱۰ چگونگی تغییرات مطلوبیت زیستگاه در اثر تغییر اقلیم را تحت دو سناریو A2 و B1 نشان می‌دهد.

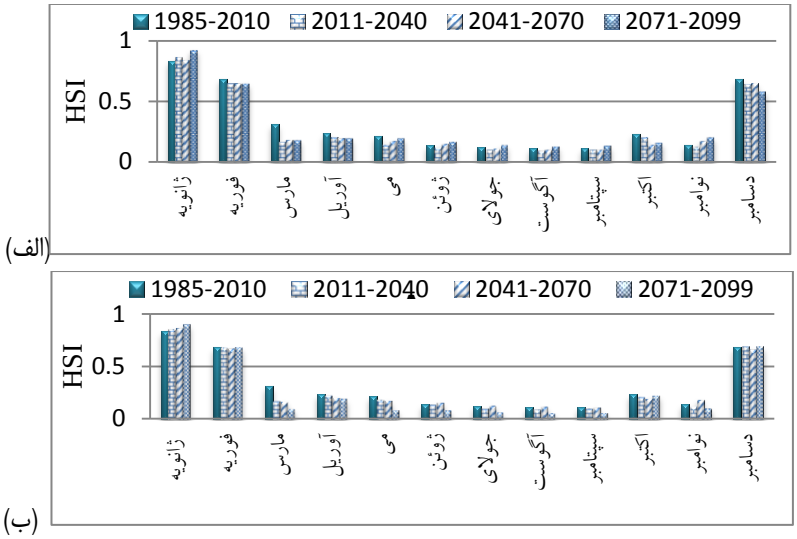
طبق این اشکال تغییر اقلیم نقش موثری در توزیع مکانی شاخص مطلوبیت زیستگاهی در رودخانه دارد. تحت هر دو سناریو در دوره ۲۰۱۱-۲۰۴۰ در بالادست رود مطلوبیت رو به بهبود است. به عبارتی چون دبی رودخانه در۳۰ سال آتی کاهش خواهد یافت مطلوبیت در بالادست رود بیشتر خواهد شد. با توجه به مقاطع عرضی رودخانه در این بخش، شیب رود در بالادست منجر به افزایش سرعت آب نسبت به پایین‌دست می‌گردد که این افزایش شاخص مطلوبیت زیستگاه را در پی خواهد داشت. از طرفی طبق ضرایبی که از روش آنتروپی به دست آمد سرعت، بیش‌ترین تأثیر را بر مطلوبیت زیستگاه سگ ماهی جویباری دارد. که این می‌تواند تاییدی برای نتیجه به دست آمده

باشد. اما برای دوره‌های ۲۰۴۱–۲۰۷۰ و ۲۰۷۱– ۲۰۹۹ تأثیر کاهش دبی به حدی است که حتی در بالادست نیز انتظار می‌رود مطلوبیت به شدت کاهش یابد.



(الف) (ب)

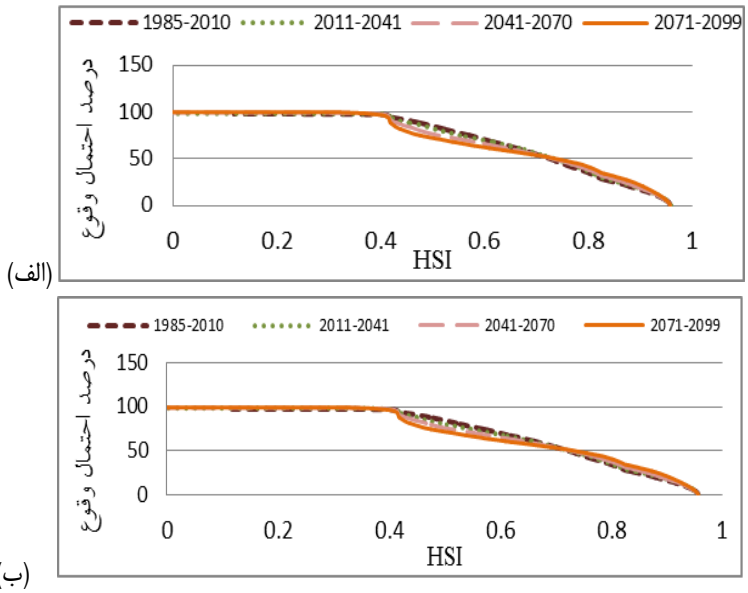
شکل ۱۰- تغییرات مطلوبیت زیستگاه در اثر تغییر اقلیم تحت دو سناریو: الف) A2 و ب) B1



(الف)

(ب)

شکل ۱۱- تغییرات HSI طی ۱۰۰ سال آتی به صورت ماهانه تحت دو سناریو: الف) A2 و ب) B1



شکل ۱۲- مقایسه احتمال وقوع HSIهای مختلف طی ۱۰۰ سال آتی با دوره پایه تحت دو سناریو: الف) A2 و ب) B1

همچنین به منظور بررسی ماهانه تغییرات مطلوبیت زیستگاه شکل ۱۱ تهیه شد. در این شکل تغییرات ماهیانه HSI، طی دوره‌های ۱۹۸۵-۲۰۱۰، ۲۰۱۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۷۰ و ۲۰۷۱-۲۰۹۹ ؛ تحت دو سناریو A2 و B1 بررسی شده است. بر اساس این شکل مطلوبیت زیستگاه در ماه‌هایی مثل نوامبر و ژانویه روندی رو به بهبود خواهند یافت. با توجه به مقادیر دبی به دست آمده از خروجی مدل SWAT، این افزایش قابل توجیه است. زیرا در این ماه‌ها افزایش دبی آب نسبت به دوره پایه انتظار می‌رود. همچنین در ماهی مانند مارث علیرغم افزایش دبی، کاهش در مطلوبیت زیستگاه دیده می‌شود. دلیل این اتفاق، می‌تواند افزایش دمای هوا در این ماه در سال‌های آتی می‌باشد. به منظور بررسی بیشتر اثر تغییر اقلیم بر مطلوبیت زیستگاه گونه منحنی فراوانی تجربی مقادیر HSI در هر دوره نیز ترسیم گردید. بررسی که به این شکل انجام شد تغییرات HIS را در مفهوم کلی‌تری بیان می‌کند. به این معنی که به طور کلی در هر دو سناریو A2 وB1 احتمال وقوع HSI در بازه ۰/۶ تا ۰/۴ یک روند کاملا نزولی را نشان می‌دهد (شکل(۱۲). به خصوص بعد از دوره ۲۰۱۱-۲۰۴۰ این کاهش محسوس‌تر خواهد بود.

٤-خلاصه و جمع‌بندی

تحقیق حاضر باهدف بررسی اثر تغییر اقلیم بر مطلوبیت زیستگاه آبزیان رودخانه‌ای انجام گرفت. حوضه رودخانه کردان به عنوان منطقه مورد مطالعه با توجه به داده‌های هیدرولوژیک و اکولوژیک در دست انتخاب شد. در این راستا ابتدا به منظور پیش نگری اثر تغییر اقلیم بر دما و بارش حوضه از داده‌های مدل HadCM3 تحت دو سناریوی A2 و B1 استفاده گردید. سپس در مرحله بعد برای بررسی اثرات تغییر اقلیم بر جریان و دمای آب رودخانه از مدل SWAT استفاده شد. بدین منظور درصد تغییرات دما و بارش حوضه تحت شرایط تغییر اقلیم و طی ۳ دوره ۳۰ ساله شامل ۲۰۱۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۷۰، ۲۰۷۰-۲۰۹۹، به مدل معرفی گردید و مقدار تغییرات دبی و دمای آب در دوره‌های آتی شبیه‌سازی شد. در ادامه با توجه به دبی‌های به دست آمده سرعت و عمق برای دوره‌های مذکور برآورد شدند. بر اساس نتایج به دست آمده از تغییرات سرعت و عمق آب و دمای آب، تغییر شاخص مطلوبیت زیستگاه (HSI) برای گونه سگ ماهی جویباری محاسبه شد. این شاخص با استفاده از میانگین‌گیری به روش هندسی وزن دار از شاخص‌های مطلوبیت (SI) هر یک از پارامترهای هیدرولوژیکی به دست آمد. در این راستا از داده‌های میدانی موجود برای حضور تعداد ماهی در هر مقدار از پارامتر هیدرولوژیکی استفاده شد. در زیر به نتایج به دست آمده از این مطالعه اشاره می‌گردد:

- انتظار می‌رود تا ۱۰۰ سال آینده متوسط دمای هوا افزایش یابد. به این صورت که متوسط دما از ۱۵/۱ درجه سانتی‌گراد به ۱۹/۶ و ۱۷/۶ درجه سانتی‌گراد تحت سناریوهای A2 و B1 در دوره ۲۰۷۱-۲۰۹۹ خواهد رسید. از طرفی کاهش متوسط بارش سالانه طی دوره

آتی نیز قابل انتظار است. به عنوان مثال بارندگی از ۵۵۲/۸ میلی‌متر در دوره پایه (۱۹۸۵– ۲۰۱۰) به ۴۷۲/۳ و ۵۰۴/۱ میلی‌متر تحت سناریوهای A2 و B1 در دوره ۲۰۷۱–۲۰۹۹ خواهد رسید. بر این اساس و طبق شبیه‌سازی صورت گرفته از دبی جریان توسط مدل SWAT ، در ۳ دوره ۳۰ ساله روندی رو به کاهش تحت شرایط تغییر اقلیم انتظار می‌رود.

–تغییر اقلیم نقش موثری در توزیع مکانی مطلوبیت زیستگاهی در رودخانه دارد. تحت هر دو سناریو A2 وB1 در دوره ۲۰۱۱–۲۰۴۰ در بالادست رود مطلوبیت رو به بهبود است. با توجه به مقاطع عرضی رودخانه در این بخش، کاهش دبی در این دوره منجر به کاهش سرعت در این قسمت و افزایش شاخص مطلوبیت این متغیر نسبت به سایر متغیرها می‌گردد. اما برای دوره‌های ۲۰۴۱–۲۰۷۰ و ۲۰۷۱–۲۰۹۹ تأثیر کاهش دبی به حدی است که حتی در بالادست نیز انتظار می‌رود مطلوبیت به شدت کاهش یابد.

– بررسی تغییرات ماهانه مطلوبیت زیستگاهی حاکی از آن است که مطلوبیت زیستگاه در ماه‌های نوامبر تا فوریه روندی رو به بهبود خواهند یافت. همچنین در ماه‌هایی مانند مارس علیرغم افزایش دبی، کاهش در مطلوبیت زیستگاه دیده می‌شود.

– طبق بررسی‌های صورت گرفته احتمال وقوع HSI در محدوده ۰/۴ تا ۰/۶ که حد نسبتاً مطلوبی برای ماهی به شمار می‌آید در دوره پایه در بازه ۱۰۰ تا ۸۰ درصد تداوم بیشتری نسبت به ۱۰۰ سال آتی خواهد داشت. به عبارتی در ۱۰۰ سال آتی انتظار می‌رود که رودخانه مدت زمان (تعداد روز) کمتری دارای مطلوبیت مناسب برای زیست گونه داشته باشد.

۵- مراجع

ثبوتی ی (۱۳۹۰) زمین گرم: ارمغان سده بیست و یکم. موسسه جغرافیا و کارتوگرافی گیتاشناسی، تهران، ۲۴۰ص.

زارع‌زاده مهریزی م (۱۳۸۹) تخصیص منابع آب حوضه آبریز قزل‌اوزن -سفیدرود تحت تاثیر تغییر اقلیم با به‌کارگیری رویکرد ورشکستگی در حل اختلافات، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه سازه‌های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

شاه کرمی ن (۱۳۸۸) ارائه راهکارهای تطبیق با تغییر اقلیم با دخالت تحلیل ریسک و مدیریت جامع منابع آب در حوضه زاینده‌رود، ایران. رساله دکتری، گروه مهندسی سازه‌های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

طباطبایی ن، ایگدری س، کابلی م، جوانشیر آ، هاشم زاده سقرلو ا، زمانی م (۱۳۹۲) بررسی فاکتورهای محیطی موثر در پراکنش سگ ماهی جویباری (Oxynoemacheilus bergianus) در رودخانه کردان. نشریه شیلات، مجله منابع طبیعی ایران، دوره ۶۶، شماره۲.

طباطبایی ن، هاشم زاده سقرلو ا، ایگدری س، زمانی م (۱۳۹۳) عوامل تعیین‌کننده در زیستگاه انتخابی (aracobitis iranica Nalbant & Bianco) در رودخانه کردان، حوضه دریاچه نمک. مجله بوم‌شناسی آبزیان۳ (۴):۹-۱.

رضایی زمان م، مرید س، دلاور مجید (۱۳۹۲) ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر متغیرهای هیدروکلیماتولوژی حوضه سیمینه رود. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۷، شماره ۶، ۱۲۴۷-۱۲۵۹.

مرید ر (۱۳۹۳) بررسی اثرات تغییر اقلیم بر مطلوبیت زیستگاه آبزیان رودخانه‌ای، مطالعه: موردی رودخانه کردان. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده انرژی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات.

مساح بوانی ع (۱۳۸۵) ارزیابی ریسک تغییر اقلیم و تاثیر آن بر منابع آب، مطالعه موردی حوضه زاینده رود اصفهان، رساله دکتری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.

Ahmadi-nadushan B, ST-Hilaire A, Berube M, Robichaud E, Thiemonge N, Bobee B (2006) A review of statistical methods for the evaluation of aquatic habitat suitability for instream flow assessment. River Research and Applications, 22:503-523.

Arnold JG, Allen PM, Bernhardt G (1993) A comprehensive surface groundwater flow model. Journal of Hydro. 142:47-69.

De Stasio BT, Hill DK, Kleinhans JM, Nibbelink NP, Magnuson JJ (1996) Potential effects of global climate change on small north-temperate lakes: Physic, fish, and plankton. Limnol. Oceanogr, 41(5):136-1149.

IPCC (2001) Climate change 2001: IPCC Special Report on Emissions Scenarios. A Special Report of IPCC Working Group III, Intergovernmental Panel on Climate Change, ISBN: 92-9169, 113-115.

Resources Institute Technical Report No. 406. Texas A&M University System. College Station, Texas 77843-2118.

Pradhanang SM, Mukundan R., Schneiderman EM, Zion MS, Anandhi A, Pierson DC, Frei A, Easton ZM, Fuka D, Steenhuis TS (2013) Streamflow Response To Climate Change: Analysis Of Hydrologic Indicators In a New York City Water Supply Watershade. Journal Of The American Water Resources Association, Vloume. 49, No. 6.

Rijnsdorp A D, Peck MA, Engelhard GH, Mollmann C, Pinnegar JK (2009) Resolving the effect of climte change on fish populations, ICES Journal of Marine Science, 66: 1570-1583.

Vadas RL, Orth DJ (2001) Formulation of habitat suitability models for stream fish guilds: do the standard methods work? . Transactions of the American Fisheries Society, Soc;130:217–3

Wikipedia 2014: ttp://fa.wikipedia.org/wiki, 2014.

wikipg 2014: http://www.wikipg.com/wiki, 2014.

Wilby RL, Harris I (2006) A frame work for assessing uncertainties in climate change impacts: low flow scenarios for the River Thames, UK. Water Resources Research, 42(2), pp, 1-10.

Wu W, He Z, Wang SSY, Douglas Shields F (2006) Analysis of aquqtic habitat suitability using a depth-averaged 2-D model. World Environmental and Water Resource Congress. pp. 1-10.

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.

Lubini A, Adamowski J (2013) Assessing the potential impacts of four climate change scenarios on the discharge of the Simiyu River, Tanzania Using the SWAT Model. Int. J. of Water Sciences 2(1):1-12.

Hanaee J, Agh N, Hanaee M, Delazar A, Sarkerc SD (2005) Studies on the enrichment of Artemia Urmiana cysts for improving fish food value, Animal Feed Science and Technology,120(1-2): 107–112.

Lane ME, Kirshen PH, Vogel RM (1999) Indicators of impact of global climate change on U.S water resources. ASCE, journal of Water Resources Planning and Management. 125(4): 194-204.

Morrison J, Quick MC, Foreman MGG (2002) Climate change in Fraser River Watershed: flow and temperature projections. Journal of Hydrology 263: 230-244.

Moutona AM, Schneiderb M, Depestelea J, Goethalsa PLM, De Pauwa N (2007) Fish habitat modelling as a tool for river management. ecological engineering 29 : 305.315.

Neitsch SL, Arnold JG, Kiniry JR, Williams JR (2011) Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation Version 2009. Texas Water