

## The impact of population growth on domestic water demand from Taleghan reservoir under climate change scenarios

B. Ababaie<sup>1\*</sup>, F. Mirzaie<sup>2</sup>, T. Sohrabi<sup>3</sup>

1- Young Researchers and Elites Club, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran. 2,3- Associate Professor&Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, Faculty of Engineering, Technology & Agriculture, Tehran University, Iran.

\* (Corresponding Author E-Mail: Behnam.ab@gmail.com)

Received: 17-05-2014

Accepted: 14-07-2014

## تأثیر افزایش جمعیت بر تقاضای آب شرب از سد مخزنی طالقان تحت سناریوهای تغییر اقلیم

بهنام آبابایی<sup>۱\*</sup>، فرهاد میرزایی<sup>۲</sup>، تیمور سهرابی<sup>۳</sup>

۱- باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران. ۲ و ۳- به ترتیب دانشیار و استاد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران.

\* (نویسنده مسئول، E-Mail: Behnam.ab@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۹۳/۲/۲۷

تاریخ پذیرش: ۹۳/۴/۲۳

### Abstract

Population growth can greatly impact on greenhouse gas emission pattern in the future. Considering the importance of population growth in climate change studies, the present research concentrates on the population growth of the Middle East in the late 21th century based on the IIASA population scenarios. Under the projections of A2-B1 scenario, the world's population will grow up to 8.7 billion and according to A2 scenario it will be almost 11.8 billion by 2055. The results indicate that under both of these scenarios, which are considered among principle climate change scenarios, the population of the Middle-East would increase from 312 million in 1995 to 809 million and 2 billion, respectively by 2100. According to population rates assumed in these scenarios, the domestic water demand of Taleghan reservoir was estimated for the period of 2055 and 2100. The results indicated that under these two scenarios, by 2055 (2040-2069) the mean of monthly domestic water demand of the reservoir will be respectively increased by 80 and 161%. Furthermore, the analysis of the data for 2006-2011 revealed that during all these years as well as all their dry months (July – November), the total average of the domestic and agricultural water use rate has been greater than the average reservoir inflow rate, resulting in the decrease of the storage volume of the reservoir in these periods. Therefore, considering the severity of water shortage in this period, a reevaluation of the current reservoir management methods and formulation of a change adaptation plan seems to be essential.

**Keywords:** IIASA, Population Scenarios, Population Growth Rate, Reservoir Water Balance.

### چکیده

افزایش جمعیت می تواند اثر قابل توجهی بر الگوی انتشار گازهای گلخانه ای در آینده داشته باشد. با توجه به اهمیت نقش افزایش جمعیت در مطالعات تغییر اقلیم، در این تحقیق، افزایش جمعیت منطقه ای خاورمیانه تا انتهای قرن بیست و یکم میلادی، بر اساس سناریوهای جمعیتی IIASA مورد بررسی قرار گرفت. تحت سناریوی A2-B1، جمعیت جهان تا سال ۲۰۵۵ به ۸/۷ میلیارد نفر، و تحت سناریوی A2 به ۱۱/۸ میلیارد نفر بالغ می گردد. بررسی ها نشان داد که تحت سناریوهای A2 و A1-B1 (به عنوان مبانی سناریوهای تغییر اقلیم مورد استفاده قرار گرفته اند)، جمعیت منطقه خاورمیانه از حدود ۳۱۲ میلیون نفر در سال ۱۹۹۵، به ترتیب به بیش از ۸۰۹ میلیون و ۲ میلیارد نفر در سال ۲۱۰۰ میلادی خواهد رسید. بر اساس نرخ جمعیت مفروض در این سناریوها، نیاز آب شرب سد مخزنی طالقان برای دوره های ۲۰۵۵ و ۲۱۰۰ میلادی برآورد گردید. نتایج نشان داد که تحت این دو سناریو، متوسط ماهانه ای نیاز آب شرب سد طالقان تا سال ۲۰۵۵ میلادی (معرف دوره ای ۲۰۶۹-۲۰۴۰) در مقایسه با سال ۲۰۱۰، به ترتیب ۸۰ درصد و ۱۶۱ درصد افزایش پیدا خواهد کرد. همچنین، با تحلیل آمار سال های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۰ (۲۰۰۶ تا ۲۰۱۱ میلادی) مشخص گردید در تمام سال ها و در ماه های خشک سال (جولای تا نوامبر) مجموع متوسط دبی مصارف آب شرب و کشاورزی از متوسط دبی ورودی به مخزن بیشتر بوده و حجم ذخیره ای مخزن در این دوره ها کاهش می یابد. لذا با توجه به تشدید مشکل کم آبی به دلیل تغییرات اقلیمی، به ویژه در این ماه ها، نیاز به ارزیابی دوباره شیوه های کنونی مدیریت مخزن و تدوین یک برنامه ای سازگاری، ضروری به نظر می رسد.

واژه های کلیدی: IIASA، سناریوهای جمعیتی، نرخ رشد جمعیت، بیلان آبی مخزن.

آسیا زندگی می‌کنند و نگرانی‌های زیادی برای افزایش سوءتغذیه در میان بخش‌های فقیر این جمعیت و گروه‌های مهاجر و به ویژه کودکان در مناطق روستایی و نیز جمعیت زیر خط فقر وجود دارد (IPCC، ۲۰۰۷).

در مطالعه‌ای که توسط سازمان جهانی هواشناسی به منظور ارزیابی منابع آب شیرین در سطح جهان انجام گرفت (WMO، ۱۹۹۷) مشخص گردید که در سال ۱۹۹۷ حدود یک سوم جمعیت جهان در کشورهای زندگی می‌کنند که با کمبود منابع آب شیرین مواجه هستند. در این تحقیق چنین برآورد شده است که تا سال ۲۰۲۵ میلادی، دو سوم از جمعیت جهان مربوط به چنین کشورهایی خواهد بود. در مطالعه‌ای دیگر (Seckler و همکاران، ۱۹۹۸؛ Seckler و همکاران، ۱۹۹۹) کمبود منابع آب تا سال ۲۰۲۵ و در مقیاس جهانی مورد ارزیابی قرار گرفت. هرچند که در این مطالعه اثر تغییر اقلیم مدنظر قرار نگرفت و تمرکز عمده بر سناریوسازی در ارتباط با میزان مصرف آب به ویژه مصرف آب کشاورزی بود. در مطالعه‌ای مشابه (Alcamo و همکاران، ۲۰۰۰؛ Alcamo و همکاران، ۲۰۰۳) این ارزیابی با استفاده از سناریوهای جمعیتی مختلف صورت پذیرفت، هرچند که در این مطالعه نیز اثر تغییر اقلیم لحاظ نشده بود. Vorosmarty و همکاران (۲۰۰۰) افزایش تقاضای آب و سناریوهای مختلف تغییر اقلیم را در یک شبکه‌ی  $0.5 \times 0.5$  درجه در سطح جهان مورد مقایسه قرار دادند و چنین نتیجه گرفتند که در ۲۵ سال آینده، تأثیر پدیده‌ی تغییر اقلیم بر منابع آب شیرین کمتر از تأثیر افزایش جمعیت خواهد بود. فصل مشترک این مطالعات و برخی مطالعات مشابه دیگر (Alcamo و همکاران، ۱۹۹۷؛ UNEP، ۲۰۰۱؛ Revenga و همکاران، ۲۰۰۰؛ WRI، ۲۰۰۰) در پیش‌بینی این مسئله است که در آینده، جمعیت بیشتری در حوضه‌های مواجه با کمبود منابع آب شیرین زیست خواهند کرد و این، تماماً از افزایش جمعیت ناشی می‌گردد. در مطالعه‌ی تغییر اقلیم در ایران و حوزه‌ی کشاورزی و منابع آب، بیشترین تمرکز روی تأثیرات پدیده‌ی تغییر اقلیم بر عملکرد و نیاز آبی محصولات کشاورزی و آبدهی رودخانه‌ها بوده است (آبابایی، ۱۳۹۱؛ آبابایی و همکاران، ۱۳۸۹؛ علیزاده و کمالی، ۱۳۸۱؛ کوچکی و همکاران، ۱۳۸۰؛ کوچکی و نصیری، ۱۳۸۷؛ ناظم‌السادات و همکاران، ۱۳۸۵؛ شاه‌کرمی و همکاران، ۱۳۸۷). در برخی مطالعات نیز این پدیده‌ی جهانی در مدیریت منابع آب مورد توجه قرار گرفته است (مساح بوانی و مرید، ۱۳۸۴a، ۱۳۸۴b). اما (در زمان نگارش این مقاله) در هیچ مطالعه‌ای اثر افزایش نیاز آب شرب بر مدیریت منابع آب در شرایط تغییر اقلیم مدنظر قرار نگرفته است. توجه به این مسئله نیز ضروریست که ارزیابی

تحلیل‌های آماری اطلاعات تاریخی نشان داده است که رشد جمعیت یکی از دلایل افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای در دهه‌های گذشته بوده است (Fan و همکاران، ۲۰۰۶؛ Cole و Neumayer، ۲۰۰۴؛ Dietz و Roas، ۱۹۹۷) و شهرنشینی (Cole و Neumayer، ۲۰۰۴)، افزایش متوسط سن (Fan و همکاران، ۲۰۰۶) و تغییر اندازه‌ی خانوارها (Cole و Neumayer، ۲۰۰۴) نیز می‌توانند بر میزان مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای مؤثر باشند. متخصصین این حوزه انتظار دارند که تغییرات عمده‌ای در میزان جمعیت در طول دهه‌های آتی پیدا شود (Cohen، ۲۰۰۳). این امکان وجود دارد که جمعیت جهان تا حدود ۳ میلیارد نفر در اواسط قرن بیست و یکم افزایش پیدا کند که یکی از دلایل عمده‌ی آن، افزایش شهرنشینی خواهد بود (O'Neill و همکاران، ۲۰۱۰). مطالعات اخیر، حاکی از احتمال افزایش درجه حرارت سطح زمین در سال‌های آینده است (IPCC، ۲۰۰۷). تحقیق O'Neill و همکاران (۲۰۱۰) نشان می‌دهد در صورتیکه هدف، پیشگیری از افزایش مورد انتظار درجه حرارت (۲ درجه) باشد، ۲۹-۱۶٪ از کاهش مورد نیاز انتشار گازهای گلخانه‌ای از طریق کاهش رشد جمعیت حاصل می‌شود. در این مطالعه، از یک مدل رشد انرژی-اقتصاد برای مطالعه‌ی اثر سناریوهای مختلف رشد جمعیت بر انتشار گازهای گلخانه‌ای در سال‌های ۲۰۵۰ تا ۲۱۰۰ میلادی استفاده شد. همچنین این مسئله را نیز مد نظر قرار دادند که افزایش شهرنشینی می‌تواند بر مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای مؤثر باشد. در نهایت نتیجه گرفتند که افزایش متوسط سن جمعیت باعث کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود زیرا؛ اشخاص مسن‌تر نقش کمتری در رشد اقتصادی دارند. برعکس، مهاجرت از مناطق روستایی به شهرهای بزرگ رشد اقتصادی را افزایش داده و باعث افزایش تقاضا برای سوخت و تشدید تغییر اقلیم می‌گردد.

علی‌رغم این پیش‌بینی‌ها، اثر افزایش جمعیت بر آینده‌ی انتشار گازهای گلخانه‌ای کمتر مورد مطالعه قرار گرفته است (O'Neill و همکاران، ۲۰۰۱). برخی مطالعات تنها به بررسی اثر افزایش جمعیت و یا تعداد خانوارها پرداخته‌اند (Bongaarts، ۱۹۹۲؛ MacKeller و همکاران، ۱۹۹۵) و برخی دیگر از مدل‌های جمعیتی ساده استفاده کرده‌اند (Holdren و Ehrlich، ۱۹۷۱). مطالعه‌ی اثر افزایش جمعیت بر منابع آب و جریان عرضه و تقاضای غذا به‌عنوان بخشی از مطالعات ارزیابی اثر تغییر اقلیم اهمیت زیادی دارد. زیرا حدود نیمی از جمعیت جهان در قاره‌ی

اثر تغییر اقلیم تنها به انتخاب سناریوی اقلیمی یا مدل اقلیمی بستگی ندارد، بلکه از فرضیات مرتبط با نرخ افزایش جمعیت نیز تأثیر می‌پذیرد (Arnell, 2004). هریک از سناریوهای تغییر اقلیم، شرایط اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیستی خاصی را به تصویر می‌کشند و زمانی می‌توان این پدیده را به‌طور کامل مورد بررسی قرار داد که تمامی این جنبه‌ها در کنار یکدیگر و به‌صورت یکپارچه مورد مطالعه قرار گیرند.

## مواد و روش‌ها

### محدوده مطالعاتی

به منظور انتقال آب طالقان به دشت قزوین، در سال ۱۳۴۸ ساخت سد انحرافی سنگبان در طالقان و تونل انتقال آب به طول ۹ کیلومتر تا زیارانو سد انحرافی زیاران و مجموعه کانال‌های آبیاری دشت قزوین آغاز شد. در همان سال‌ها، مطالعاتی پیرامون سد مخزنی برای ذخیره‌ی سیلاب‌های بهاره‌ی رود طالقان نیز انجام شد، اما

### سناریوهای افزایش جمعیت

هرگونه تغییر در میزان غلظت گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر زمین، باعث به هم خوردن تعادل بین اجزاء سیستم اقلیم کره‌ی زمین می‌گردد. اما اینکه در آینده چه مقدار از این گازها توسط جوامع بشری وارد اتمسفر زمین شده و به تبع آن چه وضعیتی برای سیستم اقلیم کره‌ی زمین رخ خواهد داد، معین و قطعی نیست و تحت سناریوهای مختلفی ارائه شده است. این سناریوها در دو بخش مجزای سناریوهای غیراقلیمی و اقلیمی قابل تفکیک هستند. یک سناریوی غیر اقلیمی حاوی اطلاعاتی از وضعیت اقتصادی- اجتماعی و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر کره‌ی زمین است (سناریوهای انتشار<sup>۲</sup>، SRES). در این سناریوها مقادیر گازهای گلخانه‌ای با نرخ ثابت تا سال ۲۱۰۰ افزایش می‌یابد. هر کدام از این سناریوها مربوط به یکی از خانواده‌های A1، B1 و A2 و B2 هستند. به‌منظور تعیین سناریوهای جمعیتی متناسب با سناریوهای SRES، از میان سناریوهای جمعیتی توسعه یافته زیر نظر مؤسسه‌ی بین‌المللی تحلیل کاربردی سیستم‌ها (IIASA)<sup>۳</sup>، گروهی متشکل از متخصصین این عرصه تشکیل گردید. این گروه، سناریوهای جمعیتی IIASA را به‌عنوان کران بالا و پایین سناریوهای جمعیتی برگزید. درحالی‌که برآوردهای دایره‌ی

لذا، هدف از این مطالعه که به‌عنوان بخشی از مطالعه‌ای جامع با هدف توسعه‌ی مدل پشتیبان برنامه‌ریزی مکانی برای ارزیابی راهکارهای سازگاری با تغییر اقلیم در محدوده‌ی شبکه‌ی آبیاری و زهکشی قزوین صورت پذیرفته است (آبایی، ۱۳۹۱) برآورد میزان افزایش جمعیت و تقاضا برای آب شرب در این محدوده، تحت سناریوهای تغییر اقلیم است. فرض عمده در این ارتباط، ثابت ماندن سرانه‌ی آبی‌آب شرب در سطح محدوده‌ی مطالعاتی است.

ساخت آن با توجه به شرایط کشور ایران، تا سال ۱۳۸۱ به تأخیر افتاد. در فروردین سال ۱۳۸۱، عملیات ساخت سد مخزنی طالقان آغاز شد و در سال ۱۳۸۵ به بهره‌برداری رسید. هدف از احداث این سد، تأمین آب کشاورزی دشت قزوین، تأمین آب شرب شهرهای تهران و کرج، تغذیه‌ی مصنوعی دشت قزوین و کنترل سیلاب‌های فصلی رودخانه‌ی طالقان است. این سد مخزنی در دره‌ی طالقان، جنوب رشته کوه البرز و در ۱۲۰ کیلومتری شمال غربی تهران واقع شده است.

جمعیتی سازمان ملل متحد به‌عنوان سناریوی مرکزی انتخاب گردید.

سناریوهای جمعیتی IIASA به‌طور خاص برای تشریح سناریوهای انتشار مورد استفاده قرار گرفته‌اند. دلیل این انتخاب این است که این سناریوها، بلندمدت بوده (تا سال ۲۱۰۰) و تقسیم‌بندی جغرافیایی آن (۱۳ منطقه) همانند تقسیم‌بندی انجام شده برای توسعه‌ی سناریوهای SRES است. نرخ باروری، مرگ و میر و مهاجرت در این سناریوها به‌طور هماهنگ تغییر می‌کنند که این مسئله، امکان در نظر گرفتن سناریوهای قابل توجه در ارتباط با جریان آبی تغییرات جمعیت را فراهم می‌سازد (Lutz و همکاران، ۲۰۰۷). در نهایت، تعدد این سناریوها نیز از دلایل انتخاب آنها در تشریح سناریوهای SRES است.

سناریوهای انتشار (SRES) در قالب چهار خانواده تشریح گردیده‌اند که هریک شرایط اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیستی خاصی را به تصویر می‌کشند. دو سناریوی IIASA به‌عنوان کران بالا و پایین توسعه‌ی جمعیت در آینده در سناریوهای SRES مورد استفاده قرار گرفته‌اند. سناریوی اول شامل نرخ بالای باروری، نرخ بالای مرگ و میر و نرخ متوسط مهاجرت است که در آن، جمعیت جهان در انتهای قرن بیست و یکم به ۱۵ میلیارد نفر می‌رسد (سناریوی A2). سناریوی دوم نرخ پایین باروری، نرخ پایین مرگ و میر و

نرخ متوسط مهاجرت را در نظر می‌گیرد. حدود این نرخ‌ها را Lutz (۱۹۹۶) تشریح کرده است (سناریوهای A1 و B1). تغییراتی در این سناریوها اعمال گردیده است، به نحوی که جریان همگرایی توسعه‌ی اقتصادی-اجتماعی مشروح در سناریوهای SRES را بهتر منعکس کند. به طور خاص فرض گردید که نرخ مرگ و میر در انتهای قرن بیست و یکم به طور یکسان در تمام نقاط جهان کاهش

### برآورد جمعیت در سناریوهای A1 و B1

خانواده‌ی سناریوهای A1 و B1، جهانی همگرا را به تصویر می‌کشند که شکاف منطقه‌ای، اجتماعی، اقتصادی و توسعه‌ای در آن به شدت کاهش یافته است. سناریوهای جمعیتی برای این خانواده از سناریوهای SRES، شامل سناریوهای IASA هستند که نرخ باروری کم، نرخ مرگ و میر کم و نرخ مهاجرت متوسط را مفروض می‌دارند. این سناریو، موارد زیر را بایکدیگر ترکیب می‌کند: (۱) نرخ باروری کم برای مناطق در حال توسعه، به نحوی که نرخ کل باروری در مناطق شرق میانی آسیا<sup>۱</sup> و چین به حدود ۱/۵ درصد در مناطق آسیای مرکزی، خاورمیانه و شمال آفریقا و مناطق جنوبی صحرای آفریقا به ۲ درصد در سال ۲۰۳۰-۳۵ خواهد رسید. (۲) نرخ باروری متوسط در مناطق توسعه یافته همزمان با تثبیت این نرخ در سطحی کمتر از نرخ مرگ و میر. نرخ کل باروری در اروپا و

### برآورد جمعیت در سناریوی A2

خانواده‌ی سناریوهای A2، جهانی با رشد جمعیت زیاد را به تصویر می‌کشد که در آن، به تقویت هویت‌های فرهنگی منطقه‌ای توجه ویژه‌ای شده و توسعه‌ی سریع اقتصادی، کمتر مورد توجه قرار می‌گیرد. سناریوی جمعیتی که برای این سناریو و در تمام مناطق مورد استفاده قرار گرفته است، سناریوی IASA با نرخ بالایی باروری، نرخ بالایی مرگ و میر و نرخ متوسط مهاجرت است. این سناریو متضمن افزایش نرخ باروری در کشورهای توسعه یافته‌ی کنونی است. نرخ کلی باروری تا سال ۲۱۰۰ میلادی در اروپا و منطقه‌ی اقیانوسیه به ۲/۱ درصد و در آمریکا شمالی به ۲/۳ درصد می‌رسد. در کشورهای در حال توسعه این نرخ تا حدودی کاهش یافته و در شمال آفریقا، خاورمیانه و مناطق جنوب صحرای آفریقا به

می‌یابد. تحت این سناریوی تغییر یافته (سناریوی A1-B1) جمعیت جهان در سال ۲۰۵۵ به حداکثر میزان خود (بالغ بر ۸/۷ میلیارد نفر) رسیده و سپس تا سال ۲۱۰۰ میلادی به حدود ۷/۱ میلیارد کاهش می‌یابد. در سناریوهای اصلی که Lutz (۱۹۹۶) آنها را تشریح کرده است، جمعیت جهان در این دو سناریو و تا سال ۲۱۰۰ میلادی به ترتیب به ۸/۵ و ۶/۵ میلیارد نفر می‌رسد.

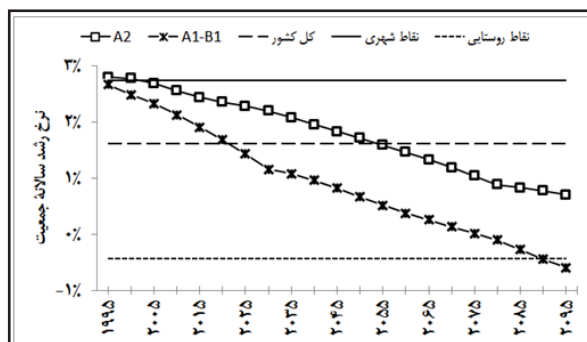
منطقه‌ی اقیانوسیه به ۱/۷ درصد و در آمریکای شمالی به ۱/۸۵ درصد می‌رسد. (۳) نرخ پایین و همگرایی مرگ و میر در تمام مناطق که منجر به افزایش متوسط عمر (امید به زندگی)<sup>۵</sup> به میزان ۲ تا ۴ سال به ازای هر دهه تا سال ۲۰۳۰-۳۵ می‌گردد، و (۴) الگوی مهاجرت متوسط در تمام مناطق.

به این ترتیب، فرض می‌شود که نرخ باروری در مناطق جنوب صحرای آفریقا و خاورمیانه در طول ۳۵ سال آینده به شدت کاهش خواهد یافت. همچنین نرخ مرگ و میر تا حدود زیادی کاهش می‌یابد. همه‌گیری بیماری ایدز متوقف شده و بیماری‌های عمده در این مناطق (مثل مالاریا) ریشه‌کن می‌شوند و هیچ ویروس بیماری‌زای جدیدی نیز ظاهر نمی‌شود. سطح عمومی معیشت مردم نیز به طور چشمگیری بهبود می‌یابد. براساس این سناریو، جمعیت جهان تا سال ۲۰۵۵ به حداکثر خود یعنی ۸/۷ میلیارد رسیده و سپس، تا سال ۲۱۰۰ میلادی به ۷/۱ میلیارد کاهش پیدا می‌کند.

۴ درصد و در جنوب آفریقا و آمریکای لاتین به ۳ درصد می‌رسد. در مقابل، نرخ باروری در چین، مناطق حوزه‌ی آسیا-اقیانوسیه<sup>۴</sup>، به ۳ درصد و در آسیای مرکزی به ۴ درصد می‌رسد. با فرض نرخ بالایی مرگ و میر که متوسط عمر (امید به زندگی) به ازای هر دهه، ۲ سال در مناطق جنوب صحرای آفریقا کاهش می‌یابد. یک دلیل برای این مسئله این است که بیماری‌های واگیر و به ویژه ایدز بیش از گذشته گسترش خواهند یافت. در مناطق دیگر، امید به زندگی در حدود سطح فعلی باقی مانده (در مناطقی مثل حوزه‌ی آسیا-اقیانوسیه) و یا با افزایش ناچیز (حدود یک سال) روبرو خواهد شد. براساس این سناریو، جمعیت جهان تا سال ۲۰۵۰ به ۱۱/۸ میلیارد نفر و تا سال ۲۱۰۰ میلادی به ۱۵/۱ میلیارد نفر می‌رسد.

اطلاعات مرکز آمار ایران برآورد شده‌اند، مورد مقایسه قرار گرفتند. سپس، با استفاده از سری‌های زمانی تاریخی برداشت آب از مخزن سد طالقان، متوسط نیاز شرب و کشاورزی این مخزن برای ماه‌های مختلف سال مورد تحلیل قرار گرفت. در نهایت، با لحاظ کردن سرانه‌ی مصرف آب شرب، متوسط نیاز شرب مخزن سد طالقان برای سال‌های ۲۰۵۵ (معرف دوره‌ی ۲۰۶۹-۲۰۴۰) و ۲۱۰۰ میلادی براساس نرخ افزایش جمعیت مورد انتظار در هریک از سناریوهای انتشار برآورد گردید. در این مطالعه، اطلاعات تاریخی مخزن سد طالقان بین سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۰ (۲۰۰۶ تا ۲۰۱۱ میلادی) شامل بارندگی روزانه، متوسط روزانه‌ی دما، جریان روزانه‌ی ورودی به مخزن و میزان برداشت روزانه برای مصارف کشاورزی و شرب، مورد استفاده قرار گرفت.

جمعیت متفاوت خواهد بود. به‌عنوان مثال، براساس اطلاعات مرکز آمار ایران، نرخ رشد سالانه‌ی جمعیت بین سال‌های ۱۳۳۵ تا ۱۳۸۵ در کل کشور حدود ۲/۶۶ درصد بوده است. در حالی که این نرخ برای سال‌های ۱۳۵۵ تا ۱۳۸۵، ۲/۴۹ درصد برآورد گردیده است.



شکل ۱- نرخ رشد سالانه‌ی جمعیت در سناریوهای SRES در مقایسه با نرخ رشد جمعیت ایران بین سال‌های ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۵

منطقه‌ی خاورمیانه نیز از ۳۱۲/۵ میلیون نفر در سال ۱۹۹۵، به بیش از ۸۶۹/۲ میلیون نفر در سال ۲۰۸۰ رسیده و در نهایت در سال ۲۱۰۰ به ۸۰۹/۶ میلیون نفر کاهش می‌یابد. متوسط سرعت کاهش نرخ رشد ۵ ساله تحت این سناریو، بیش از ۱۲ درصد است. در سناریوی A2، نرخ رشد ۵ ساله با حدود ۱۴/۸ درصد در سال ۲۰۰۰ آغاز و بایک جریان کاهشی یکنواخت، در سال ۲۱۰۰ به حدود ۳/۶ درصد می‌رسد. کل جمعیت این منطقه از ۳۱۲/۵ میلیون نفر

در این مطالعه، ابتدا با استفاده از اطلاعات جمعیتی که IIASA منتشر کرده است، نرخ رشد سالانه و ۵ ساله‌ی جمعیت برای هریک از سناریوهای انتشار A1-B1 و A2 در منطقه‌ی خاورمیانه محاسبه گردید. نرخ افزایش جمعیت در این منطقه در هر دوره‌ی ۵ ساله با رابطه‌ی (۱) محاسبه گردید:

$$Rate_t = \frac{P_t - P_{t-1}}{P_{t-1}} \times 100 \quad (1)$$

در این رابطه،  $Rate_t$  نرخ (درصد) رشد ۵ ساله‌ی جمعیت در دوره‌ی  $t$  است و  $P_t$  کل جمعیت در این دوره‌ی ۵ ساله را نشان می‌دهند. این مقادیر، با نرخ رشد سالانه‌ی جمعیت در کشور که براساس

## نتایج و بحث

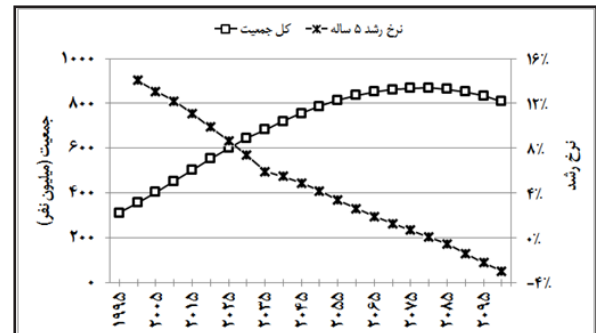
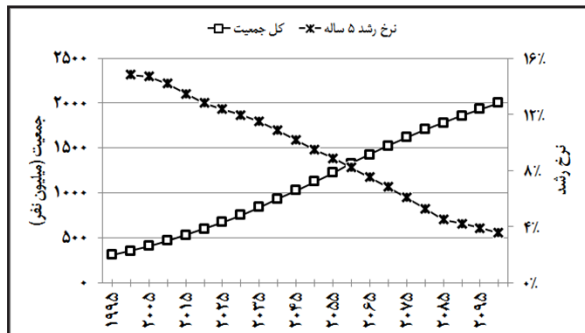
### افزایش مورد انتظار جمعیت در منطقه‌ی خاورمیانه

شکل (۱) نرخ رشد سالانه‌ی جمعیت در سناریوهای SRES در مقایسه با نرخ رشد جمعیت ایران بین سال‌های ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۵ را نمایش می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود، نرخ رشد سالانه‌ی جمعیت در سناریوهای A1-B1 از ۲/۷ درصد در سال ۲۰۰۰ آغاز شده و در نهایت با شیب نسبتاً یکنواخت، در سال ۲۱۰۰ میلادی به حدود ۰/۶- درصد می‌رسد. در سناریوی A2 این مقدار از ۲/۸ درصد شروع شده و با شیب یکنواخت، در سال ۲۱۰۰ میلادی به حدود ۰/۷- درصد کاهش می‌یابد. این در حالی است که براساس اطلاعات مرکز آمار ایران، نرخ رشد جمعیت بین سال‌های ۱۳۸۵-۱۳۷۵ در کل کشور حدود ۱/۶۲ درصد، در مناطق شهری حدود ۲/۷۴ درصد و در مناطق روستایی حدود ۰/۴۴- درصد برآورد گردیده است. لازم به ذکر است که با توجه به انتخاب سال مبنا (در اینجا سال ۱۳۷۵ انتخاب شده است)، نرخ رشد سالانه‌ی

شکل (۲) جریان تغییرات جمعیت برای سناریوهای انتشار A1-B1 و A2 در منطقه‌ی خاورمیانه را نمایش می‌دهند. اطلاعات مربوط به سناریوهای IIASA به صورت دوره‌های ۵ ساله و از سال ۱۹۹۵ تا سال ۲۱۰۰ ارائه شده‌اند. همان‌طور که در شکل (۲) مشخص است، در سناریوهای A1-B1، نرخ رشد ۵ ساله با بیش از ۱۴ درصد بین سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۰ آغاز و با یک جریان کاهشی نسبتاً یکنواخت، تا سال ۲۱۰۰ به حدود ۳ درصد می‌رسد. کل جمعیت

در سال ۱۹۹۵، به حدود ۲۰۰۰/۲ میلیون نفر در سال ۲۱۰۰ می‌رسد. متوسط سرعت کاهش نرخ افزایش جمعیت در دوره‌های ۵ ساله

تحت این سناریو در منطقه خاورمیانه، در حدود ۷ درصد است.



شکل ۲- جریان تغییرات جمعیت و نرخ رشد جمعیت منطقه‌ی خاورمیانه در سناریوهای A1-B1 (راست) و A2 (چپ)

مصرف آب شرب از مخزن سد طالقان نیز حدود ۰/۳۳ متر مکعب در ثانیه است. با توجه به شکل (۳) می‌توان دریافت که ضریب تغییرات بارندگی و ضریب تغییرات دبی شرب، جریان تغییرات نسبتاً مشابهی را دنبال کرده و همبستگی معنی‌داری (۴۹٪) بین آنها وجود دارد. تذکر این نکته نیز ضروریست که طبق آمار شرکت سهامی آب منطقه‌ای تهران، برداشت آب از مخزن سد طالقان با هدف مصرف در بخش صنعت صورت نمی‌پذیرد.

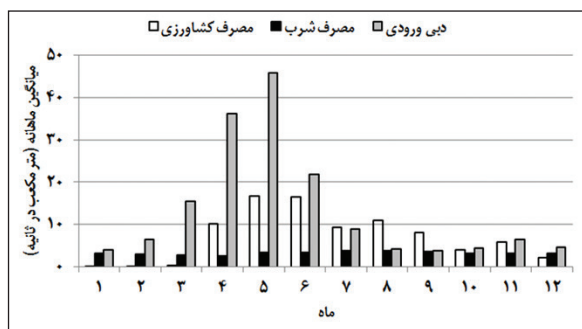
**میزان مصرف آب شرب و کشاورزی از مخزن سد طالقان**  
جدول (۱) مقادیر میانگین و انحراف استاندارد ماهانه‌ی بارندگی در روزهای مرطوب، دما، دبی ورودی به مخزن و دبی مصرف آب شرب مربوط به مخزن سد طالقان را نشان می‌دهد (ماه‌های میلادی). شکل (۳) نیز ضریب تغییرات این متغیرها را نمایش می‌دهد. بیشترین مصرف آب شرب، مربوط به ماه آگوست (مرداد و شهریور) و کمترین مصرف نیز مربوط به ماه آپریل (فروردین و اردیبهشت) است. انحراف استاندارد میانگین‌های ماهانه‌ی

جدول ۱- میانگین و انحراف استاندارد دما، بارش، دبی ورودی به مخزن و مصرف آب شرب و کشاورزی (۲۰۰۶-۲۰۱۱)

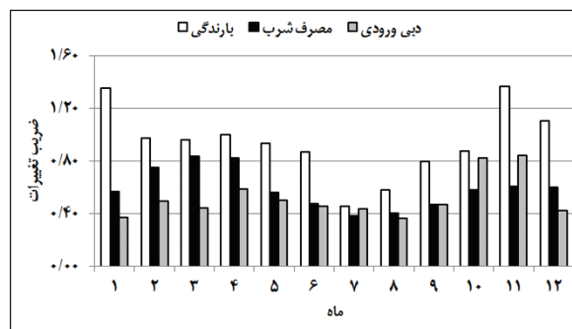
ماه	میانگین			انحراف استاندارد		
	بارندگی (mm)	دما (°C)	دبی (m <sup>3</sup> /sec)	بارندگی (mm)	دما (°C)	دبی (m <sup>3</sup> /sec)
ژانویه	۵/۶	-۱/۲	۴/۰	۷/۶	۴/۰	۱/۸
فوریه	۴/۶	۰/۹	۶/۴	۴/۵	۳/۲	۲/۳
مارس	۵/۹	۴/۷	۱۵/۵	۵/۷	۴/۳	۲/۴
آپریل	۷/۳	۹/۹	۳۶/۱	۷/۳	۳/۰	۲/۲
می	۳/۶	۱۵/۴	۴۵/۹	۳/۳	۲/۸	۱/۹
ژوئن	۳/۷	۲۰/۹	۲۱/۸	۳/۲	۲/۶	۱/۶
جولای	۳/۸	۲۳/۴	۹/۰	۱/۸	۲/۴	۱/۴
آگوست	۹	۲۲/۶	۴/۳	۰/۵	۲/۰	۱/۵
سپتامبر	۳/۸	۱۸/۶	۳/۸	۳/۱	۳/۰	۱/۷
اکتبر	۵	۱۳/۷	۴/۴	۴/۴	۲/۹	۱/۹
نوامبر	۶/۶	۵/۷	۶/۴	۹/۰	۴/۰	۲/۰
دسامبر	۵/۲	۰/۷	۴/۶	۵/۷	۴/۳	۲/۰

شهریور) ناچیز است. اما در ماه‌های اکتبر تا مارس (مهر تا اسفند) سهم مصارف آب شرب و آب کشاورزی نزدیک به یکدیگر بوده و با در نظر گرفتن کاهش چشمگیر جریان ورودی به مخزن، مدیریت منابع محدود آب در این ماه‌ها با چالش روبرو است.

شکل (۴) مقادیر متوسط ماهانه‌ی دبی ورودی به مخزن سد طالقان و دبی مصارف شرب و کشاورزی را نشان می‌دهد. اوج مصارف کشاورزی، در ماه‌های آپریل تا ژوئن است. این ماه‌ها بیشترین متوسط ماهانه‌ی جریان ورودی به مخزن را دارند. سهم آب شرب در مقایسه با آب کشاورزی در ماه‌های آپریل تا سپتامبر (فروردین تا



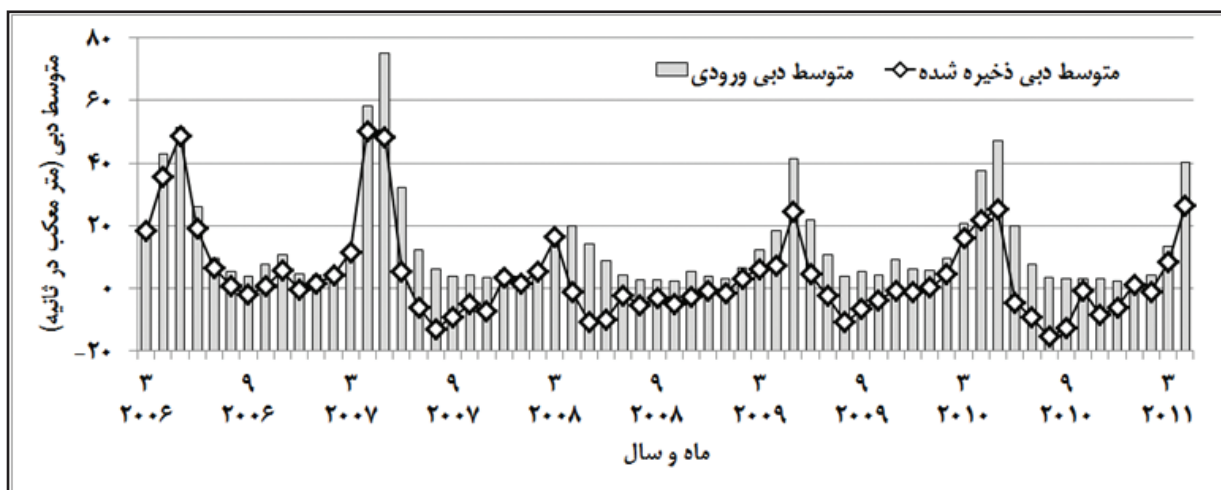
شکل ۴- متوسط ماهانه‌ی دبی ورودی به مخزن و مصارف شرب و کشاورزی



شکل ۳- ضریب تغییرات بارش (در روزهای مرطوب)، دبی ورودی به مخزن و مصارف آب شرب

خشک سال (ماه‌های جولای تا نوامبر یا دسامبر) مجموع متوسط دبی مصارف شرب و کشاورزی از متوسط دبی ورودی به مخزن بیشتر بوده و بنابراین دبی ذخیره، مقدار منفی پیدا کرده است. به بیان دیگر، حجم ذخیره‌ی مخزن در این دوره‌ها کاهش می‌یابد.

شکل (۵) مقادیر متوسط ماهانه‌ی دبی ورودی به مخزن سد طالقان را در مقابل اختلاف مجموع متوسط‌های ماهانه‌ی مصارف شرب و کشاورزی با دبی ورودی به مخزن (بدون در نظر گرفتن جریان رهاشده به پایین دست) در تمام دوره‌ی آماری (۲۰۱۱-۲۰۰۶) نمایش می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در تمام سال‌ها و در ماه‌های

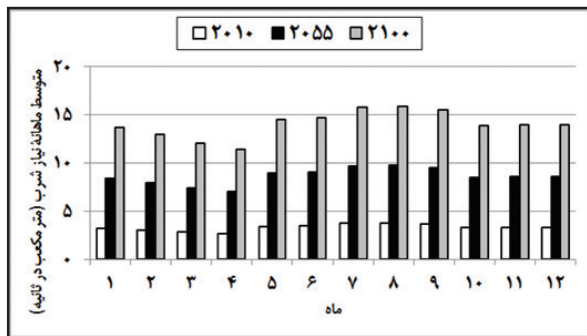


شکل ۵- متوسط ماهانه‌ی دبی ورودی به مخزن در برابر دبی ذخیره شده در مخزن

ماهانه‌ی نیاز آب شرب مخزن سد طالقان محاسبه گردید. بر این اساس، تحت سناریوهای A1-B1 (شکل ۶) تا سال ۲۰۵۵ (معرف دوره‌ی ۲۰۴۰-۲۰۶۹) متوسط نیاز ماهانه‌ی آب شرب

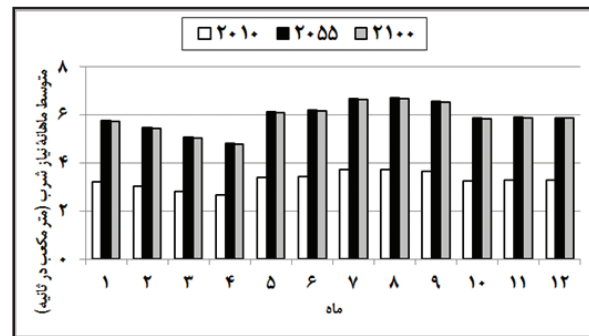
اثر افزایش جمعیت بر نیاز آب شرب مخزن سد طالقان با توجه به نرخ افزایش جمعیت منطقه‌ی خاورمیانه در سناریوهای A1-B1 و A2 در خلال دوره‌های ۵ ساله، تغییرات متوسط

بین مقادیر متوسط نیاز ماهانه‌ی آب شرب در سال‌های ۲۰۵۵ و ۲۱۰۰ وجود خواهد داشت. براین اساس، متوسط نیاز ماهانه‌ی آب شرب در مخزن سد طالقان در دوره‌ی ۲۰۵۵ به میزان ۱۶۱٪ نسبت به سال ۲۰۱۰ افزایش خواهد داشت. این افزایش برای سال ۲۱۰۰ میلادی به مرز ۳۲۶٪ خواهد رسید.



شکل ۷- متوسط ماهانه‌ی مصرف آب شرب تحت سناریوی A2

در مخزن سد طالقان در مقایسه با سال ۲۰۱۰، به میزان ۸۰٪ افزایش می‌یابد. با توجه به کاهش نرخ رشد جمعیت در این سناریو از میانه‌ی قرن بیست‌ویکم، متوسط نیاز ماهانه‌ی آب شرب در انتهای قرن بیست‌ویکم نیز نزدیک به همین میزان خواهد بود. در سناریوی A2 (شکل ۷) از آنجایی که نرخ رشد جمعیت تا انتهای قرن بیست‌ویکم همچنان مثبت باقی می‌ماند، اختلاف قابل توجهی



شکل ۶- متوسط ماهانه‌ی مصرف آب شرب تحت سناریوهای A1-B1

و همکاران، ۱۹۹۸؛ Seckler و همکاران، ۱۹۹۹؛ Alcamo و همکاران، ۲۰۰۰؛ Alcamo و همکاران، ۲۰۰۳).

با توجه به اهمیت نقش افزایش جمعیت در مطالعات تغییر اقلیم، در این مطالعه، افزایش جمعیت منطقه‌ی خاورمیانه تا انتهای قرن بیست‌ویکم میلادی تحت سناریوهای جمعیتی IIASA مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده در این مطالعه، مؤید نتایج مطالعات انجام شده در سطح بین‌المللی مبنی بر تأثیر عمده‌ی افزایش جمعیت بر منابع آب شیرین است. این مسئله، در کنار چالش‌های موجود در مدیریت بهره‌برداری از مخزن سد طالقان، به ویژه در ماه‌های کم‌آب، لزوم بررسی‌های بیشتر برای ارائه‌ی راهکارهای مدیریتی به منظور بهبود شرایط بهره‌برداری از سد مخزنی طالقان در شرایط تغییر اقلیم را برجسته‌تر می‌سازد. نتایج این مطالعه در برنامه‌ریزی منابع آب با هدف تأمین نیازهای آب کشاورزی و شرب در محدوده‌ی مطالعاتی در شرایط تغییر اقلیم و به ویژه در ماه‌های بحرانی کاربرد خواهند داشت.

## نتیجه‌گیری

تأثیر افزایش جمعیت بر الگوی انتشار گازهای گلخانه‌ای در آینده به اثبات رسیده است. رشد جمعیت یکی از دلایل افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای در دهه‌های گذشته بوده است. اهمیت لحاظ کردن تأثیر افزایش جمعیت در مطالعات تغییر اقلیم زمانی برجسته‌تر می‌گردد که نقش این افزایش در کنار افزایش متوسط سن و تغییر اندازه‌ی خانوارها بر میزان مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای مورد توجه قرار گیرد. در بسیاری از مطالعات تغییر اقلیم در حوزه‌ی منابع آب و کشاورزی، عمدتاً به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر نیازآبی محصولات کشاورزی و یا آبدهی رودخانه‌ها پرداخته شده است و این واقعیت که در کنار این تغییرات، افزایش قابل توجهی در نیاز آب شرب نیز مورد انتظار است کمتر مورد توجه قرار گرفته است. حال آنکه مطالعات مشابه در سطح جهان حاکی از اهمیت لحاظ کردن نرخ افزایش جمعیت در برآورد حجم منابع آب شیرین است (Seckler, ۱۹۹۷, WMO).

2- IPCC Emission Scenarios

3- International Institute for Applied Systems Analysis

4- Pacific Asia

## پی‌نوشت

1- Intergovernmental Panel on Climate Change



- conditions. Hydrological Sciences Journal, 48:339-348.
- Alcamo J., Doll, P., Kaspar F., and Siebert S. 1997. Global Change and Global Scenarios of Water Use and Availability: An Application of WaterGAP1.0. University of Kassel, Germany. 47pp+app.
- Alcamo J., Heinrichs T., and Rosch T. 2000. World Water in 2025 Global Modeling and Scenario Analysis for the 21st Century. Report A0002, Center for Environmental Systems Research, University of Kassel, Kurt Wolters Strasse 3, Kassel 34109, Germany.
- Bongaarts J. 1992. Population growth and global warming. *PopulDev Rev*, 18:299-319.
- Cohen J.E. 2003. Human population: The next half century. *Science*, 302:1172-1175.
- Cole M.A., Neumayer E. 2004. Examining the impact of demographic factors on air pollution. *Popul Environ*, 26:5-21.
- Dietz, T., Rosa, E.A. 1997. Effects of population and affluence on CO<sub>2</sub> emissions. *Proc Natl Acad Sci USA*, 94:175-179.
- Ehrlich P.R., Holdren J.P. 1971. Impact of population growth. *Science*, 171:1212-1217.
- Fan Y., Liu L.C., Wu, G., and Wei Y.M. 2006. Analyzing impact factors of CO<sub>2</sub> emissions using the STIRPAT model. *Environ Impact Assess Rev*, 26:377-395.
- IPCC. 2007. Climate Change. Cambridge University Press, New York.
- Lutz W. 1996. The Future Population of the World: What Can We Assume Today? Revised and Updated Edition. London: Earthscan, 500 pp.
- Lutz W., Sanderson W. and Scherbov S. 2007. IIASA's 2007 Probabilistic World Population Projections, IIASA World Population Program Online Data Base of Results 2008.
- MacKeller F.L., Lutz W., Prinz C., and Goujon, A. 1995. Population, households, and CO<sub>2</sub> emissions. *PopulDev Rev*, 21:849-865.
- O'Neill B.C., Dalton M., Fuchs R., Jiang L., Pachauri S., and Zigova K. 2010. Global demographic trends and future carbon emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*.
- آبایی، ب. ۱۳۹۱. توسعه و کاربرد سامانه پیش‌تیبیان برنامه‌ریزی برای ارزیابی راهکارهای مدیریت منابع آب و خاک جهت سازگاری با تغییر اقلیم. رساله دکتری. گروه آبیاری و آبادانی. دانشگاه تهران. ۳۲۷ صفحه.
- آبایی، ب.، سهرابی، ت.، میرزایی، ف.، وردی نژاد، و. و. و کریمی، ب. ۱۳۸۹. اثر تغییرات اقلیمی بر عملکرد گندم و تحلیل ریسک ناشی از آن (مطالعه موردی: منطقه روددشت اصفهان). دانش کشاورزی، ۱(۲۰): ۱۳۵-۱۵۰.
- شاه‌کریمی، ن.، مرید، س.، مساح‌بوانی، ع. و فهمی، ه. ۱۳۸۷. تاثیر عدم قطعیت مدل‌های AOGCM بر ریسک تغییر در نیاز آبی محصولات کشاورزی در اثر پدیده‌ی تغییر اقلیم در شبکه‌های آبیاری زاینده رود. مجله‌ی آبیاری و زهکشی ایران، ۲(۲): ۱-۱۰.
- علیزاده، ا. و کمالی، غ. ۱۳۸۱. اثرات تغییر اقلیم بر افزایش مصرف آب کشاورزی در دشت مشهد. تحقیقات جغرافیایی، ۱۷(۳-۲): ۱۸۹-۲۰۱.
- کوچکی، ع.، سلطانی، ا.، شریفی، ح. و کمالی، غ. ۱۳۸۰. اثرات تغییر اقلیم بر خصوصیات رشد، نمو و عملکرد آفتابگردان و نخود آبی و دیم در شرایط تبریز. علوم و صنایع کشاورزی، ۱۵(۱): ۱۵۵-۱۶۴.
- کوچکی، ع. و نصیری محلاتی، م. ۱۳۸۷. تاثیر تغییر اقلیم همراه با افزایش غلظت CO<sub>2</sub> بر عملکرد گندم در ایران و ارزیابی راهکارهای سازگاری. پژوهش‌های زراعی ایران، ۱(۶): ۱۳۹-۱۵۳.
- مساح‌بوانی، ع.، و مرید، س. ۱۳۸۴. اثرات تغییر اقلیم بر جریان رودخانه‌ی زاینده رود اصفهان. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۹(۴): ۱۷-۲۷.
- مساح‌بوانی، ع.، و مرید، س. ۱۳۸۴. اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب و تولید محصولات کشاورزی مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی زاینده رود اصفهان. تحقیقات منابع آب ایران، ۱(۱): ۴۰-۴۷.
- ناظم‌السادات، م. ج.، سامانی، ن.، باری، ا.، و مولایی نیکو، م. ۱۳۸۵. نیروی موثر پدیده‌ی النینو-نوسانات جنوبی (ENSO) بر ایجاد تغییر اقلیم در ایران: با استفاده از تحلیل داده‌های بارش. مجله‌ی ایرانی علوم و تکنولوژی، ۳۰(۴): ۵۵۵-۵۶۵.
- Alcamo J., Doll, P., Heinrichs T., Kaspar, F., Lehner, B., Rosch, T., and Siebert, S. 2003. Global estimates of water withdrawals and availability under current and future business-as-usual

- in the twenty-first century. *Water Resources Development*, 15;29-42. UNEP. 2001. *Global Environment Outlook-3*. Earthscan, London.
- Vorosmarty C.J., Green P.J., Salisbury J., and Lammers R.B. 2000. Global water resources: vulnerability from climate change and population growth. *Science*, 289;: 284–288.
- World Meteorological Organisation. 1997. *A comprehensive assessment of the freshwater resources of the world*. WMO: Geneva.
- World Resources Institute (WRI). 2000. *World Resources 2000–2001. People and Ecosystems: The Fraying Web of Life*. World Resources Institute, Washington.
- O'Neill B.C., MacKellar L., and Lutz W. 2001. *Population and Climate Change* (Cambridge University Press, Cambridge, UK).
- Revenga C., Brunner J., Henninger N., Kassem K., and Payne N. 2000. *Pilot Analysis of Global Ecosystems: Freshwater Ecosystems*. World Resources Institute and Worldwatch Institute, Washington, DC.
- Seckler D., Amarasinghe U., Molden D., de Silva R., and Barker R. 1998. *World Water Demand and Supply, 1990 to 2025: Scenarios and Issues*. International Water Management Institute Research Report 19, Sri Lanka.
- Seckler, D., Barker, R. and Amarasinghe, U. 1999. *Water scarcity*